



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA  
Y RECURSOS HIDRÁULICOS**

**REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN EL AGUA  
A NIVEL DE LABORATORIO  
APLICANDO COMO MEDIO FILTRANTE  
ÓXIDO DE HIERRO**

**ING. CIVIL EDUARDO FRANCISCO SMITH MELÉNDEZ**

Asesorado por el  
MSc. Ing. Zenón Much Santos

**GUATEMALA, ENERO 2007**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN EL AGUA  
A NIVEL DE LABORATORIO  
APLICANDO COMO MEDIO FILTRANTE  
ÓXIDO DE HIERRO

**ESTUDIO ESPECIAL**

PRESENTADO A LA  
ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y  
RECURSOS HIDRÁULICOS (ERIS)

POR EL INGENIERO CIVIL

**EDUARDO FRANCISCO SMITH MELÉNDEZ**

COMO REQUISITO PREVIO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE

**MAESTRO EN INGENIERÍA SANITARIA**  
*(MAGISTER SCIENTIFICAE)*

ASESORADO POR EL MSc. ING. ZENÓN MUCH SANTOS

**GUATEMALA, ENERO DE 2007**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

**DIRECTOR DE LA ESCUELA REGIONAL DE  
INGENIERÍA SANITARIA Y RECURSOS HIDRÁLICOS**

MSc. Ing. Pedro Saravia Celis

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXÁMEN DE ESTUDIO ESPECIAL**

EXAMINADOR	MSc. Ing. Julio Guillermo García Ovalle
EXAMINADOR	MSc. Ing. Jorám Gil Laroj
EXAMINADOR	MSc. Zenón Much Santos

**ASESOR DE ESTUDIO ESPECIAL**

MSc. Zenón Much Santos

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR



Cumpliendo con los preceptos que establece la Universidad de San Carlos de Guatemala, se presenta a su consideración el trabajo de graduación titulado:

REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN EL AGUA  
A NIVEL DE LABORATORIO  
APLICANDO COMO MEDIO FILTRANTE  
ÓXIDO DE HIERRO

Tema que fuera autorizado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), con fecha 12 de septiembre de 2005.

Ing. Civil Eduardo Francisco Smith Meléndez

Guatemala, enero de 2007



Guatemala, octubre 2 de 2006

Ingeniero  
Julio Guillermo García  
Coordinador  
Maestría en Ingeniería Sanitaria  
ERIS  
Presente.

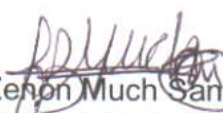
Ingeniero García:

Respetuosamente me dirijo a usted, para informarle que he revisado la versión corregida del estudio especial titulado **Remoción de Arsénico en el Agua a nivel de Laboratorio aplicando como Medio Filtrante Oxido de Hierro**, del Ingeniero Civil Eduardo Francisco Smith Melendez.

El estudio especial realizado cumple con los requisitos exigidos por el Reglamento de las Escuelas de Post-Grado y de Estudios Especiales de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, de la Universidad de San Carlos.

Sin otra particular, me suscribo de usted,

Atentamente,

  
Ing. Zenón Much Santos  
Asesor del Estudio

Jefe del Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 22 de enero de 2007

**Señores**  
**Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado**  
**Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos**  
**Universidad de San Carlos de Guatemala**

Respetuosamente les comunico que he revisado, en mi calidad de coordinador de la maestría de Ingeniería Sanitaria, el trabajo de Estudio Especial titulado: **“Remoción de Arsénico en el agua a nivel de laboratorio aplicando como medio filtrante Oxido de Hierro”**, presentado por el estudiante Ingeniero civil Eduardo Francisco Smith Meléndez.

Les manifiesto que el estudiante Ingeniero civil Eduardo Francisco Smith Meléndez cumplió con los requisitos exigidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos –ERIS- y la Universidad de San Carlos de Guatemala, en la realización de su estudio en forma satisfactoria.

Agradeciéndoles la atención a la presente, se suscribe de ustedes,

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
**M.Sc. Ing. Julio Guillermo García Ovalle**  
**Coordinador de la Maestría de Ingeniería Sanitaria**



El Director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos –ERIS- después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los siguientes profesores: MSc. Ing. Jorám Gil Larroj, MSc. Ing. Julio Guillermo García Ovalle y MSc. Zenón Much Santos, así como el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Ingeniería Sanitaria, MSc. Ing. Julio Guillermo García Ovalle, la revisión de lingüística realizada por el Lic. Francisco Aldana, colegiado No 5,146 al trabajo del estudiante Ingeniero civil Eduardo Francisco Smith Meléndez, titulado **“Remoción de Arsénico en el agua a nivel de laboratorio aplicando como medio filtrante Oxido de Hierro”**, en representación de la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado, procede a la autorización del mismo en Guatemala, veinticinco de enero de 2007.

IMPRIMASE



MSc. Ing. Pedro Saravia Célis

Director



Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria  
Y Recursos Hidráulicos -ERIS-

## DEDICATORIA

**AL DIOS TRIUNO:** Mi Padre, Señor de Señores y Rey de Reyes “quien me escogió en El antes de la fundación del mundo, para que fuese santo y sin mancha delante de El en amor”. (Ef. 1:4). Tú me permitiste estudiar a esta edad, por los propósitos conforme a Tu voluntad. Tú me sostuviste todo el tiempo. Gracias Señor.

**A la Iglesia en Guatemala:** Porque a través de ella recibí el rico suministro de la Cabeza.

**Al País Costa Rica:** Que me dio su aire puro cuando respiré por primera vez al nacer en la linda tierra guanacasteca. Tal vez esta investigación te sea útil.

**Al País Nicaragua:** Que me acogió y me otorgó la nacionalidad por mi madre nicaragüense. Se que muchos hijos tuyos beben aguas con arsénico, saber esto sirvió como motivación para realizar este trabajo. Te ofrezco este aporte, quizás te sirva.

**Al País Guatemala:** Porque estudié en tu Universidad de San Carlos, y usé un medio filtrante propio de tu tierra. Te ofrezco esta experimentación porque pudiera serte útil en algún momento.

**A mi amada esposa Aura Lyla Ortega de Smith:** Por su amor, oraciones y paciencia con mi persona, gracias Lyla.

**A mis hijos Elizabeth del Milagro, Carolina Vanesa, William Armando, Ricardo Francisco y Eduardo Javier Smith Ortega:** Por su apoyo constante moral y económico, por sus oraciones y sus sacrificios. Gracias hijos.

**A mis nietos Litzy, Arwen, Cindy, Jhonathan, Emily y Erika y a los que han de venir:** Por su amor, sus llamadas, porque oír su voz me anima. Gracias nietos.

**A los amigos de Guatemala:** Rolando y Luis G.



## **AGRADECIMIENTOS**

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), por el apoyo brindado.

A mi asesor MSc. Ing. Zenón Much Santos, quien siempre me ayudó en la parte técnica y me animó en los momentos difíciles de este estudio.

Al MSc. Ing. Pedro Saravia Celis, quien en todo tiempo me animó a seguir adelante y mostró su interés por mi progreso en el estudio de la Maestría.

Al MSc. Ing. Julio Guillermo García Ovalle, quien me brindó su consejo en todo tiempo.

Al MSc. Ing. Mario Hernández de la Unidad de Vigilancia, Monitoreo y Control de la Calidad del Agua del Ministerio de Salud, cuya ayuda fue clave para lograr que el Laboratorio Nacional de Salud (LNS) de ese Ministerio, realizara la determinación del arsénico.

Al Ing. Guillermo Scheel Álvarez, quien en respuesta a la carta enviada al Ministerio de Energía y Minas (MEM) por la ERIS nos suministró una porción de Óxido de Hierro, triturada por ellos de acuerdo a una guía suministrada.

Al Ing. Civil y Geólogo Julio Luna, Director de CESEM de la Facultad de Ingeniería de la USAC el cual nos llevó al sitio donde se obtuvo una muestra de Diatomeas y otra de Arcilla Férrica.

Al Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria de la ERIS – USAC, por el apoyo total suministrado a lo largo del período de estudio y del tiempo en que se realizaron los experimentos en la remoción de arsénico del agua.

**A TODOS ELLOS MUCHAS GRACIAS Y QUE EL SEÑOR LOS BENDIGA**

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	III
<b>GLOSARIO</b>	V
<b>SIMBOLOGÍA</b>	VII
<b>RESUMEN</b>	IX
<b>OBJETIVOS</b>	XI
<b>HIPÓTESIS</b>	XIII
<b>ALCANCES DEL ESTUDIO ESPECIAL</b>	XV
<b>LIMITACIONES</b>	XVII
<b>INTRODUCCIÓN</b>	XIX
<b>1. ARSÉNICO</b>	1
1.1. Generalidades del agua	1
1.1.1. Agua subterránea	1
1.1.2. El agua subterránea y su importancia	1
1.1.3. La calidad del agua subterránea para el consumo humano	2
1.2. ¿Qué es el arsénico?	3
1.3. Arsénico en las aguas superficiales y subterráneas	3
1.4. Aspectos químicos del arsénico	4
1.5. Aspectos geológicos del arsénico	7
1.6. Límites máximos permitidos del arsénico en Centroamérica	8
<b>2. ARSENICISMO COMO INDICIO DE LA TOXICIDAD DEL ARSÉNICO</b>	9
<b>3. BREVE DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DEL ARSÉNICO A NIVEL MUNDIAL</b>	11
<b>4. EL PROBLEMA A NIVEL CENTROAMERICANO</b>	13
4.1. Antecedentes	13
4.2. Estudios hechos en Nicaragua	14
4.3. Planteamiento del problema en Nicaragua	16
4.4. Justificación del estudio	17
<b>5. TEORÍA DE ELIMINACIÓN DEL ARSÉNICO</b>	19
5.1. Por medios filtrantes	19
5.2. Alúmina activada	20
5.3. Coagulación - filtración	20
5.4. Ósmosis inversa	20
5.5. Nanofiltración	21
5.6. Metodología escogida	21
<b>6. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN</b>	23
6.1. Búsqueda de información	24
6.1.1. Características del Hierro (Fe)	25
6.1.2. Diatomeas	27

6.2.	Adquisición del medio filtrante	27
6.3.	Fase de investigación	29
6.4.	Fase final	30
<b>7.</b>	<b>MODELO EXPERIMENTAL USADO EN LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>31</b>
7.1.	Planteamiento del modelo experimental	31
7.2.	Preparación del medio filtrante para retener el arsénico	32
7.3.	Preparación del medio filtrante para retener el hierro	33
7.4.	Modelo experimental	33
<b>8.</b>	<b>ANÁLISIS DE LABORATORIO Y RESULTADOS</b>	<b>35</b>
8.1.	Análisis preliminares practicados	35
8.1.1.	Cálculos analíticos	35
8.2.	Otros análisis realizados	39
8.3.	Resultados obtenidos	41
<b>9.</b>	<b>DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>45</b>
9.1.	Una visión general de los resultados	45
9.1.1.	Observaciones relevantes	45
9.1.2.	El pH	48
9.1.3.	La Turbiedad (UNT)	49
9.2.	Discusión de los resultados del arsénico retenido	52
9.3.	Discusión de los resultados del hierro retenido	56
	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>59</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>61</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>65</b>
	<b>APÉNDICE</b>	<b>67</b>
A-	Hojas de Control de las 7 Corridas	69
B-	Gráficos de las 5 primeras Corridas	77
C-	INFORME DE ANÁLISIS, MUESTRAS CONTROL DEL LNS	79
D-	RESULTADOS DE ANÁLISIS de la Hematita por tamaño de malla (MEM)	81
E-	RESULTADOS DE ANÁLISIS de la Hematita por % en peso de sus componentes (MEM)	83
F-	CURVA GRANULOMÉTRICA ACUMULATIVA DE UN SUELO	85

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Persona afectada por el arsenicismo	9
2.	CURVA GRANULOMÉTRICA ESCOGIDA	29
3.	El Filtro Nº 1 con 50 litros de agua con arsénico	31
4.	Mezcla de los componentes del Óxido de Hierro triturado	32
5.	Vista del momento en que se descarga el Filtro Nº 1 en el Filtro Nº 2	33
6.	Momentos en que se pesan los 0,0864 g de Arsenito de Sodio en la balanza analítica	36
7.	Mezcla del Arsenito de Sodio en un litro de agua en el balón de aforo	36
8.	Vertido de la solución concentrada de 50 mg/l de As en el volumen de 49 litros de agua	37
9.	Agitación del agua conteniendo el As durante tres periodos de 5 minutos cada uno	37
10.	Parejas de celdas de 25 ml de muestras de hierro, una es el blanco y la otra la muestra con el reactivo FERROVER	40
11.	Lectura de 0,06 mg/l de Hierro Total de la muestra Fe 3-3	40

## TABLAS

<b>I.</b>	<b>Propiedades fisicoquímicas</b>	<b>4</b>
<b>II.</b>	<b>Estabilidad y predominio de las especies de arsénico variando los rangos de pH en el medio acuático</b>	<b>6</b>
<b>III.</b>	<b>Limites Máximos Permisibles (LMP) del arsénico en Centroamérica, México y por la USEPA</b>	<b>8</b>
<b>IV.</b>	<b>Valores Guías del Arsénico de Agencias en el mundo</b>	<b>11</b>
<b>V.</b>	<b>Muestras tomadas por año</b>	<b>15</b>
<b>VI.</b>	<b>Muestras tomadas por lugar</b>	<b>15</b>
<b>VII.</b>	<b>Resultados de As de las muestras tomadas en pozos</b>	<b>15</b>
<b>VIII.</b>	<b>Características químicas</b>	<b>26</b>
<b>IX.</b>	<b>Resultados de la retención de Arsénico y del Hierro (las tres primeras muestras)</b>	<b>41</b>
<b>X.</b>	<b>Porcentajes de remoción de Arsénico</b>	<b>43</b>
<b>XI.</b>	<b>Porcentajes de remoción de As por corridas</b>	<b>43</b>
<b>XII.</b>	<b>pH de las muestras</b>	<b>49</b>
<b>XIII.</b>	<b>Turbiedad de las muestras</b>	<b>49</b>
<b>XIV.</b>	<b>Porcentajes de remoción de As por corridas (repetición)</b>	<b>52</b>
<b>XV.</b>	<b>Cálculo de la Tasa de filtración para las muestras N-2</b>	<b>53</b>
<b>XVI.</b>	<b>Cálculo de la Tasa de filtración para las muestras N-3</b>	<b>54</b>
<b>XVII.</b>	<b>Comparación entre las concentraciones de Arsénico obtenidas y los Limites Máximos Permisibles (LMP) de las Normas Centroamericanas (NCA)</b>	<b>54</b>
<b>XVIII.</b>	<b>Concentración del Hierro Total</b>	<b>56</b>

## GLOSARIO

<b>Acuífero</b>	Formación de roca porosa que permite la infiltración, acumulación y movimiento de importantes masas de agua en condiciones normales y que permiten su suministro por gravedad o bombeo.
<b>Arsenicismo</b>	Intoxicación crónica producida por el arsénico.
<b>Carbón activado</b>	Material carbonoso en polvo que es sometido a una corriente de aire caliente o preparado por destilación destructiva, de modo que sea más absorbente.
<b>Características químicas del agua</b>	Son aquellas características relativas a sustancias contenidas en el agua, que determinan su calidad.
<b>Coloides</b>	Sustancias de alto peso molecular o partículas de líquido o sólido que se encuentran suspendidas en un medio de manera homogénea.
<b>Dosis letal</b>	Cantidad requerida para producir la muerte de un 50% de los organismos expuestos a un elemento o sustancia tóxica.
<b>Filtros rápidos</b>	Tanques provistos de drenajes con lechos de piedra de diferente granulometría, dispuestos en capas que permiten separar rápidamente, por gravedad, los flóculos o coágulos producidos en el tratamiento de aguas en su potabilización.
<b>Infiltración</b>	Paso lento de un líquido a través de los poros o intersticios del terreno.

**Límite máximo  
aceptable (LMA)**

Es el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba del cual el agua pasa a ser rechazable por los consumidores, desde un punto de vista sensorial pero sin que implique un daño a la salud del consumidor.

**Límite máximo  
permisible (LMP)**

Es el valor de la concentración de cualquier característica de calidad del agua, arriba del cual, el agua no es adecuada para consumo humano.

**Oxidación**

Proceso químico que involucra el consumo de oxígeno, pérdida de hidrógeno o electrones en los compuestos orgánicos o inorgánicos.

**Toxicidad**

Propiedad relativa de una sustancia química, que causa efectos perjudiciales en algunos mecanismos biológicos, produciendo efectos negativos en el funcionamiento general del organismo.

**Tratamiento**

Acción o conjunto de acciones que se ejecutan para remover sustancias contaminantes al agua.

**Turbiedad**

Fenómeno provocado por la presencia de partículas en suspensión en un líquido, que reflejan las radiaciones lumínicas en todas direcciones, independientemente de la longitud de onda.

Interfiere con la transparencia de un cuerpo de agua.

## SIMBOLOGÍA

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>As</b>	Símbolo químico del arsénico.
<b>ENACAL</b>	Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados.
<b>ERIS</b>	Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.
<b>Fe</b>	Símbolo químico del hierro.
<b>INAA</b>	Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados.
<b>LMA</b>	Límite Máximo Aceptable.
<b>LMP</b>	Límite Máximo Permisible.
<b>LNS</b>	Laboratorio Nacional de Salud (del Ministerio de Salud Pública de Guatemala).
<b>MEM</b>	Ministerio de Energía y Minas (de Guatemala).
<b>mg/l</b>	miligramos por litro.
<b>NCA</b>	Normas Centro Americanas.
<b>NCM</b>	Nivel de Contaminación Máximo.
<b>OPS-OMS</b>	Organización Panamericana de Salud-Organización Mundial de Salud.
<b>pH</b>	Potencial de Hidrógeno.
<b>USAC</b>	Universidad de San Carlos de Guatemala.
<b>USEPA</b>	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norte América.





## RESUMEN

Este es un trabajo investigativo de **remoción del arsénico (As) en el agua a nivel de laboratorio aplicando como medio filtrante óxido de hierro** llevado a cabo en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en aporte a otros trabajos similares a los países centroamericanos.

En las regiones rurales de estos países centroamericanos existen una gran cantidad de gentes que se abastecen del agua subterránea para su consumo humano, aguas que en ocasiones tienen presente peligrosas concentraciones de As tóxicas al organismo de las personas que la consumen.

El objetivo de esta investigación es **disminuir la concentración de As presente en el agua, a nivel de laboratorio, aplicando como medio filtrante óxido de hierro, para cumplir con los límites máximos permisibles señalados por las normas de agua potable de los países centroamericanos.**

El experimento se realizó en un sistema de dos filtros interconectados, el medio filtrante del primero removi6 As y el otro removi6 hierro cedido por el primero. El pH fue medido antes y durante el proceso y no present6 cambios que alteraran las familias de As.

Los resultados obtenidos al determinarse el As inicial y el residual (despu6s de pasar por el filtro) de las muestras en el Laboratorio Nacional de Salud (LNS) del Ministerio de Salud P6blica de Guatemala, confirman la Hip6tesis asumida, pues **se puede remover el As presente en el agua aplicando el medio filtrante de 6xido de hierro.**

Las mejores remociones de As en este experimento corresponden a las muestras N-1 con un rango de entre el 92 y el 99 por ciento.

Cuando no se aplicó As al agua de la Corrida N° 6, el LNS no detectó As en las muestras N-1 al N-3 respectivas. Esto señala que las capas inferiores de arena y piedrín de un filtro normal no retuvieron el As de las primeras corridas por lo que no pudieron cederlo en esta corrida.

Es de suma importancia contar con un medio filtrante rico en hierro y triturado adecuadamente para facilitar mayor área y tiempo de contacto, esto redundará en lograr mejores porcentajes de remoción del As. También se debe contar con otro filtro que remueva el máximo del hierro que cede el primer filtro.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Disminuir la concentración de arsénico presente en el agua a nivel de laboratorio aplicando como medio filtrante óxido de hierro para cumplir con los límites máximos permisibles señalados por las normas de agua potable de los países centroamericanos.

### **Específicos**

1. Establecer una metodología de investigación que cumpla con el objetivo principal que se persigue y que sirva como una guía para que pueda ser seguida en otras investigaciones posteriores.
2. Evaluar la eficiencia de la remoción de Arsénico por el método de medio filtrante a nivel de laboratorio.



## **HIPÓTESIS**

Se puede remover el arsénico presente en el agua a nivel de laboratorio aplicando como medio filtrante óxido de hierro y que cumpla con los Límites Máximos Permitidos exigidos por las Normas de agua potable de los países centroamericanos.



## **ALCANCES DEL ESTUDIO ESPECIAL**

### ***“REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN EL AGUA A NIVEL DE LABORATORIO APLICANDO COMO MEDIO FILTRANTE ÓXIDO DE HIERRO”***

Como parte de la realización de este estudio especial se pretende:

1. Establecer una metodología de investigación que conduzca a remover el arsénico dosificado en el seno del agua.
2. Efectuar la investigación a nivel de laboratorio ante el desconocimiento en ese momento de una fuente de agua con arsénico.
3. Usar el agua de pozo que abastece a la USAC, por tratarse de agua subterránea que es el tipo de agua apropiada para el método propuesto.
4. Realizar el trabajo de investigación por las tardes, en época de verano, con temperaturas superiores a los 22<sup>a</sup> C.
5. Utilizar como medio filtrante un tipo de hematita con características descritas en el ANEXO y cuya procedencia se identifica en éste estudio en coordenadas UTM.
6. Determinar el arsénico en el Laboratorio Nacional de Salud (LNS) y el Hierro Total, el pH y la Turbidez en el Laboratorio de la ERIS- USAC.
7. Identificar y documentar las lecciones aprendidas en la Discusión y Análisis de Resultados además de las limitaciones del estudio para que puedan ser tomados en cuenta en las posteriores investigaciones que se hagan, sobre este tema.





## LIMITACIONES

En el desarrollo del proceso de investigación se tuvieron varias limitaciones que afectaron algunos planteamientos hechos al principio, entre las que se puede mencionar:

- 1) La escasa experiencia sobre el tema de arsenicismo y la falta de información específica durante el proceso de investigación, requirió de ingenio y de una pronta interpretación de algunos datos obtenidos conforme a los objetivos planteados.
- 2) Al inicio de este estudio especial no se conocían fuentes de agua subterráneas con arsénico en Guatemala. Para cumplir con el objetivo general de disminuir la concentración de arsénico en el agua se hicieron mezclas a nivel de laboratorio, con las aguas de pozo de la USAC.
- 3) La determinación del arsénico no fue posible realizarla en el laboratorio de la ERIS-USAC por causa de carecer del equipo apropiado en el momento oportuno y fue el Laboratorio Nacional de Salud (LNS) del Ministerio de Salud Pública de Guatemala la que colaboró en su determinación.
- 4) El conocimiento y dónde conseguir un óxido de hierro con un alto contenido de hierro a nivel nacional era muy limitado. Se obtuvo con la ayuda de un funcionario del Ministerio de Energía y Minas (MEM) de Guatemala, que providencialmente tenía una muestra de este material que finalmente se usó en el experimento. La consecución de la zeolita fue una tarea imposible aún para el mismo MEM porque no existe como veta o mina, por eso no se usó.



## INTRODUCCIÓN

Según el documento “EVALUACIÓN DE LOS SERVICIOS DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO 2000 EN LAS AMERICAS. OPS-OMS” en los países centroamericanos, más del 46% de su población habita en la zona rural (4), sin disfrutar las facilidades de abastecimiento de agua potable que gozan la mayoría de las ciudades y pueblos de la zona urbana.

De las personas que habitan la zona rural más del 66% (4) se abastecen de las aguas subterráneas, mediante el uso de pozos.

Las características que presentan las aguas subterráneas son ideales para el consumo humano, pues en la mayoría de casos son aguas libres de las impurezas que acarrearán las aguas superficiales.

Las personas del campo se conforman con hallar agua de buen sabor, de apariencia clara y sin ningún olor, para tomarla como una fuente de agua satisfactoria, sin saber que en el seno de algunas de ellas, pueden estar presentes elementos químicos que realmente les puede perjudicar en la salud, e incluso provocarles la muerte.

El caso es que muy pocas personas saben si el agua que consumen contiene metales pesados tóxicos. Los que lo saben es porque han realizado exámenes especiales para determinarlos.

Este es un problema serio para quienes abastecen de agua potable de origen subterránea. En el caso de las aguas superficiales este no es un problema cuando cuentan con una planta de tratamiento de agua para potabilizarla, pues el proceso de floculación- coagulación- sedimentación usando coagulantes a base de sulfato de aluminio o cloruro férrico, también captura y precipita el arsénico, con lo que (sin saber que existe ese elemento en las aguas) resuelven este problema. Este

permanecería si los lodos resultantes después del tratamiento de las aguas en la planta son descargados en una quebrada o río, lo que haría que el arsénico removido volviera al seno del agua amenazando a quienes lo captan para abastecimiento de agua potable.

Se sabe que existen **fuentes de aguas superficiales** que llevan arsénico, ya sea porque tienen contacto con aguas geotermales, las cuales son ricas en metales pesados, o porque tocan depósitos mineros sobre la superficie de la tierra con sulfuro de arsénico o arsenopirita, o porque se les une aguas provenientes de desechos industriales con restos de compuestos arsenicales

También muchas de las **fuentes de aguas subterráneas** contienen arsénico, por contacto con aguas geotermales que contienen metales pesados, o con material magmático del núcleo de la tierra, o porque tienen contacto con rocas sedimentarias y volcánicas de depósitos mineros bajo el suelo como sulfuro de arsénico o arsenopirita. (5)

De acuerdo con la Bibliografía consultada (1, 6, 7, 12) el medio filtrante de óxido de hierro remueve el arsénico de las aguas. El óxido de hierro se obtuvo directamente del **Ministerio de Energía y Minas (MEM)** en respuesta a carta enviada al respecto de la ERIS y las diatomeas mediante ayuda del **Ing. Julio Luna del CESEM** de la Facultad de Ingeniería de la USAC, con el propósito de usarlos en el experimento de los medios filtrantes (A y B).

La determinación de **Arsénico** se realizó en el **Laboratorio Nacional de Salud (LNS)**; gracias a la ayuda del MSc. Ing. Mario Hernández de la **Unidad de Vigilancia Monitoreo y Control de la Calidad del Agua del Ministerio de Salud**.

Fue importante la disponibilidad del **Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria de la ERIS – USAC**, donde se realizaron las 7 Corridas y

los experimentos para determinar el **hierro total, la turbiedad, y el pH** con los que se llegó a obtener los resultados.

# 1. ARSÉNICO

## 1.1. Generalidades del agua

### 1.1.1. Agua subterránea

Son producto del ciclo hidrológico, cuando se da la precipitación, al llegar al suelo, una parte de ellas se infiltra. Parte se quedará en la zona radicular, y otra parte se infiltrarán aún más hasta llegar a un estrato impermeable, en donde formarán un reservorio subterráneo, llamado también acuífero **(10)**.

Este acuífero puede ser confinado y no confinado. El primero contiene agua a una presión mayor que la atmosférica, mientras que el segundo, su límite superior lo forma la napa freática a presión atmosférica. **(Orozco, 2004)**.

Las aguas subterráneas constituyen cerca del 95% del agua dulce del planeta, excepto las que forman la capa de hielo en los polos. Las aguas superficiales formadas por los riachuelos, ríos, lagunas y lagos, son apenas un 5% del agua dulce. En esto descansa la importancia de las aguas subterráneas en términos de lo que representan: vida y vida hacia el futuro si lo apreciamos y resguardamos **(10)**

### 1.1.2. El agua subterránea y su importancia

En la zona rural de los países centroamericanos, con un rango del 40% (Guatemala) y 75% (El Salvador) del total de la población, sus habitantes se abastecen primordialmente de las aguas subterráneas **(CEPIS, 2000)**. En Nicaragua para la ciudad de Managua se extrae del subsuelo más del 70% del consumo diario para los 2,50 millones de habitantes de la capital y para la

zona rural más del 66% de los 2,20 millones de habitantes de la zona rural extraen aguas del subsuelo para su sobrevivencia (4).

Se sabe que Costa Rica usa el recurso hídrico desde los años 60 para satisfacer el requerimiento de agua para la población. Las islas del Caribe como Barbados, Granada, usan primordialmente ese recurso hídrico (**CEPIS 1991**). También las grandes ciudades del Este de los Estados Unidos, como Miami, usan más del 80% del agua subterránea para satisfacer la demanda poblacional (**Dr. Fuentes, 2005**).

El bajo costo de explotación y la superior calidad del agua subterránea sobre la superficial, ha justificado ampliamente su explotación siempre que ella exista.

### **1.1.3. La calidad del agua subterránea para el consumo humano**

El agua pura no existe en la naturaleza, porque ella lleva siempre la marca de los elementos que la rodean. El agua en la atmósfera se contamina por las partículas que están en el aire. El agua en la superficie es contaminada por donde corre, por el suelo, animales, plantas y el hombre. El agua en el subsuelo es contaminada por el tipo de suelo, por donde pasa, al tocar rocas metamórficas y sedimentarias (1), suelos mineros, aguas termales (**MANUAL DE MINERALOGÍA DE DANA**) (5), por eso es que sus concentraciones salinas son más elevadas que las superficiales.

La calidad del agua es definida por su composición, por lo que el conocimiento de los elementos físicos, químicos que la componen determina el riesgo de su uso. Es por esta razón que las normas de calidad del país donde se le analiza, restringe su uso al Límite Máximo Permisible.



La Organización Mundial de la Salud (**OMS**) tiene un catálogo de normas internacionales que sugiere usar como las Máximas Aceptables o Máximas Permisibles

## 1.2 ¿Qué es el arsénico?

El arsénico elemental no es peligroso (11). El veneno comúnmente utilizado es en realidad el óxido de arsénico (III)  $As_2O_3$ , un compuesto blanco que se disuelve en el agua, sin sabor y que es difícil de detectar si se administra por largo tiempo. No tiene olor ni sabor.

Es un elemento presente en la naturaleza formando un 0.00005% de la corteza terrestre, el cual se presenta en sus formas orgánica e inorgánica.

Está presente en muchas fuentes de aguas subterráneas (así como en algunas fuentes de aguas superficiales) y lo provoca el contacto del agua con rocas sedimentarias o volcánicas, aguas geotermales o estratos geológicos conteniendo sulfuro de arsénico, arsenopirita o en alguna otra de sus formas o como arsenato y arsenito en las aguas superficiales y subterráneas.

El arsénico es usado comercialmente e industrialmente como un agente en la manufactura de transistores, láser y semiconductores, como también en la fabricación de vidrio, pigmentos, textiles, papeles, adhesivos de metal, preservantes de alimentos y madera, municiones, procesos de bronceado, plaguicidas y productos farmacéuticos.

## 1.3 Arsénico en las aguas superficiales y subterráneas

En aguas superficiales con alto contenido de oxígeno, la especie más común es el arsénico con estado de oxidación +5 ( $As^{+5}$ ). Bajo condiciones de reducción generalmente en los sedimentos de los lagos o aguas subterráneas, predomina el

arsénico con estado de oxidación +3 ( $\text{As}^{+3}$ ), pero también puede existir el  $\text{As}^{+5}$ . Sin embargo, la conversión de  $\text{As}^{+3}$  a  $\text{As}^{+5}$  o viceversa es bastante lento. Los compuestos reducidos de  $\text{As}^{+3}$  pueden ser encontrados en medios oxidados y los compuestos oxidados de  $\text{As}^{+5}$  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)

#### 1.4 Aspectos químicos del arsénico

##### Descripción general (1)

El arsénico existe en el estado de oxidación de -3, 0, +3 y +5. En la tabla I se presenta las propiedades fisicoquímicas de los compuestos de arsénico más comunes.

**Tabla I. Propiedades fisicoquímicas**

Compuesto	Fórmula	Punto de fusión (° C)	Punto de ebullición (° C)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Solubilidad en el agua (g/l)
Arsénico	As	613	-	5.73 a 14 °C	Insoluble
Tritóxido de arsénico	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	312.3	465	3.74	37 a 20 °C
Pentóxido de arsénico	As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	315	-	4.32	1500 a 16 °C
Sulfuro de arsénico	As <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	300	707	3.43	5x10 <sup>-4</sup>
Ácido dimetilarsénico	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> AsO(OH)	200	-	-	829 a 22 °C
Arsenato de plomo	PbHAsO <sub>4</sub>	720	-	5.79	Poco soluble
Arsenato de potasio	KH <sub>2</sub> AsO <sub>4</sub>	288	-	2.87	190 a 22 °C
Arsenito de potasio	KAsO <sub>2</sub> .HAsO <sub>2</sub>	-	-	-	Soluble

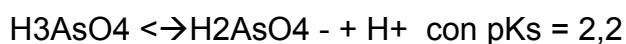
**FUENTE: ANÁLISIS DE ARSÉNICO EN AGUAS DE CONSUMO Y SU REMOCIÓN Buscador AltaVista 29 Págs.**

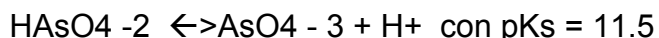
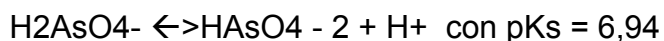
Los estados de oxidación en que el arsénico se encuentra comúnmente en el agua son los estados +5 y +3. El arsenito, o arsénico trivalente ( $\text{As}^{+3}$ ) se encuentra en solución como  $\text{H}_3\text{AsO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{AsO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{AsO}_4^-$  y  $\text{H}_2\text{AsO}_4^{2-}$  en aguas naturales con pH entre 5 a 9, y el arsenato, o arsénico pentavalente ( $\text{As}^{+5}$ ) se encuentra en forma estable en aguas con altos niveles de oxígeno como  $\text{H}_3\text{AsO}_4$  en un rango de pH de 2 a 13

El arsénico es un elemento no metálico presente en la naturaleza formando un 0,00005% de la corteza terrestre, el cual se presenta en sus formas orgánica o inorgánica. Su principal vía de dispersión en el ambiente es el agua. Aun 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. En los sistemas acuáticos el arsénico se puede presentar en cuatro estados de oxidación bajo condiciones normales siendo las más comunes sus estados trivalentes (arsenitos) y pentavalentes (arsenatos).

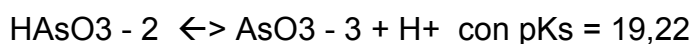
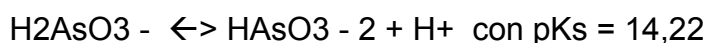
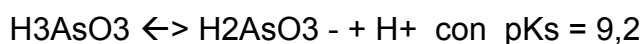
En aguas naturales de pH 5 a 9 predominan las especies:  $\text{H}_2\text{AsO}_4^-$ ,  $\text{HAsO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_3\text{AsO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{AsO}_3^-$ .

Las condiciones que favorecen la oxidación química y biológica inducen el cambio a especies pentavalentes y, a la inversa, aquellas que favorecen la reducción cambiarán el equilibrio al estado trivalente. La estructura molecular de arsenatos  $\text{As}^{+5}$  y arsenitos  $\text{As}^{+3}$ . Los arsenatos tienen mayor capacidad de ionización debido a la presencia del doble enlace, la molécula que al perder el ion hidrógeno por la disociación, queda con carga negativa formando varios aniones según las ecuaciones:





En aguas con altos niveles de oxígeno, el As<sup>+5</sup> (como H<sub>3</sub>AsO<sub>4</sub>) es estable, existiendo las especies antes mencionadas, en un rango de pH de entre 2 a 13, la distribución de estas especies se muestra en la Tabla II. Como resultado de la disociación del ácido arsenioso característico en aguas subterráneas con pH mayor de 7, se presentan las siguientes fórmulas:



Bajo condiciones anóxicas, aún a pH mayor que 7 el arsénico es estable en especies dominantes no iónicas. Como se puede apreciar, los arsenatos y arsenitos se disocian a un pH muy diferente. En la figura anterior se aprecia que en un rango de pH entre 6,5 y 8,5 característico del agua natural, las formas predominantes de arsenato y arsenitos efectivamente son las siguientes especies: H<sub>2</sub>AsO<sub>4</sub><sup>-</sup>, HAsO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, y H<sub>2</sub>AsO<sub>3</sub><sup>-</sup>

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

<b>pH</b>	<b>0 - 9</b>	<b>10 - 12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>
<b>As<sup>+3</sup></b>	<b>H<sub>3</sub>AsO<sub>3</sub></b>	<b>H<sub>2</sub>AsO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>HAsO<sub>3</sub><sup>2-</sup></b>	<b>AsO<sub>3</sub><sup>3-</sup></b>
<b>pH</b>	<b>0 - 2</b>	<b>3 - 6</b>	<b>7 - 11</b>	<b>12 - 14</b>
<b>As<sup>+5</sup></b>	<b>H<sub>3</sub>AsO<sub>4</sub></b>	<b>H<sub>2</sub>AsO<sub>4</sub><sup>-</sup></b>	<b>HAsO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	<b>AsO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>

FUENTE: ANÁLISIS DE ARSÉNICO EN AGUAS DE CONSUMO Y SU REMOCIÓN Buscador AltaVista 29 Págs.

## 1.5 Aspectos geológicos del arsénico (5)

El arsénico es un semimetal que pertenece al grupo del Escalenoedro positivo y negativo.

Cuando se calienta un mineral de arsénico en la llama oxidante sobre carbón vegetal, se produce una aureola blanca de óxido de arsénico, (óxido arsenioso)  $As_2O_3$  a cierta distancia del mineral.

**Cristalografía.** Cristales raros pseudocúbicos, generalmente en masas granulares, reniformes y estalactíticas.

**Propiedades físicas.** Exfoliación perfecta. Brillo casi metálico en superficie reciente. Color blanco de estaño en fractura reciente, que se torna gris oscuro al ser expuesto al aire.

**Composición y estructura.** El arsénico nativo presenta frecuentemente una sustitución limitada de Sb y trazas de Fe, Ag, Au, Bi.

**Yacimiento.** El arsénico es una especie mineral rara que se encuentra en filones en las rocas cristalinas, asociado a la plata, cobalto o menas de níquel.

**Empleo.** MENA muy secundaria de arsénico; la mayor parte del arsénico comercial se obtiene de otros minerales portadores de arsénico, como la arsenopirita  $FeAsS$  y la enargita  $Cu_3AsS_4$

**Etimología.** El nombre deriva de una palabra griega que significa masculino, como consecuencia de la creencia de que los minerales eran de sexos distintos. El término arsénico fue dado en un principio al sulfuro de arsénico debido a sus potentes propiedades.

**Especies similares:** Allemontita As Sb, compuesto intermedio de arsénico y antimonio.

**Otras.** Los sulfuros (mayoría de menas) arseniuros.

Arsenopirita (Fe As S)

Cobaltina S As (Co, Fe)

Mispiquel S As Fe (Arsenopirita)

La principal mena de arsénico. La mayor parte de As que se produce es recuperado en forma de óxido como subproducto de la fusión de menas arsenicales de cobre, oro, plomo y plata.

El As metálico se usa para aleaciones, especialmente plomo (Pb) para fabricar perdigones. Arsénico blanco u óxido arsenioso en medicina, insecticidas.

## 1.6 Límites máximos permitidos de arsénico en Centroamérica

Los límites máximos permitidos para Centroamérica son:

**Tabla III. Límites Máximos Permisibles (LMP) del arsénico en Centroamérica, México y por la USEPA**

País (Centroamérica)	Unidades	LMP
Guatemala	mg/L	0,010
Honduras	mg/L	0,010
El Salvador	mg/L	0,010
Nicaragua	mg/L	0,010
Costa Rica	mg/L	0,010
Panamá	mg/L	0,010
En México	mg/L	0,050
Por la USEPA	mg/L	0,010

**FUENTE:** Normas de Calidad de cada país, clases de Química- ERIS, 2005

## 2. ARSENICISMO COMO INDICIO DE LA TOXICIDAD DEL ARSÉNICO

El arsénico en el agua que ingiere una persona, es retenida por su organismo el cual no la puede metabolizar y lo acumula, provocando en la persona diferentes reacciones incluyendo la muerte del mismo.

El arsénico peligroso (veneno) es en realidad el **óxido de arsénico trivalente llamado Arsenito** ( $As_2O_3$ ) (11) que se disuelve en el agua y no tiene sabor ni olor.

Se conoce que las principales rutas de exposición de las personas al arsénico son la **ingesta e inhalación, que es acumulable en el organismo** por exposición crónica y a ciertas concentraciones ocasiona afecciones como:

**Alteraciones de la piel (relajamiento de los capilares cutáneos y la dilatación de los mismos)** con efectos secundarios en **los sistemas nerviosos, irritación de los órganos del aparato respiratorio, gastrointestinal, y hematopoyético y acumulación en los huesos, músculos y piel**, y en menor grado en **hígado y riñones**. Existe evidencia epidemiológica que personas con ingestión prolongada de **arsénico inorgánico**, vía agua de bebida, es la **hiperqueratosis palmo-plantar** cuya manifestación principal es **la pigmentación de la piel y callosidades localizadas en las palmas de las manos y pies** (1, 7)

Figura 1. Persona afectada por el arsenicismo



**FUENTE:** LA PRENSA de Nicaragua, Noticias- **Consumen Veneno en cada Vaso de Agua**, 25 de Septiembre de 2006.

La exposición a 0,05 mg/L puede causar 31,33 casos de cáncer de la piel por cada 1.000 habitantes. (1)

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norte América, USEPA, **clasifica al arsénico como cancerígeno del grupo A** debido a la evidencia de sus efectos adversos sobre la salud. (1)

**El Centro Internacional de Investigaciones sobre Cáncer lo ha clasificado en el grupo 1 (1). El Grupo A y el Grupo 1 indican que el agente es carcinógeno para los seres humanos (1)**

**La toxicidad del As+3 (Arsenito) es 10 veces mayor que la del As+5 (Arsenato) y la dosis letal para adultos es de 1-4 mg As/Kg. (7)**



### 3. BREVE DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DEL ARSÉNICO A NIVEL MUNDIAL

El arsénico es un elemento no metálico presente en la naturaleza formando un 0,00005% de la corteza terrestre.

De acuerdo con la información obtenida (7) solamente en la India existen alrededor de 6 millones de personas que ingieren aguas con arsénico, de las cuales más de dos millones son niños. En Estados Unidos más de 350 mil personas beben agua con arsénico de más de 0,50 mg/l.

Las concentraciones de arsénico en el agua subterránea, presentan niveles que llegan en algunos casos hasta 1,00 mg/l. En otros países como China y Taiwán el problema es más grave.

Las islas del Caribe como Barbados, Granada, se abastecen primordialmente de las aguas subterráneas (CEPIS 1991). También las grandes ciudades del Este de los Estados Unidos, como Miami, usan más del 80% del agua subterránea para satisfacer la demanda poblacional (Dr. Fuentes, 2005).

En varios países de América Latina como Argentina, Chile, El Salvador, México, Nicaragua, más de cuatro millones de personas beben permanentemente agua con niveles de arsénico que ponen en riesgo su salud. (1)

**Tabla IV. Valores Guía del arsénico de Agencias en el mundo**

País / Organización	Nivel de contaminación máximo (NCM) mg/L
Argentina (Código Alimentario)	0,050
Canadá	0,025
USA	0,050 USEPA considera disminuir a 0,002-0,020 y a 0,010 en 1996, Se evalúan valores de 2, 5, 10 y 20 µg/L para 2001

Continúa	
Francia	0,050
Republica Federal de Alemania	0,040 disminuirá a 0,010 en 1996
Organización Mundial de la Salud (OMS)	0,050 piensa disminuir a 0,010 para 1993
Comunidad Económica Europea (CEE)	0,050
India	0,050
China	0,050
Taiwán	0,050 piensa disminuir a 0,02 y hasta 0,005

FUENTE: (1) **ANÁLISIS DE ARSÉNICO EN AGUAS DE CONSUMO Y SU REMOCIÓN**. Internet, Buscador Alta Vista (29 Págs.)

## 4.- EL PROBLEMA A NIVEL CENTROAMERICANO

### 4.1. Antecedentes

Centro América es una porción de tierra que une las dos grandes masas de tierra firme que forman unidos el Continente Americano. Está comprimida por placas tectónicas siendo la más importante la de Los Cocos en el Océano Pacífico.

Tienen una cordillera volcánica, que viene desde Guatemala y continúa al Sur de Panamá. Muchos de sus volcanes están activos y tienen actividades volcánicas como erupciones esporádicas de cenizas, gases y magma (V. de Masaya y V. Concepción en Nicaragua, V. Fuego y V. Pacaya en Guatemala)

Se sabe que existen fuentes de agua superficiales que llevan arsénico, ya sea porque tienen contacto con aguas geotermales, por contacto con una vena magmática, las cuales son ricas en metales pesados.

En nuestros países centroamericanos, más del 46% de nuestra población habita en la zona rural (**4**) de ellas más del 66% se abastecen de las aguas subterráneas, mediante el uso de pozos.

En la zona rural de los países centroamericanos, con un rango del 40% (Guatemala) y 75% (El Salvador) del total de la población, sus habitantes se abastecen primordialmente de las aguas subterráneas (**CEPIS, 2000**).

En Guatemala aún no se tienen evidencias epidemiológicas que manifiesten que las aguas que bebe la población del interior del país, contienen arsénico, pero dada las características de país volcánico, es posible que sí haya aguas subterráneas contaminadas con este elemento.

En Nicaragua para la ciudad de Managua se extrae del subsuelo más del 70% del consumo diario para los 2,50 millones de habitantes de la capital y para la zona rural más del 66% de los 2,20 millones de habitantes de la zona rural extraen aguas del subsuelo para su sobrevivencia (4).

Se sabe que Costa Rica usa el recurso hídrico desde los años 60 para satisfacer el requerimiento de agua para la población.

El bajo costo de explotación y la superior calidad del agua subterránea sobre la superficial, ha justificado ampliamente su explotación siempre que ella exista.

Alguna institución **de nuestros países centroamericanos deben tener un inventario de las fuentes de agua superficiales y subterráneas** y asimismo debería practicarles a todas un examen físico- químico que incluyan los metales pesados como el arsénico, a fin de conocer por un lado, el potencial de los recursos con los que se cuenta y, por el otro, la calidad físico – química – bacteriológica de cada una de ellas y poder disponer de ellas en el futuro de forma programada.

#### **4.2. Estudios realizados en Nicaragua**

Como consecuencia del caso aparecido en la comunidad de San Isidro, (2) Departamento de Matagalpa, en Nicaragua, las autoridades a través del Ministerio de Salud, ENACAL, INAA y MARENA coordinaron una investigación en la zona (8) la cual dio como resultado la resolución de cerrar el pozo de San Isidro y abastecer a la comunidad con el agua de otro pozo.

Este hecho abrió la oportunidad para que Nicaragua desde 1998 y con base al documento PROGRAMA DE MONITOREO CONJUNTO (JMP) y METAS DEL MILENIO (2000), realizara otros estudios para determinar si este problema de arsenicismo también afectaba a otras comunidades a través de toda Nicaragua de tal manera que en 2005 ya habían cubierto 13 de los 17 Departamentos del país (13).

El Cuadro adjunto presenta los estudios realizados

**Tabla V. Muestras tomadas por año**

AÑO	NÚMERO DE MUESTRAS
2001 (PIDMA EHP)	124
2002 (PIDMA UNICEF)	106
2004 (EVALUACION RAPIDA)	1446

**FUENTE:** Evaluación Rápida de la Calidad de Agua de Bebida, Nicaragua 2005.

Además buscaron la presencia del **arsénico** tomando muestras en diferentes lugares, de las cuales solamente 1446 muestras clasificaron como buenas.

**Tabla VI. Muestras tomadas por lugar**

LUGAR	MUESTRAS
Tuberías comunitarias	320
Tuberías publicas	362
Pozos perforados	436
Pozos protegidos	480
TOTAL	1600

**FUENTE:** Evaluación Rápida de la Calidad de Agua de Bebida, Nicaragua 2005.

Y a través de los años los resultados se presentan en la siguiente Tabla VII

**Tabla VII. Resultados de As de las muestras tomadas en pozos**

AÑO	Nº MUESTRAS	% DE As > 0,01 mg/l
2001 PIDMA EHP	124	8,0 pozos perforados (10)
		2,7 pozos protegidos (3)
2002 PIDMA UNICEF	106	13,6 pozos perforados (14)
		4,8 pozos protegidos (5)
2004 Evaluación Rápida	1446	8,1 pozos perforados (117)
		3,3 pozos protegidos (48)

**FUENTE:** Evaluación Rápida de la Calidad de Agua de Bebida, Nicaragua 2005.

En estas Tablas se puede ver que en Nicaragua, en 13 de los 17 Departamentos del país existen muchos pozos de aguas subterráneas con **arsénico**.

### 4.3. Planteamiento del problema en Nicaragua

A pesar de que las aguas subterráneas son aguas limpias y sin contaminaciones como lo están la mayoría de fuentes de agua superficial, casi todas llevan elementos que las hacen peligrosas para el consumo como agua potable, tales como los metales pesados, cadmio, **arsénico**, cromo, plomo y otros que el organismo no puede metabolizar como lo hace con la mayoría de sustancias que el ser humano consume.

El caso de Nicaragua (8) en Julio del año 1996, se detectó por medio de un paciente (2) que presentaba los síntomas provocados por el arsénico.

El galeno que la atendió alertó a las autoridades del Ministerio de Salud (MINSAL), las cuales en coordinación con la ENACAL, MARENA e INAA (8), procedieron a analizar el agua del pozo que abastecía a la comunidad de San Isidro, Matagalpa, confirmando que tales aguas tenían arsénico con concentración de 0,309 mg/l, mucho mayor que el límite máximo permisible por la Norma Nicaragüense para consumo humano (9), que es 0,010 mg/l (Todas las norma centroamericanas lo fijan en 0,010 mg/l, véase la **Tabla III. Límites Máximos Permisibles (LMP) del arsénico en Centroamérica, México y por la USEPA**)

En la **Evaluación Rápida 2004 (13)** en Nicaragua se muestrearon 1446 pozos entre perforados y protegidos en 13 de los 17 Departamentos que tiene, encontrándose que el 8.1% de los perforados (117 pozos) y el 3.3% de los protegidos (excavados) (48 pozos) contienen arsénico con más de 10 µg/l (0,01 mg/l) esto demuestra que Nicaragua es un país en donde el arsénico está presente en las aguas subterráneas de varios lugares, con una concentración superior a 0,01 mg/l

**El problema identificado** en Nicaragua en Julio de 1996 **es que EL AGUA (SUBTERRÁNEA) CONTIENE ARSÉNICO y personas lo consumían ignorando que se estaban intoxicando.**

#### 4.4. Justificación del estudio

Se sabe que este tipo de problema aqueja a muchas personas en el interior de los países centroamericanos, quienes desconocen por completo lo que ingieren vía agua.

El hecho que la Evaluación Rápida realizada el año 2004 en Nicaragua mostrara 165 pozos entre perforados y excavados con una concentración de arsénico superior a los 0,010 mg/l constituye **una evidencia de un problema que alguien tiene que enfrentar**, tomando en cuenta que este elemento afecta a quienes lo consumen en especial los niños quienes al acumularlo en su cuerpecito durante años, pueden adquirir cáncer en su piel y finalmente pueden morir si continúan ingiriendo estas aguas.

El caso descubierto en el Municipio de San Isidro (Matagalpa, Nicaragua) (**2, 8**), de personas (hombres, mujeres, niños) que sin saberlo bebían aguas con alta concentración de arsénico (0,309 mg/l), es un **caso real**.

Esta situación puede ser la misma de otros casos que no han sido considerados en la región centroamericana, por causa de que las entidades responsables de suministrar agua potable a la comunidad rural, **no investigan si las fuentes que los abastecen** contienen arsénico.

La pregunta resultante fue ¿Es posible remover el arsénico presente en algunas aguas subterráneas? La respuesta se plantea en la Hipótesis, **se puede remover el arsénico presente en el agua**, el cual es el objetivo de este estudio.

Remover el arsénico presente en aguas que se vayan a ingerir, proveniente de un cuerpo de aguas subterránea y llevarlas a niveles que no representen peligro al ser humano, **es un reto** para un ingeniero sanitario, pero también **es un deber humano y social**.





## 5.- TEORÍA DE ELIMINACIÓN DEL ARSÉNICO

El arsénico en el agua que ingiere una persona, es **retenida por su organismo** el cual **no la puede metabolizar** y salvo que lo expulse por medio de la orina o el sudor **(6)**, **lo acumula, provocando** en la persona **diferentes reacciones incluyendo la muerte** del mismo.

Según el artículo “El análisis de fuentes de agua en Nicaragua ¿Cómo está el agua que consumimos?”, obtenido de un documento de la UNICEF en Internet **(2)**, se hace mención del descubrimiento que el agua potable de pozos públicos del Municipio de San Isidro en el Departamento de Matagalpa, contenía niveles peligrosamente altos de arsénico (hasta 0.309 mg/l).

Otro documento **(8)** divulgativo del caso del arsénico en la comunidad del Zapote, en las cercanías de San Isidro, descartaron la posibilidad de que el arsénico estuviera relacionado con aguas termales.

De acuerdo con la literatura obtenida hay varios métodos para remover el arsénico **(1, 6, 7)**

### 5.1.- Por medios filtrantes

Este procedimiento consigue el efecto de la alúmina activada con la particularidad que el intercambio iónico **se realiza en el medio filtrante** a base de óxido de hierro o arcilla férrica (propiedad de los **sesquióxidos**). Este método es apropiado aplicarlo a las aguas subterráneas, las cuales no tienen sólidos suspendidos o coloidales.

El agua con arsénico de carga  $As^{+++++}$  después de haber sido oxidada se intercambia por los iones  $Fe^{++}$  o  $Fe^{+++}$  del **medio filtrante óxido de hierro**.

Este medio filtrante es el usado en este estudio conociendo que la efectividad de la remoción está en relación con el **medio filtrante**. La muestra de **hematita** la suministró el Ministerio de Energía y Minas (MEM) a través del Departamento de Control Minero, con un contenido de hierro (% en peso de  $Fe_2 O_3$ ) del 37.84 véase Anexo.

De acuerdo con la literatura consultada (1, 6, 7) también existen otras formas de remover el arsénico:

### **5.2. Alúmina activada**

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

Puede utilizarse sulfato de aluminio, pero la dosis necesaria es muy elevada: 50 a 1000 g/m<sup>3</sup>, según los casos. El agua así tratada puede contener una dosis muy fuerte de aluminio disuelto; hay que prever una floculación posterior al hacer el ajuste del pH.

### **5.3. 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 aglomerados que puedan ser eliminados por sedimentación o filtración.

Este método es apropiado usarlo en aguas superficiales.

### **5.4. Ósmosis 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.

### **5.5. Nanofiltración**

Es un proceso de separación líquida mediante membranas operadas bajo presión que permite el paso de solventes y sales monovalentes, iones metálicos y pequeñas moléculas orgánicas de peso molecular en el rango de 200 a 1000.

### **5.6. Metodología escogida**

De acuerdo con la Hipótesis en la que se plantea **remover el arsénico presente en el agua a nivel de laboratorio aplicando como medio filtrante óxido de hierro**, la metodología propuesta es la de **usar medios filtrantes**.

Este es un trabajo investigativo en un primer intento y como el problema observado en Nicaragua en la comunidad de San Isidro **que el agua subterránea extraída de los pozos contenían arsénico**, el agua a usar debía ser del tipo **subterránea** y el método de medios filtrantes es el que mejor se adapta, además de ser el mas fácil y económico.



## 6. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

El estudio especial **“REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN EL AGUA A NIVEL DE LABORATORIO APLICANDO COMO MEDIO FILTRANTE ÓXIDO DE HIERRO”** comprende las actividades generales que se enumeran a continuación.

- 1 Protocolo de investigación aprobado.
- 2 Búsqueda de Información
  - 2.1 Para el Marco Teórico
    - 2.1.1 El arsénico
      - 2.1.1.1 Problema a nivel mundial.
      - 2.1.1.2 Problema a nivel centroamericano
      - 2.1.1.3 Teoría de la eliminación del arsénico
    - 2.1.2 El Arsenicismo
  - 2.2 Para el Diseño de los filtros
    - 2.2.1 Búsqueda de los materiales confinantes y de los medios filtrantes.
      - 2.2.1.1 La hematita (por el Ministerio de Energía y Minas)
      - 2.2.1.2 Las diatomeas (en Km. 32 Carretera al Atlántico).
      - 2.2.1.3 La antracita (por el Laboratorio ERIS-USAC).
      - 2.2.1.4 Arenas y piedrín de ½” (su limpieza, comprados).
- 3 Búsqueda del arsénico y del agua a usar.
- 4 Materiales del sistema hidráulico (tubería, válvulas, recipientes).
- 5 Adecuación de las torres de metal (existente, se modificaron en altura)
- 6 Construcción del modelo: los 2 Filtros (limpieza, adecuación y montaje)
- 7 Primeras pruebas: el pH y muestra del agua para determinar si el agua de pozo tiene arsénico.
- 8 Dosificación del arsénico (método analítico efectuado en el Laboratorio)
- 9 Mezcla de la solución de As en los 50 litros de agua (en el sitio señalado por el Asesor, 2º nivel de las instalaciones del Laboratorio ERIS-USAC)

- 10 Sabiendo que el As en un cuerpo de agua puede estar en sus formas de As+3 ò As+5 lo conveniente será convertirlo a la forma de As+5 que es 10 veces menos tóxico que la forma As+3, por lo que se debe adicionar hipoclorito de calcio, luego tomar la primera muestra, para medir su concentración, antes de hacerla pasar por el medio filtrante “A”, (los cálculos se hicieron en el Laboratorio y su aplicación en el sitio escogido).
- 11 Controlar el pH y su Turbiedad (todo en el Laboratorio)
- 12 Hacer pasar el volumen de agua con arsénico por el medio filtrante, y tomar muestras cada diez minutos (en el sitio escogido para las corridas)
- 13 Realizar siete corridas, cinco con una concentración de 1,00 mg/l, una con 0,00 mg/l y la séptima con una concentración de 0,30 mg/l.
- 14 En el filtro “B” también se tomarán muestras cada 10 minutos para determinar la concentración del hierro.
- 15 El As se determinará en el Laboratorio Nacional de Salud (LNS).
- 16 El Fe, el pH y la Turbidez se determinarán en el laboratorio de la ERIS – USAC.
- 17 Los resultados recopilados se analizarán posteriormente.
- 18 Como última actividad, de los resultados obtenidos durante la investigación, se elaborarán las Conclusiones y Recomendaciones del estudio.

### **6.1. Búsqueda de información**

Esta actividad se llevó a cabo durante la realización del Protocolo. El Estudio Especial consta de dos áreas de investigación las cuales son:

1. Relacionado al Marco Teórico.
2. Búsqueda de la información de los filtros y de los medios filtrantes.

En relación al punto 1 se puede dividir en dos subdivisiones, las cuales son, por un lado, la información de cómo se hace la estructura del marco lógico y por otro lado ,la información de cada componente.

Respecto al punto dos se puede subdividir en dos partes, la primera es sobre los tipos de filtro, sus componentes y la segunda la información de cada medio filtrante como ejemplo, ¿Qué es?, ¿Dónde se consigue en el territorio nacional?, sus propiedades e información de las experiencias de otras gentes en experimentos semejantes.

En el estudio piloto realizado (6) en una de las fuentes subterráneas de Zimapán, Hidalgo, México, fue evaluada la remoción de arsénico por filtración a través de un lecho de óxido de hierro, seguido por otro filtro empacado con zeolita recubierta con óxidos de manganeso.

Los filtros funcionaron en serie. El resultado fue el de la remoción del arsénico entre el 72 y el 96 %, teniendo siempre el control del **pH** entre el 6.0 – 7.0

Otro método muy eficiente es la floculación y coagulación del As, mediante sales de aluminio y hierro, usado muy frecuentemente en las plantas de tratamiento, mediante el proceso de potabilización de las aguas de origen superficial. En este proceso se produce gran cantidad de lodos, que continúan conteniendo el As. Estos lodos también deben ser tratados de manera especial.

#### **6.1.1. Características del Hierro (Fe) (5)**

**Meteórico** (Ramacita) en placas grandes y masas laminares y en regular intercrecimiento.

**Propiedades físicas:** fractura astillosa, maleable, opaco, brillo metálico, color gris acerado a negro. Fuertemente magnético. Soluble en ácido clorhídrico.  
Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup> (**magnetita Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>**)

**Hematitas Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**; hidróxidos como la **goethita FeO·OH**

Del sistema coloidales (de intercambio iónico) de óxidos (II) son aquellos en que las partículas coloidales consisten de **óxido de Fe** (o sesquióxidos) y Al o alofana, o aquellos en que los aluminosilicatos laminares están totalmente cubiertos por revestimientos gruesos y estables de tales óxidos. La carga es completamente dependiente del **pH**.

### **SESQUIÓXIDOS – R2 O3.**

Con este nombre se denomina a un grupo de **óxidos e hidróxidos de Fe y Al**, que se forman en suelos en etapa avanzadas de intemperización como son los del trópico húmedo. Primero son compuestos amorfos, que con el tiempo y la pérdida de agua, los procesos de redox y la temperatura, cristalizan. Fístula.

Los nombres más comunes para los grupos de Fe son: **goetita y hematita**.

En condiciones ácidas se revuelven con caolinitas y su carga positiva neutraliza la negativa de las arcillas promoviendo la floculación y la formación de partículas grandes estables conocidas como pseudoarenas. Este comportamiento le confiere a los suelos características físicas estructurales muy estables y deseables como son **infiltración rápida por buena porosidad y permeabilidad, plasticidad baja, fácil laboreo, “texturas” gruesas**.

En estos materiales la carga se genera exclusivamente a partir de la **ionización de OH terminales**, por lo tanto, en medios ácidos presentan capacidad de intercambio de aniones, especialmente fosfatos

**Tabla VIII. Características químicas**

MATERIAL	SESQUIÓXIDOS
TAMAÑO DE PARTÍCULAS	GRANDE
ORIGEN DE LA CARGA	IONIZACIÓN OH



Continúa	
CAPACIDAD INTERCAMBIO CATIONES CIC (c mol (+) / l)	<b>10-25</b>
CAPACIDAD INTERCAMBIO ANIONES CIC ( c mol (+) / l)	<b>5</b>
SUELOS EN QUE SE PRESENTA	VIEJOS
ÓRDENES	ULTISOLES ALFISOLES OXISOLES
PROPIEDADES FISICAS	EXCELENTES BUEN DRENAJE

**FUENTE:** FLORIÁN BERTCH, 1988, **Manejo de la Fertilidad del Suelo.** (14)

### **6.1.2. Diatomeas (5)**

Las diatomeas son organismos diminutos que viven tanto en el agua salada como en las dulces y tienen poder de segregar material opalino. Cuando los organismos mueren sus menudos caparazones se acumulan en el fondo formando un depósito de **tierra de diatomeas**.

Depósitos de grano fino, de aspecto semejante a la creta. Formado por la acumulación en el fondo del mar de los caparazones silíceos de las diatomeas. Conocidos también con el nombre de **tierra de diatomeas o tierra de infusorios**.

Se emplea como abrasivo, polvo para filtrar, productos de aislamiento y otros.

### **6.2. Adquisición de medios filtrantes**

Se investigó en el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC) sobre el **óxido de hierro**, la **arcilla férrica** y la **zeolita**.

El producto de esa investigación dio como resultado la consecución del libro MANUAL DE MINERALOGÍA DE DANA (5)

Se realizó una visita sobre la carretera a Puerto Barrios, a la mina a cielo abierto de **arcilla férrica**, donde se tomó muestras del mineral, al igual que con una veta de **diatomeas puras**.

Las coordenadas UTM de los lugares donde se obtuvo las muestras son:

Arcilla Férrica: 15P 0788403, 1633745, 848 (Altura)

Diatomeas : 15P 0781488, 1627207, 1107

Finalmente no se usó la muestra de arcilla férrica, porque contenía un % de hierro bajo (3.57 – 4.74 % de peso) (1) inferior a la otra muestra de hematita suministrado por el MEM (37.84 % de peso) véase el APÉNDICE.

También se realizó entrevistas con los ingenieros: Isaac Herrera e ing. Iván Dimitri Santos C. de la Facultad de Ingeniería Agronómica, para saber su experiencia y ubicación de la zeolita.

Se entrevistó con el ing. Guillermo Schell Álvarez del Ministerio de Energía y Minas (MEM) de Guatemala, quien además de información general suministró una muestra de óxido de hierro (Hematita), del sector las Veguitas, San Juan Ermita, con ubicación:

Óxido de Hierro: 15P 0234783, 1631833

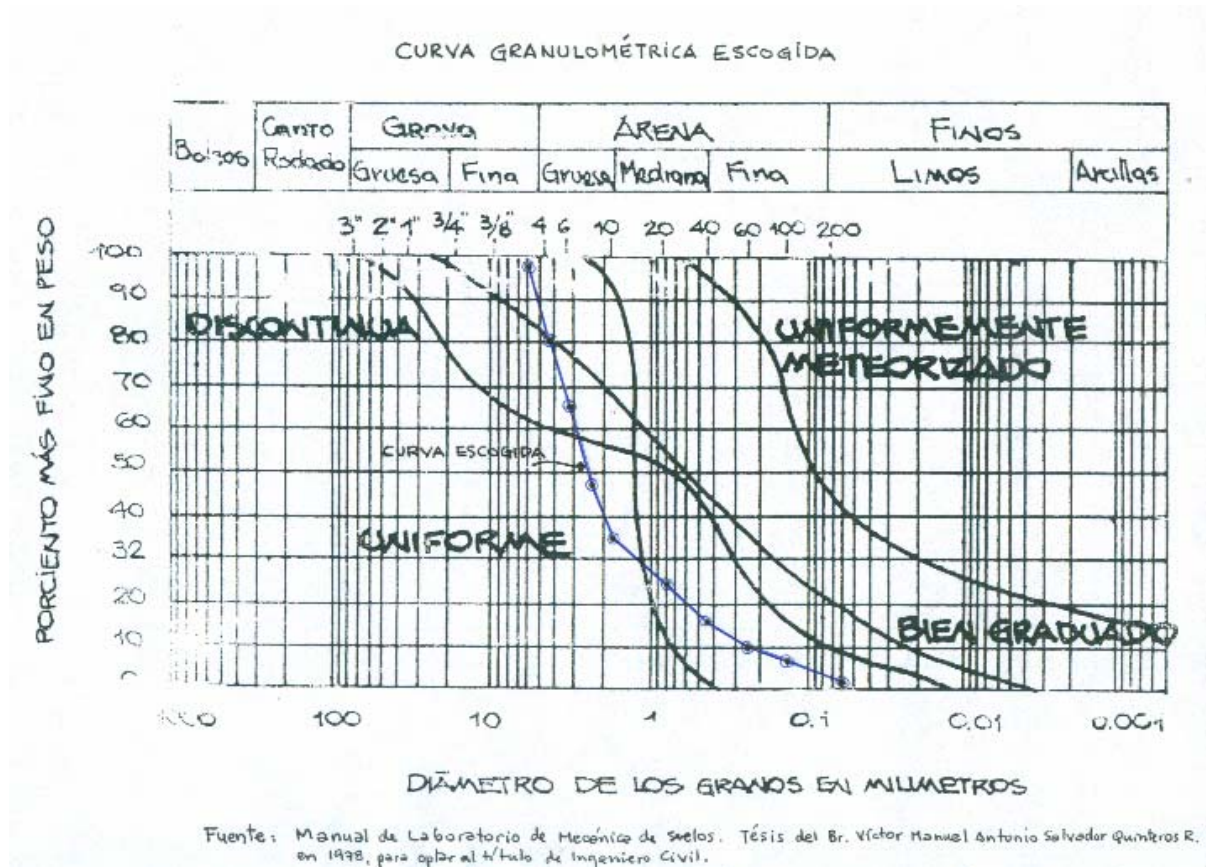
El MEM proporcionó 9,85 Kg. de óxido de hierro los cuales también trituró, según se presenta en el Cuadro de Resultados de Análisis que se encuentra en el APÉNDICE, que corresponde a una guía de tamaños de partículas (% retenidos en mallas), suministrado por el sustentante basado en el gráfico “CURVA GRANULOMÉTRICA

ACUMULATIVA” (15) Véase la Gráfica de la Curva Granulométrica Acumulativa que se muestra adjunta

El material más difícil de obtener fue la **zeolita** porque no se le encuentra en forma pura en cantidades apreciables, sino mezclada y en motas pequeñas.

(1) Información suministrada por el Ing. Julio Luna, Director del CESEM  
Se envió una carta al MEM para saber si ellos lo han localizado en algún lugar de Guatemala, teniendo una respuesta negativa.

**Figura 2. CURVA GRANULOMÉTRICA ESCOGIDA**



### 6.3. Fase de investigación

Esta fase es el resultado de las fases anteriores: una vez realizadas las investigaciones, elaborados el diseño, obtenidos los medios filtrantes y construidos

los modelos en el sitio seleccionado se procedió a la verificación o negación de la hipótesis haciendo uso de un proceso que incluye lo siguiente:

1. Evaluación de la presencia del As en el agua subterránea usada por toda la USAC.
2. Monitoreo y evaluación del As resultante respecto al tiempo, al salir del Filtro N° 1 y del Fe al salir del Filtro N° 2
3. Monitoreo de las cargas entre cada tiempo de toma de muestras.
4. Recopilación de datos del caudal filtrado.

#### **6.4- Fase final**

Una vez reunida la información de campo se procederá a la tabulación de los datos obtenidos y al análisis de los mismos, para la obtención de las conclusiones.

Para facilitar la interpretación de los resultados obtenidos se realizarán gráficas con los datos obtenidos.

## 7. MODELO EXPERIMENTAL USADO EN LA INVESTIGACIÓN

### 7.1. Planteamiento del modelo experimental

Para el proceso de investigación se desarrolló un modelo de columnas de filtración rápida semejante al presentado en la publicación “REMOCIÓN DE ARSÈNICO”, tecnologías. (6)

Este modelo consta de dos componentes, uno de ellos, tendría la función de retener el arsénico contenido en el agua al hacerla pasar a través de un medio filtrante en la cual el óxido de hierro se encarga de retener el arsénico a cambio cedería hierro, el otro retendría el hierro que se encontraría en el agua que sale del Filtro 1.

**Figura 3. El Filtro N° 1 con 50 litros de agua con arsénico.**



## 7.2. Preparación del medio filtrante para retener el arsénico

El Filtro N° 1, consta de tres partes: piedrín de  $\frac{1}{2}$ ", arena de río y el medio filtrante de óxido de hierro (Hematita), siendo éste el elemento importante para retener el arsénico, mientras que la arena de río servirá para confinar (arriba y abajo) al óxido de hierro a manera de protegerlo evitando su dispersión por efecto del caudal que pasa a través del medio, y la piedra triturada servirá arriba para proteger y disipar la energía de la caída del agua y abajo como filtro grueso para facilitar el flujo del agua. La columna de agua (los 50 litros) llegaba hasta los 1,178 m desde el fondo (+0,00) y a 0,617 sobre el piedrín de  $\frac{1}{2}$ ", como se aprecia en la Figura 3. (anterior)

El óxido de hierro (Hematita) fue suministrado por el Ministerio de Energía y Minas (MEM), esta muestra contenía un alto porcentaje de Hierro (37,84 % en peso de  $Fe_2O_3$ ) (Véase en el ANEXO el documento Resultados de Análisis de la Hematita por % en peso de sus componentes). También el MEM trituró la muestra de 9,85 Kg. en % de peso que pasa por las diferentes mallas (Véase en el APÉNDICE el documento Resultados de Análisis de la Hematita por tamaño de malla), de acuerdo a un diseño formulado de una curva granulométrica acumulativa en el rango que la califica de BIEN GRADUADO la cual se presenta en dicho APÉNDICE.

**Figura 4. Mezcla de los componentes del Óxido de Hierro triturado.**



### 7.3. Preparación del medio filtrante para retener el hierro

El Filtro N° 2, consiste en un medio filtrante contenido en un tubo plexiglás transparente igual al Filtro N° 1. Los componentes constan de una capa de 0.10 m. de piedrín de ½" colocados en los extremos superior e inferior del filtro, seguidos de otra capa de 0.10 m de arena limpia de río, la cual confinaba al medio filtrante del hierro, de 0.10 m. compuestos (arriba) de 0.02 m. de **antracita** seguido (abajo) de 0.08 m. de **diatomeas**. La función de la antracita es retener el hierro cedido por el Filtro N° 1; las diatomeas sirven para filtrar cualquier elemento en suspensión . La colocación de las capas se hicieron cuando los tubos se habían colocado sobre las tarimas de metal, para darles las alturas de diseño.

### 7.4. Modelo experimental

El modelo experimental en conjunto se aprecia en la Figura 5.

**Figura 5. Vista del momento en que se descarga el Filtro N°1 en el Filtro N°2.**







## 8.- ANÁLISIS DE LABORATORIO Y RESULTADOS

### 8.1. Análisis preliminares practicados

Una vez preparado el modelo experimental de columnas de filtración rápida y antes de proceder a realizar las corridas planeadas, se preparó en el Laboratorio una solución madre de arsénico, para lo cual se determinó el peso del As a aplicar en el balón de aforo.

#### 8.1.1. Cálculos analíticos.

Primeramente, se tomó una muestra de agua (As 1i-1) de la tubería que abastece a la USAC, para determinar si esta agua tenía presencia de As.

A- **Adición** de agua al **arsenito de sodio** del Laboratorio.



$$(\text{NaAsO}_2) / \text{As} = 129,909 / 74,922 = 1,734$$

Para una concentración de 1,00 mg/l de **As** en la solución, se requiere 1,734 mg de **Arsenito de Sodio** que se mezclaría en 1,00 litros de agua de la tubería, como se aplicaría en 50 litros de agua se pesó en la balanza analítica 0.0867g de la **sal** que se echó en el balón de aforo hasta completarse con agua un litro. (Ahora la concentración del As en el agua del balón es 50,00 mg/l).

**Figura 6. Momentos en que se pesan los 0.0864g de Arsenito de Sodio en la balanza analítica.**



**Figura 7. Mezcla del Arsenito de Sodio en un litro de agua en el balón de aforo**



**Figura 8. Vertido de la solución concentrada de 50 mg/l de As en el volumen de 49 litros de agua.**

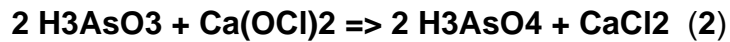


**Figura 9. Agitación del agua conteniendo el As durante tres períodos de 5 minutos cada uno.**



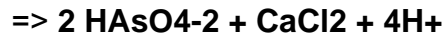
El segundo cálculo realizado en el laboratorio, previo a las corridas en el modelo de columnas de filtro rápido consistió en **convertir el arsenito** (trivalente) en **arsenato** (pentavalente).

B- **Adición del Hipoclorito de Calcio** al 65% del Laboratorio al arsénico diluido en el agua del tanque (49,00 litros) para lograr su oxidación



Manteniendo un pH = 7

Se puede presentar la familia de arsenatos con la siguiente fórmula:



Con pH = 7-11

Aquí se ve como un mole de Hipoclorito de Calcio oxida los 2 moles de Arsenito. De aquí se obtiene teóricamente la cantidad de Hipoclorito necesarios para realizar la oxidación de la siguiente manera:

$$(\text{CaCl}_2)/100\%: 142,984 - 251,8854 (2\text{H}_3\text{AsO}_3)$$

$$X - 1,00 \text{ (mg/l)}$$

X = 0,5677 mg (al 100%) oxidarán la totalidad del Arsenito ( de 1,00 mg/l)

X al 65% será = 0,8733 mg de CaCl<sub>2</sub> al 65%

Para 50,00 litros se necesita 43,6658 mg de CaCl<sub>2</sub> al 65% pero se pesará 55 mg para proveer un exceso.

Los cálculos anteriores se realizaron para la Corrida N° 1, en el caso de las cuatro siguientes corridas se preparó una solución madre de 200,00 mg/l de Arsénico las que se diluyeron en cuatro partes (una por cada corrida de 50 litros), en el caso del Hipoclorito de Calcio, éste se preparó en cada corrida.

En la Corrida N° 6 **no se adicionó el Arsénico, pues esa corrida era de 0,00 mg/l de Arsénico.**

Para la 7ª Corrida, se hizo una solución de 0,30 mg/l de Arsénico y se aplicó 13,10 mg de Hipoclorito de Calcio al 65% con un exceso

Durante el mezclado del Hipoclorito de Calcio, se agitó por tres períodos de 5 minutos cada uno para lograr una mejor distribución del Hipoclorito de Calcio en la solución.

Como se observa en la Ecuación (2), el Arsenito +3 pasa al otro lado de la Ecuación como Arsenato + 5.

**Lograr esta transformación es en sí un gran éxito por lo que representa, porque los estudios epidemiológicos señalan que el Arsenito es 10 veces más tóxico que el Arsenato, así que el hecho de transformar en cualquier cuerpo de agua el Arsénico del tipo Arsenito a Arsenato, se logrará una disminución de prácticamente 10 veces el efecto tóxico.**

## **8.2. Otros análisis realizados**

Para la verificación de la hipótesis planteada y la comprobación de la remoción del arsénico y del hierro, se utilizó el Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini de Abreu” de la ERIS ubicado en el Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC, en donde se practicaron los análisis de **pH, Turbiedad y Fe.**

El arsénico se determinó en el Laboratorio Nacional de Salud “LNS”, habiendo ingresado las muestras el 23-06-2006 y los resultados se entregaron con fecha 25-07-2006. El método usado: **3500-As B. Silver Diethyldithiocarbamate Method, Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater 20th. Edition APHA, AWWA, WEF**

El Hierro (Total) fue determinado en el Laboratorio de la ERIS, mediante el método SPANDS haciendo uso de un espectrofotómetro HACH DR / 2000.

**Figura 10. Parejas de celdas de 25 ml de muestras con hierro, una es el blanco y la otra la muestra con el reactivo FERROVER.**



**Figura 11. Lectura de 0,06 mg/l de Hierro Total de la muestra Fe 3-3**



### 8.3. Resultados obtenidos en las siete corridas realizadas

Para visualizar mejor los resultados obtenidos, se prepararon Tablas y Gráficas por Corrida, ya sea por el Arsénico o por Hierro Total, las cuales pueden verse en el APÉNDICE. Vea los resultados de la siguiente Tabla.

**Tabla IX. Resultados de la retención de Arsénico y del Hierro (las tres primeras muestras)**

Corrida 1	Muestra N°	agua del pozo	1i-1	1-1	1-2	1-3
Conc. 1,0 mg/l	Con As	ND	0,944	0,001	0,533	0,645
	.Con Fe			0,06	0,31	0,01
20-03-06	Tiempo min.	-60	0	18	28	38
Nota 1 En 8	min se lleno	el Fil N°1	Nota 2	ND (No	determin	<0,001
Corrida 2	Muestra N°		2i-1	2-1	2-2	2-3
Conc. 1,0 mg/l	Con As		0,013	0,27	0,367	0,392
	.Con Fe			0,04	0,04	
22-03-06	Tiempo min.		0	11,5	21,5	31,5
Nota:	En 6,5	minutos	se	lleno el	Filtro N°1	
Corrida 3	Muestra N°		3i-1	3-1	3-2	3-3
Conc. 1,0 mg/l	Con As		0,459	0,013	0,34	0,444
	.Con Fe			0,39	0,15	0,06
23-03-06	Tiempo min.		0	9	19	29
Nota:	En 9	minutos	se	lleno el	Filtro N°1	
Corrida 4	Muestra N°		4i-1	4-1	4-2	4-3
Conc. 1,0 mg/l	Con As		1,074	0,081	0,542	0,602
	.Con Fe			0,68	0,17	0,07
24-03-06	Tiempo min.		0	5	15	25
Nota:	En 5	minutos	se	lleno el	Filtro N°1	
Corrida 5	Muestra N°		5i-1	5-1	5-2	5-3
Conc. 1,0 mg/l	Con As		0,779	0,035	0,392	ND
	.Con Fe			0,14	0,06	0,05
27-03-06	Tiempo min.		0	12	22	32
Nota:	En 12	minutos	se	Lleno el	Filtro N°1	
Continúa						

Corrida 6	Muestra N°		6i-1	6-1	6-2	6-3
Conc. 0,0 mg/l	Con As		ND	ND	ND	ND
	.Con Fe			0,84	0,14	0,04
29-03-06	Tiempo min.		0	12	22	32
Nota:	En 12	minutos	se	lleno el	Filtro N°1	
Corrida 7	Muestra N°		7i-1	7-1	7-2	7-3
Conc. 0,3 mg/l	Con As		ND	ND	0,02	0,035
	.Con Fe			0,04	0,08	0,02
31-03-06	Tiempo min.		0	15	25	35
Nota:	En 15	minutos	se	Lleno el	Filtro N°1	

**FUENTE:** Datos tomados del INFORME DE ANÁLISIS, MUESTRAS CONTROL realizados por el LABORATORIO NACIONAL DE SALUD (Se encuentra en el APÉNDICE)

En la Tabla IX. (anterior) se presentan tanto el número de la Corrida, como los resultados obtenidos en el Laboratorio (LNS) en relación a la concentración del arsénico por muestra, y del Hierro Total, también se incluye el tiempo en minutos en que se tomaron las muestras, para establecer relación con el tiempo.

En la Tabla X, se tiene una matriz de Corridas con la información de las retenciones por muestra de Arsénico establecidas en el Laboratorio (LNS) y los porcentajes de retención.

Con esta Tabla se puede observar más cómodamente la relación que existe en cada grupo de Corridas, así como la conexión entre datos de una misma columna.

Como los datos de la Corrida N° 2 no tienen sentido (en la magnitud de las concentraciones y en un aparente desorden de colocación) debido a algún error, se presenta un **arreglo** consistente en colocar el último dato de la derecha en el primer lugar de la izquierda y los otros datos en le mismo orden corridos a la derecha, esto permite una respuesta **de porcentajes** más acorde a los datos porcentuales de las otras corridas.



**Tabla X. Porcentajes de remoción de Arsénico**

CORRIDA 1	1i-1	1-1	1-2	1-3
Concentración	0,944	0,001	0,533	0,645
Remoción %		99,89	43,54	31,67
CORRIDA 2	2i-1	2-1	2-2	2-3
Concentración	0,013	0,27	0,367	0,392
Remoción %				
CORRIDA 3	3i-1	3-1	3-2	3-3
Concentración	0,459	0,013	0,34	0,444
Remoción %		97,17	25,93	3,27
CORRIDA 4	4i-1	4-1	4-2	4-3
Concentración	1,074	0,081	0,542	0,602
Remoción %		92,46	49,53	43,95
CORRIDA 5	5i-1	5-1	5-2	5-3
Concentración	0,779	0,035	0,392	ND
Remoción %		95,51	49,68	
CORRIDA 2 reordenada	2i-1	1-1	1-2	1-3
Concentración	0,392	0,013	0,27	0,367
Remoción		96,68	31,12	6,38

FUENTE: Datos tomados del INFORME DE ANÁLISIS, MUESTRAS CONTROL realizados por el LABORATORIO NACIONAL DE SALUD y sus porcentajes.

**Tabla XI. Porcentajes de remoción de Arsénico por corridas**

CORRIDAS (N)	N-1	N-2	N-3
1	99,89	43,54	31,67
2			
3	97,17	25,93	3,27
4	92,46	49,53	43,95
5	95,51	49,68	-
2 Reordenada	96,68	31,12	6,38
Rangos	(99.89-92.46)	(49.68-25.93)	(43.95-3.27)

En esta Tabla se agrupa la información de porcentajes de remoción por muestras, y los rangos entre los que varían.



## 9. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 9.1. Una visión general de los resultados

Del estudio de la información suministrada en el capítulo anterior, como resultado del proceso de investigación, se puede establecer la siguiente discusión de resultados:

#### 9.1.1. Observaciones relevantes

De la información procesada en la Tabla IX tomado del INFORME del LNS se observa:

1. En la Corrida N° 1 la concentración inicial (As 1i-1= 0,944) se esperaba igual a 1.00 mg/l. La preparación de la mezcla para la Corrida 1 se hizo de acuerdo con los cálculos analíticos presentados en el Capítulo 8, la diferencia al 1.00 mg/l inicial muestra un error de un 5,6% de variación que se pudo originar por un exceso de volumen de agua.
2. En las Corridas N° 2, 3, 4 y 5 la concentración inicial (Ni-1: 0,013; 0,459; 1,074; 0,779) también se esperaba igual a 1,00 mg/l. La solución madre para las Corridas 2, 3, 4 y 5, se preparó de una vez, cuando se pesó una cantidad de  $(1,734 \cdot 50 \cdot 4 \text{ mg})$  0,3468 g de Arsenito de Sodio que se disolvió en el balón de aforo de 1000 ml de agua de la tubería. Lo que dio por resultado una concentración de 200,00 mg/l.

Para cada corrida se extraían 250 ml de la solución madre concentrada la cual se diluía en 750 ml de agua (de la tubería) logrando un litro de solución con 50,00 mg/l de As la que se echaba en los 49 litros de agua contenidos en el tanque de almacenamiento.

El hecho que las concentraciones iniciales de las Corridas 2, 3, 4 y 5 sean tan disparejas (0,013; 0,459; 1,074; 0,779), (la de 0,013 no se puede explicar) puede deberse a un manipuleo que hayan sufrido las **muestras** de parte del autor de esta investigación, cuando se sacó el pH y la Turbiedad y los primeros intentos de determinar la concentración del As; aún así las diferencias son fuertes.

Se puede pensar en errores de un 6-10% por variaciones en volúmenes de agua, pero no se tiene una buena justificación a diferencias mayores.

3. Las lecturas de las muestras N-1 para las 5 primeras corridas son bajas lo cual se esperaba, en especial la As 1-1 que el LNS reportó con ND (no detectado), se le puso el valor de 0.001mg/l que es el límite inferior menor al cual el Método utilizado (por el LNS) ya no lo detecta.

Como se dijo anteriormente el medio filtrante fue triturado para lograr una granulometría que la clasificara de “**suelo bien graduado**” (15) al no estar bien compactado y aplicarlo al Filtro N° 1, se obtuvo un suelo bastante permeable, con una buena transmisibilidad por lo que al pasar el agua tenía una gran área de contacto. Al no disponer de una carga hidráulica encima posiblemente tardó más tiempo en atravesar el medio filtrante (no se tomó el tiempo que se tardó en llenar las dos primeras capas de grava y arena).

Cuando se completaba una corrida, el Filtro permanecía cerca de 18 horas en reposo, sin agua, el medio filtrante se secaba y al reiniciar el proceso en la otra corrida, es posible que (el tiempo en reposo) propiciara una mayor actividad química en el intercambio iónico, que conforme iba pasando el agua a diferentes velocidades de

desplazamiento el intercambio iónico fuera disminuyendo como se ven en los resultados del Laboratorio.

4. Las lecturas de las muestras N - 2 y N - 3 son variables y son las concentraciones detectadas por el método seguido por el LNS.
5. La escala de TIEMPO muestra los minutos entre los cuales se tomaron las muestras.
6. En esta Tabla IX se muestra el tiempo que tardó por corrida, en llenar el Filtro N° 1.
7. La muestra inicial (Ni - 1), que no pasó por el medio filtrante, se tomó después que se completó el tiempo de media hora necesario para lograr una buena mezcla del Hipoclorito de Calcio con el agua con As.
8. La Corrida N° 6 se realizó sin aplicar absolutamente nada de As. Esta corrida despejó una duda que había: ¿Habrá quedado algún remanente de As de las corridas anteriores entre los áridos del filtro? Esta pregunta fue determinante y aun fue más la respuesta recibida: NADA.

Se pensaba que después de haber pasado por el medio filtrante aguas con una alta concentración de As, los áridos podrían haber retenido algo de ese As y por lo tanto, el pasar un volumen de agua “limpia”, ésta “lavaría” parte del As “presente” en el Filtro N° 1.

Los resultados preliminares confirman que el medio filtrante **sí retiene** el As y cede Fe por medio del intercambio iónico presente, según los resultados de las muestras de hierro total analizadas en el Laboratorio de la ERIS, o sea que el As no “queda” adherido en el filtro de arena ni

en la grava ni siquiera en las paredes del filtro, sino solo en el medio filtrante de óxido de hierro, ganando éste As como una sal ( $\text{Fe}_2\text{AsO}_4^-$ ).

9. En cuanto a la Corrida N° 7 que se aplicó una concentración de 0.30 mg/l de As, los resultados no reflejan lo esperado y no tienen explicación.

### 9.1.2. El pH.

1. El pH antes del experimento:

Se tomó el pH del agua de la tubería que abastece a toda la USAC la cual serviría durante todo el experimento, 5 días antes de las corridas y se encontró valores del orden: 7,1; 7,1; 7,0; 7,0; 7,0. Esto mostró que esta agua que abastece la USAC es neutra e ideal, y es un indicativo que no posee en su seno elementos químicos que la desbalancee ya sea haciéndola ácida tales como Sulfatos fuertes o Nitratos o Carbonatos o Bicarbonatos excesivos que la hagan agua pesada o alcalina.

Para efecto del experimento en las cuales se requiere un pH entre 6,5 - 8 para mantener la familia de Arsenatos deseados, el pH encontrado está ideal.

2. El pH de las muestras tomadas.

De acuerdo la **Tabla XII. pH de las muestras** se establece que solamente la Corrida N° 1 que se tomó después de haber aplicado el preservante Acido Nítrico al 65% que le dio un cuerpo ácido, el pH en esta (corrida) permite esperar obtener las familia de los Arsenatos sin radicales ( $\text{H}_3\text{AsO}_4$  con pH entre 0 -2) y también Arsenatos con un radical ( $\text{H}_2\text{AsO}_4^-$  para pH entre 3 – 6).

**Tabla XII. pH de las muestras**

Corrida N°	1	2	3	4	5	6	7
As Ni-1	2,4	6,9	7,1	6,9	7,1	7,0	6,4
As Ni-2	2,4	7,3	7,1	7,0	7,1	7,0	6,3
As N-1	2,5	7,5	7,3	7,4	7,4	6,9	6,8
Fe N-1			7,5	7,4	7,4	6,9	6,9
As N-2	2,0	7,5	7,4	7,4	7,4	6,6	6,6
Fe N-2			7,5	7,4	7,4	6,6	6,6
As N-3	1,7	8,0	7,4	7,5	7,3	6,5	6,6
Fe N-3			7,7	7,4	7,5	6,6	6,6
As N-4			7,4	7,7	7,3	6,5	6,7
Fe N-4			7,7	7,6	7,5	6,9	6,7
Fe N-5			7,7	7,6	7,3	6,9	6,6
Fe N-6			7,7	7,6	7,5	7,0	6,8
Fe N-7			7,8	7,6	7,5	7,0	6,7
Fe N-8			7,9	7,6	7,4	7,0	6,7

**FUENTE: Resultados obtenidos en el laboratorio de la ERIS –USAC**

El rango del pH tabulado en la Tabla XII (excepto la corrida N°1) fluctúa entre 6,3 a 8,0 lo cual sitúa al Arsenato de la siguiente manera:

- Con el **pH** de 6,3 a 7,0 se sitúa en el umbral entre las familias radicales (inestables) del **H<sub>2</sub>AsO<sub>4</sub><sup>-</sup>** y **HAsO<sub>4</sub><sup>-2</sup>** pudiendo ser o de una familia o de la otra.
- Con el **pH** entre 7,0 y 8,0 es posible obtener las familias de Arsenatos con 2 radicales **HAsO<sub>4</sub><sup>-2</sup>** (más inestable que la familia con un radical)

Además se observa que el rango del pH de las corridas 2 al 7, no presenta el problema de la solubilidad del medio filtrante de Óxido de Hierro.

### 9.1.3. La Turbiedad (UNT).

**Tabla XIII. Turbiedad de las muestras**

Corrida N°	1	2	3	4	5	6	7
As Ni-2	0,72	1,4	1,2	1,2	0,6	1,5	0,2
As N-1	5,91	17,5	105	135	22,3	96,6	1,9
Fe N-1			69	117,3	32,5	156,6	2,0
As N-2	11,9	4,5	5,8	7,4	14,5	5,4	4,0
Fe N-2			27,5	32,2	8,0	49,6	2,7
As N-3	2,1	4,6	4,1	4,9	6,0	3,7	2,5
Fe N-3			4,5	4,8	4,3	2,9	2,2
As N-4			4,2	4,5	4,7	3,0	2,6
Fe N-4			4,4	4,0	4,8	3,2	2,6
Fe N-5			7,4	13,8	14,2	3,6	9,3
Fe N-6			4,8	5,3	6,2	4,3	2,4
Fe N-7			4,6	5,2	5,6	4,0	2,1
Fe N-8			4,5	5,2	5,4	4,1	2,1

**FUENTE: Resultados obtenidos en el laboratorio de la ERIS –USAC**

La turbiedad encontrada en las muestras están entre el rango de 0,2 y 156,6 UNT. Proviene de aguas subterráneas que no presentan problema de turbiedad, pero sin embargo y tal como se puede ver en el anterior Cuadro 9.2 TURBIEDAD DE LAS MUESTRAS los valores son variables pero se debe principalmente a partículas en suspensión de Fe, que son liberadas por causa de la velocidad de desplazamiento del agua a través del medio filtrante, cargas de entre 89,08 y 215,75 m<sup>3</sup> / m<sup>2</sup> / día.

Como se dijo anteriormente, el medio filtrante fue preparado (triturado) para conformar un “suelo bien graduado” (15), pero este material se mezcló manualmente procurando una mezcla uniforme, no se compactó, y así mezclado se aplicó en el filtro N° 1.

Este material suelto, pero rico en hierro (37,84 % en peso) aunque confinado fue previamente sometido a pruebas para conocer la velocidad de desplazamiento que tendría el agua y en una de estas pruebas previas se hizo un retrolavado, esto provocó que mucho material fino que pasaba por las mallas 50 al 200, “se lavó” dejando impregnada una parte de éste



en las capas superiores de arena y piedrín, lo que posiblemente contribuyó con la turbidez existente por el color rosa que tomaron las muestras, y que se aprecia en la Figura 10..

En la **Tabla XIII Turbiedad de las muestras** se observa.

1. La turbiedad en las muestras Ni - 1 y Ni - 2 (grupo 1), que corresponden a las del agua de pozo que abastece a la USAC **son claras**, aun con el As y con el Hipoclorito de Calcio, muestra valores entre 0,2 y 3,6 UNT, menores que 5.0 UNT que es el Límite Máximo Aceptable por la Norma COGUANOR NGO 29 001:99. Estas muestras no pasaron por el medio filtrante.
2. La turbiedad a partir de las muestras N - 1 hasta las N - 4 que forma el grupo 2 y se tomaron en la salida del Filtro N° 1, pues **son las más fuertes** de todas en especial las N - 1 y N - 2. Estas muestras presentan turbiedad desde 1,9 hasta un máximo de 156,6 con un fuerte color rojizo o sea con un contenido fuerte de hierro. Sin embargo, las muestras N - 3 y N - 4 tienen turbiedades menores de 5,0 UNT dentro del Limite Máximo Permisible.

Esto nos muestra que las primeras muestras arrastraron la mayor parte de las partículas sueltas (que pasan por las mallas 50 a la 200) y en las últimas muestras había menos partículas libres.

3. En el grupo 3 que lo forman las muestras N-5 al N-8 que se tomaron en la salida del Filtro N° 2 , la turbiedad de las muestras N – 5 son un poco mas fuertes (3,6 a 14,2 UNT) que las restantes muestras (N - 6 a la N - 8) cercanas a las 5,0 UNT. todas dentro del Limite Máximo Permisible (15,0 UNT)

Este razonamiento se apoya en el comportamiento de los valores de las concentraciones de Fe determinadas en el Laboratorio (Véase Figuras y Tablas en el APÉNDICE)

## 9.2. Discusión de los resultados del arsénico retenido

**Tabla XIV. Porcentajes de remoción de Arsénico por corridas (repetición)**

CORRIDAS (Nº)	N -1	N -2	N -3
1	99,89	43,54	31,67
2	-	-	-
3	97,17	25,93	3,27
4	92,46	49,53	43,95
5	95,51	49,68	-
Rangos	(99.89-92.46)	(49.68-25.93)	(43.95-3.27)

**FUENTE:** La Tabla X. Porcentajes de remoción de Arsénico

Usando la información suministrada por el LNS en forma ordenada se tiene lo siguiente:

- 1- Inmediatamente después que pasó todo el volumen de agua del tanque de almacenamiento al Filtro Nº 1, se abrió la válvula de pase al Filtro Nº 2 y la llave de chorro en donde se tomó la muestra N - 1

Los porcentajes de As residual de las muestras N - 1 muestran un muy alto porcentaje de remoción que va desde un **92,46** hasta un **99,89** % independientemente que no todas las muestras hayan tenido un concentración (esperada) de 1,00 mg/l (excepto la As 4i - 1 que se detectó de 1,074 mg/l).

El hecho que 4 de 5 muestras presenten ese alto porcentaje es un indicio de que las aguas que pasan por el medio filtrante **al principio** (cuando se está llenando el Filtro Nº 1) sin presión debida a una

columna de agua y quedan allí durante un tiempo (hasta que se llena el Filtro N° 1) **esas aguas ya no tienen el 100% de la concentración del As de entrada (As Ni – 1) sino que han sido removidas del 92,46 al 99,89 %**. Esta información **es un hallazgo muy importante** e indica que cuando el agua con As pasa por el medio filtrante de óxido de hierro permeable, seco (oxigenado), y lentamente **dio por resultado una alta REMOCIÓN**.

La **tasa de filtración** no se pudo calcular por falta de datos pero se sabe son menores que la de los N - 2 y N - 3.

2. **La remoción de As** en las muestras N – 2 están entre el **25,93** y el **49,68%** y **la tasa de filtración** se muestra a continuación.

**Tabla XV. Cálculo de la Tasa de filtración para las muestras N - 2**

Corridas N°	1	2	3	4	5
Elevación entre Toma muestras N-1 y N-2 (m)	0,293	0,128	0,228	0,263	0,244
Tiempo entre Toma muestras N-1 y N-2 (s)	600	300	600	600	600
Tasa de filtración m3/m2-dia	42,19	36,86	32,83	37,87	35,14

Cuando las aguas pasan a través del medio filtrante en forma continua y a tasas de filtración de entre 32,83 y 42,19 m3/m2-dia **se obtuvo remociones del As de entre 25,93 y 49,68 %**.

3. **La remoción de As** en las muestras N - 3 están entre el **3,27** y el **43,95%** y **la tasa de filtración** se muestra a continuación

**Tabla XVI. Cálculo de la Tasa de filtración para las muestras N – 3**

Corridas N°	1	2	3	4	5
Elevación entre Toma muestras N-2 y N-3 (m)	0,253	0,247	0,223	0,224	0,257
Tiempo entre Toma muestras N-2 y N-3 (s)	600	600	600	600	600
Tasa de filtración m3/m2-día	36,73	35,57	32,11	32,26	37,01

En este grupo de muestras N – 3, cuando las aguas pasan en forma continua y con tasas de filtración de entre 32,11 y 37,01 m3/m2-día **se obtuvo remociones del As de entre 3,27 y 43,95 %.**

4. Comparación entre los resultados de remoción del As con lo señalado por las Normas Centroamericanas.

Los resultados de este primer intento para remover el arsénico contenido en aguas de origen subterráneas comparándolos con las Normas Centroamericanas, se expresan en el siguiente Tabla

**Tabla XVII. Comparación entre las concentraciones de As obtenidas y los Límites Máximos Permisibles (LMP) de las Normas Centroamericanas (NCA)**

Muestras / Corridas	N°	1	2	3	4	5
Inicial (No pasó por el Filtro N°1)	mg/l	0,944	-	0,459	1,074	0,779
N – 1 (Salida del Filtro)	mg/l	0,001	-	0,013	0,081	0,035
N – 2 (Salida del Filtro)	mg/l	0,533	-	0,34	0,542	0,392
N – 3 (Salida del Filtro)	mg/l	0,645	-	0,444	0,602	ND
Limite Máximo Permitido por las Normas (NCA)	mg/l	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Los comentarios de los resultados observados si se considera que cada corrida representa una muestra independiente de las otras:

1. Si la muestra tiene una concentración de entrada de 0,944 mg/l
  - La primera remoción (N – 1) produjo una concentración residual excelente y cumple con todas las NCA.
  - La segunda remoción (N – 2) produce una concentración residual que no cumple con ninguna NCA.
  - La tercera remoción (N – 3) su concentración residual no cumple con ninguna NCA.
  
2. Si la muestra tiene una concentración de entrada de 0,459 mg/l
  - primera remoción (N – 1) produjo una concentración residual excelente y cumple con todas las NCA.
  - La segunda remoción (N – 2) produce una concentración residual que no cumple con ninguna NCA.
  - La tercera remoción (N – 3) su concentración residual no cumple con ninguna NCA.
  
3. Si la muestra tiene una concentración de entrada de 1,074 mg/l:
  - La primera remoción (N – 1) produjo una concentración residual que no cumple con ninguna NCA
  - La segunda remoción (N – 2) su concentración residual no cumple con ninguna NCA.
  - La tercera remoción (N – 3) su concentración residual no cumple con ninguna NCA.
  
4. Si la muestra tiene una concentración de entrada de 0,779 mg/l:
  - La primera remoción (N – 1) su concentración residual no cumple con ninguna NCA
  - La segunda remoción (N – 2) su concentración residual no cumple con ninguna NCA.

- La tercera remoción (N – 3) su concentración residual no cumple con ninguna NCA.

### 9.3. Discusión de los resultados del hierro retenido

En relación al hierro se CONFIRMA SU PRESENCIA AÚN CUANDO NO SE APLICÓ NINGUNA ADICIÓN DEL MISMO a las aguas que pasaron a través del Filtro N° 1. Su determinación se realizó en el Laboratorio de la ERIS – USAC, y los resultados se presentan en el siguiente Cuadro.

**Tabla XVIII. Concentración del Hierro Total (mg/l)**

CORRIDA N°	1	2	3	4	5	6	7
Grupo 2 N – 1	0,06	0,04	0,39	0,68	0,14	0,84	0,04
N – 2	0,31	0,04	0,15	0,17	0,06	0,14	0,08
N – 3	0,01	-	0,06	0,07	0,05	0,04	0,02
Grupo 3 N – 4	0,15	0,03	0,05	0,08	0,04	0,05	0,02
N – 5	0,05	0,04	0,06	0,08	0,08	0,07	0,08
N – 6	0,02	0,00	0,18	0,06	0,05	0,02	0,00
N – 7	0,02	0,04	0,04	0,06	0,05	0,04	0,02
N – 8			0,03	0,04	0,04	0,03	0,02

**FUENTE:** Datos obtenidos en el Laboratorio de la ERIS – USAC.

Como se ve en la **Tabla XVIII Concentración del Hierro Total**, el Fe aparece con mayor intensidad en las muestras N - 1 con concentraciones que varían entre 0,04 y 0,84 mg/l de hierro total, coincidiendo con los valores de mayor turbiedad en esas mismas muestras. Luego los valores de Fe disminuyen y varían entre 0,00 a 0,18 predominando los valores alrededor de 0,04 mg/l.

Otra observación es que la presencia del Fe es más notable en las muestras del grupo 2 (N - 1, N - 2, N - 3) las cuales fueron tomadas en el Filtro N° 1, que “produce”

el hierro. En el grupo 3 la presencia del Fe es notablemente menor y varía alrededor de un valor medio de 0,06 mg/l con la única excepción de una muestra (Fe 3-6) con 0,18 mg/l.

Todos los valores de Fe total del Grupo 2 están dentro de los Límites Máximos Permisible (LMP) de la Norma COGUANOR NGO 29 001:99 (1,00 mg/l) y todos los valores de Fe total del Grupo 3 (excepto el Fe 3 -6), están dentro de los Límites Máximos Aceptables (LMA) de la Norma COGUANOR NGO 29 001:99 (0,10 mg/l). Esto es una demostración de que efectivamente el medio filtrante de **antracita con diatomeas**, funcionaron bien.





## CONCLUSIONES

1. La remoción de arsénico en agua para consumo humano es posible aplicando un medio filtrante de óxido de hierro, confinado con capas de arena y de piedrín de ½", lo que **confirma la Hipótesis planteada al inicio del estudio de investigación.**
2. El porcentaje de remoción del As lograda en las muestras N -1 oscilan entre 92,46 y 99,89 y **es óptimo.**
3. **La granulometría del medio filtrante utilizada en este estudio** estaba comprendida en el rango de entre Grava fina ( que pasa por la malla de 3/8") y los finos (limos, que pasan por la malla 200) que se puede ver en la CURVA GRANULOMÉTRICA ESCOGIDA. (Vea APÉNDICE).
4. El propósito de un material filtrante con una buena granulometría es la de **ampliar el área de contacto entre el agua con As y el medio filtrante, favoreciendo el intercambio iónico**, capturando As y cediendo Fe.
5. Los resultados **señalan que es posible remover el arsénico por el medio filtrante de óxido de hierro.**
6. **Las primeras muestras (N-1) (para arsénico) disminuyeron fuertemente de 1,074 a 0,081 mg/l y de 0,459 a 0,001 mg/l, removiendo el 92,46% y el 99,78% respectivamente.**
7. **De las muestras N-1 (para arsénico) solamente dos (Corridas 1 y 3) satisfacen los Límites Máximos Permisibles (LMP) de las Normas Centroamericanas (NCA).** El resto de resultados están por encima de LMP de las NCA.

8. **Cuando no se aplicó arsénico al agua y se le hizo correr por el Filtro Nº 1, el LNS reportó que a las muestras analizadas no se les detectó As.** Esto puede significar que ni las gravas ni las arenas ni el tubo de plexiglás habían retenido As en su estructura por lo que no cedieron lo que no tenían.
9. **Se comprobó que una tasa de filtración menor de 32 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-día ayuda a un mayor tiempo de contacto entre el agua con As y el medio filtrante facilitando un mayor tiempo de intercambio iónico.**
10. La concentración de Hierro Total de las muestras N-1 al N-3 (0,68 y 0,39 mg/l respectivamente) son las mayores de todas encontradas en este experimento, pero están dentro de los límites que las Normas Centroamericanas (NCA) de agua potable fijan en 1,00 mg/l.
11. Las muestras para Hierro Total del N - 4 al N - 8 tomadas a la salida del Filtro Nº 2, excepto la muestra N - 4 de la Corrida 1 y la muestra N - 6 de la Corrida 3, presentaron valores menores de 0,10 mg/l, encontrándose dentro de los LMA de las Normas Centroamericanas aplicadas.

## RECOMENDACIONES

### Respecto del proceso de preparación de los medios filtrantes

- Se sugiere usar arena de mina y no arena de río, para evitar una posible contaminación química, pues éstas provienen de ríos muchas veces contaminados con aguas residuales de origen doméstico o de origen industrial, que puede hacer variar el pH.
- La piedra triturada de **mina** es recomendable por su procedencia de una veta, (generalmente libre de impurezas orgánicas).
- Se deben usar **válvulas de compuerta, además de las válvulas de pase** en la base de los Filtros, que **permita regular y graduar la tasa de filtración** en la **columna de filtración rápida**, conforme el diseño programado, y la segunda abrir o cerrar el paso.
- Es necesario **preparar con anticipación el medio filtrante, triturándolo para darle una estructura más homogénea con una granulometría que la califique como “un suelo bien graduado”**, así se asegurará una buena transmisibilidad, lo cual ayuda a que el agua con As tenga un mayor área de contacto con el óxido de hierro.
- Se debe **escoger entre varios, el medio filtrante que sea más rico en hierro** (porcentaje en peso), esto permitirá mayor efectividad en la remoción del arsénico.

## Respecto a la parte operativa en el proceso de ejecución de las corridas.

- En la toma de muestras se sugiere trabajar de manera sincronizada y simultánea 1) **Tomando el tiempo** en minutos y segundos 2) **Leyendo la altura** de la columna de agua, y 3) **Tomando las diferentes muestras** para medir el Arsénico y el Hierro Total por lo que se **requiere la participación de un mínimo de 2 personas**.
- Se debe **regular la velocidad de salida del agua del tanque de almacenamiento**, para evitar socavar la capa de arena, aunque este protegida por la capa de piedrín o bien colocar una cama de piedrín de 0,15m.
- Esta sugerencia va ligada a la anterior, pues cuando se tenga **regulada la velocidad de salida del agua del tanque de almacenamiento, a la par se deberá controlar el tiempo que tarda en llenar el agua cada capa** de piedrín inferior, de la capa de arena inferior y del medio filtrante.

Este control permitirá conocer la transmisibilidad de cada capa sin carga hidráulica.

- Se debe ejercer **control del pH en todo momento**, para mantenerlo dentro del rango de 6,5 – 8,0 y así **asegurar la familia de Arsenato más estable** posible y por el **otro, evitar la solubilización** del medio filtrante de óxido de hierro.

## Otras recomendaciones

- Un paso importante en la remoción del Arsénico consiste en la **transformación del Arsenito (As+3), que es 10 veces más tóxico, en Arsenato (As+5), mediante la adición de Hipoclorito de Calcio.**

Este paso es vital en la remoción y es conveniente conocer qué familia de arsénico es el que está presente en la muestra que contiene arsénico, lo cual se resuelve en el laboratorio quien dirá qué porcentaje es de Arsenito y cuál, de Arsenato.

En este Estudio Especial se trabajó en el Laboratorio de la ERIS con **Arsenito de Sodio (NaAsO<sub>2</sub>)**, que en teoría se transformó en Arsenato inestable (HAsO<sub>4</sub>-2)

- Es aconsejable que los países centroamericanos tengan interés de **conocer sus recursos hídricos, principalmente los de aguas subterráneas, que conozcan todas sus fuentes de abastecimiento de agua potable** viendo hacia el futuro, a fin de tener conocimiento sobre las condiciones del agua y **cuáles de ellas tienen arsénico presente y con qué concentración se encuentran, para dar la solución sobre el tratamiento que necesita.**



## BIBLIOGRAFÍA

1. Análisis Arsénico en Aguas de Consumo y su Remoción Tomado de Internet en el Buscador Alta Vista, 29 Págs.
2. El análisis de fuentes de agua en Nicaragua ¿Cómo esta el agua que consumimos? Obtenido de un documento de la UNICEF, encontrado en INTERNET.
3. COGUANOR NGO 29001; 99, Norma Guatemalteca Obligatoria – agua potable, Especificaciones. Guatemala: COGUANOR NGO, 2000.
4. EVALUACIÓN DE LOS SERVICIOS DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO 2000 en las Américas. Disponible en <http://www.cepis.ops-oms.org/>. Consultado el 28 de Febrero de 2005.
5. Hurlbut, C., Klein, C., MANUAL DE MINERALOGÍA DE DANA, 3ª Edición, Editorial Reverté, 1991.
6. REMOCIÓN DE ARSÉNICO, ARCHIVO DE TECNOLOGÍAS, 2000. Disponible en <http://www.cepis.ops-oms.org/>. Consultado el 22 de Febrero de 2005.
7. Castro, ML. & Wong, M., 1999, REMOCIÓN DE ARSÉNICO A NIVEL DOMICILIARIO, Buscador CEPIS, Abril 1999.
8. Suministrado por el Ing. Francisco Baltodano, ingeniero responsable por el PRASNIC, para la investigación del caso del arsenicismo de la comunidad rural de San Isidro y las Mangas, Municipio de San Isidro, Departamento de Matagalpa, Nicaragua

9. Normas de Diseño de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, Normas de Nicaragua.
10. LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS: UN VALIOSO RECURSO QUE REQUIERE PROTECCIÓN, 1987. Disponible en <http://www.cepis.ops-oms.org/>. Consultado el 04 de Marzo de 2005.  
Tomado de Internet, Buscador CEPIS 1987.
11. Chang, R., 1990, Libro de Química, Secc. ¿Quién mató a Napoleón?, Pág.152, 6ª Edición, Mc Graw- Hill.
12. Análisis de Arsénico en Aguas y Remoción Tomado de Internet, Buscador CEPIS, 9 Págs.
13. Evaluación Rápida de la Calidad del Agua de Bebida, Nicaragua 2005, Informe Final, Versión no editada, 14 Junio 2005
14. Bertch, F., 1998, Manejo de la Fertilidad del Suelo.
15. Quinteros, VMAS., 1978, Manual de Laboratorio de Mecánica de Suelos, página 95, (Tesis para optar al título de Ingeniero Civil, USAC).



## APÉNDICE



## A. Hojas de Control de las siete corridas

Corrida N° 1 (Lunes 20 de Marzo de 2006)

Concentración inicial 1,00 mg/l de arsénico

Hora	Lugar, altura m	Diferencia de altura m	pH (U)	Turbiedad (UNT)	Muestra y Concentración de <b>As</b> (mg/l)	Muestra y Concentración de <b>Fe</b> (mg/l)
15:10	Tanque mezcla		2,4	2,34	As1i-1* Agua De Pozo ND	
15:40	Tanque mezcla		2,4	0,72	As1i-2** 0.944	
15:55	Filtro1*** 1,178					
16:00	1,035	0,143				
16:05	0,885	0,15	2,5	5,91	As 1-1***, 0.001	Fe 1-1, 0,06
16:10	0,75	0,135				
16:15	0,632	0,118	2,0	11,9	As 1-2, 0.533	Fe 1-2, 0,31
16:20	0,531	0,101				
16:22	0,50	0,00				
16:25			1,7	2,1	As 1-3, 0.645	Fe 1-3, 0,01
16:35						Fe 1-4, 0,15
16:45						Fe 1-5, 0,05
16:55						Fe 1-6, 0,02
17:05						Fe17, 0,02

\* Tomada al agua de pozo presente en la tubería colocada en el tanque de mezcla, sin adicionarle arsénico al agua.

\*\* Tomada habiendo mezclado al agua el arsenito de sodio

\*\*\* Cuando el agua con arsénico había llenado el filtro N° 1, la muestra se tomó en la válvula entre los dos filtros

Corrida N° 2 (Miércoles 22 de Marzo de 2006)  
 Concentración inicial 1,00 mg/l de arsénico

Hora	Lugar, altura m	Diferencia de altura m	pH (U)	Turbiedad (UNT)	Muestra y Concentración de <b>As</b> (mg/l)	Muestra y Concentración de <b>Fe</b> (mg/l)
12:40	Tanque mezcla		6,9	0,2	As 2i	
13:10	Tanque mezcla		7,3	1,4	As 2i-1**, 0.013	
13:15	Filtro1*** 1,15					
13:20	1,05	0,10	7,5	17,5	As 2-1, 0.27	Fe 2-1, 0.04
13:30	0,803	0,247	7,5	4,5	As 2-2, 0.367	Fe 2-2, 0.04
13:40	0,60	0,203				
13:45:50	0,50	0,10				
13:50			8,0	4,6	As 2-3, 0.392	Fe 23+
13:52	Se abre Filtro 2					Fe 24
14:00	0,798					Fe 25
14:10	0,568	0,23				Fe 26;
14:20	0,41	0,158				Fe 27;

+ No se tomó la muestra Fe 23 porque la presión hidrostática a la altura de la válvula, se había hecho menor

\*\* Tomada habiendo mezclado el arsenito de sodio

Corrida N° 3 (Jueves 23 de Marzo de 2006)  
 Concentración inicial 1,00 mg/l de arsénico

Hora	Lugar, altura m	Diferencia de altura m	pH (U) As/Fe	Turbiedad (UNT) As /Fe	Muestra y Concentración de <b>As</b> (mg/l)	Muestra y Concentración de <b>Fe</b> (mg/l)
12:26	Tanque mezcla		7,1	1,2	As 3i-	
14:56	Tanque mezcla		7,1	1,2	As 3i-1**, 0,459	
15:05	Filtro1 1,17		7,3 7,5	105 69	As 3-1, 0,013	Fe 3-1; 0,39
15:15	0,95	0,22	7,3 7,5	5,8 27,5	As 3-2, 0,34	Fe 3-2; 0,15
15:25	0,727	0,223	7,3 7,7	4,1 4,5	As 3-3, 0,444	Fe 3-3; 0,06
15:35	0,525	0,525	7,4 7,7	4,2 4,4	As 3-4	Fe 3-4; 0,05
15:37	0,50					
15:50		Se llena el Filtro 2	7,7	7,4		Fe 3-5; 0,06
16:00			7,7	4,8		Fe 3-6; 0,18
16:10			7,8	4,6		Fe 3-7; 0,04
16:20			7,9	4,5		Fe 3-8; 0,03

\* Tomada al agua con arsenito y sin hipoclorito de calcio

\*\* Tomada habiendo mezclado el hipoclorito al agua con arsenito

Corrida N° 4 (Viernes 24 de Marzo de 2006)  
 Concentración inicial 1,00 mg/l de arsénico

Hora	Lugar, altura m	Diferencia de altura m	pH (U) As/Fe	Turbiedad (UNT) As / Fe	Muestra y Concentración de As (mg/l)	Muestra y Concentración de Fe (mg/l)
16:12	Tanque mezcla		6,9	0,4	As 4i*	
16:45	Tanque mezcla		7,0	1,2	As 4i-1**, 1,074	
16:50	Filtro1 1,17		7,4 7,4	135 117,3	As 4-1, 0.081	Fe 4-1; 0,68
17:00	0,915	0,255	7,4 7,4	7,4 32,2	As 4-2, 0.542	Fe 4-2; 0,17
17:10	0,691	0,224	7,4 7,4	4,9 4,8	As 4-3, 0.602	Fe 4-3; 0,07
17:20	0,512	0,179	7,7 7,5	4,5 4,0	As 4-4	Fe 4-4; 0,08
17:20:50	0,50	0,012				
	1,15	Se llena el Filtro 2				
17:25	1,063	0,087	7,6	13,8		Fe 4-5; 0,08
17:35	0,843	0,22	7,6	5,3		Fe 4-6; 0,06
17:45	0,673	0,17	7,6	5,2		Fe 4-7; 0,06
17:55	0,547	0,126	7,6	5,2		Fe 3-8; 0,04

\* Tomada al agua con arsenito y sin hipoclorito de calcio

\*\* Tomada habiendo mezclado el hipoclorito al agua con arsenito

Corrida N° 5 (Lunes 27 de Marzo de 2006)  
 Concentración inicial 1,00 mg/l de arsénico

Hora	Lugar, altura m	Diferencia de altura m	pH (U) As/ Fe	Turbiedad (UNT) As / Fe	Muestra y Concentración de <b>As</b> (mg/l)	Muestra y Concentración de <b>Fe</b> (mg/l)
12:38	Tanque mezcla		7,1	0,3	As 5i*	
13:08	Tanque mezcla		7,1	0,6	As 5i-1**, 0.779	
13:20	Filtro1 1,178		7,4 7,4	22,3 32,5	As 5-1, 0.035	Fe 5-1; 0,14
13:30	0,934	0,244	7,4 7,4	14,5 8,0	As 5-2, 0.392	Fe 5-2; 0,06
13:40	0,677	0,257	7,3 7,5	6,0 4,6	As 5-3, ND	Fe 5-3; 0,05
13:46:45	0,50	0,177				
13:50	0,42	0,080	7,3 7,5	4,7 4,8	As 5-4	Fe 5-4; 0,04
Llena del Filtro 2	1,15					
14:30	1,074	0,076	7,3	14,2		Fe 5-5; 0,08
14:40	0,72	0,354	7,5	6,2		Fe 5-6; 0,05
14:50	0,475	0,245	7,5	5,6		Fe 5-7; 0,05
14:54	0,40	0,075				
15:00			7,4	5,4		Fe 5-8; 0,04

\* Tomada al agua con arsenito y sin hipoclorito de calcio

\*\* Tomada habiendo mezclado el hipoclorito al agua con arsenito

Corrida N° 6 (Miércoles 29 de Marzo de 2006)  
 Concentración inicial 0,00 mg/l de arsénico

Hora	Lugar, altura m	Diferencia de altura m	pH (U) As/ Fe	Turbiedad (UNT) As / Fe	Muestra y Concentración de As (mg/l)	Muestra y Concentración de Fe (mg/l)
	Tanque mezcla	Nota 1	6,9	1,5	As 6i*	
	Tanque mezcla	Nota 2	6,8	96,6	As 6i-1**, ND	
12:30	Filtro1 1,178		6,9 6,8	96,6 156,6	As 6-1, ND	Fe 6-1; 0,84
12:40	0,865	0,313	6,5 6,5	5,4 49,6	As 6-2, ND	Fe 6-2; 0,14
12:50	0,627	0,238	6,5 6,5	3,7 3,2	As 6-3, ND	Fe 6-3; 0,04
12:56:30	0,50	0,127				
13:00			6,4 6,6	3,0 3,2	As 6-4	Fe 6-4; 0,05
Llena del Filtro 2						
14:50	1,073		6,9	3,6		Fe 6-5; 0,07
15:00	0,736	0,337	7,0	4,3		Fe 6-6; 0,02
15:10	0,537	0,199	7,0	4,0		Fe 6-7; 0,04
15:19:38	0,40	0,137				
15:20			7,0	4,1		Fe 6-8; 0,03

Nota 1 Tomada al agua sin agregar arsenito

Nota 2 Tomada al agua sin agregar arsenito y sin hipoclorito de calcio



Corrida N° 7 (Viernes 31 de Marzo de 2006)  
 Concentración inicial 0,30 mg/l de arsénico

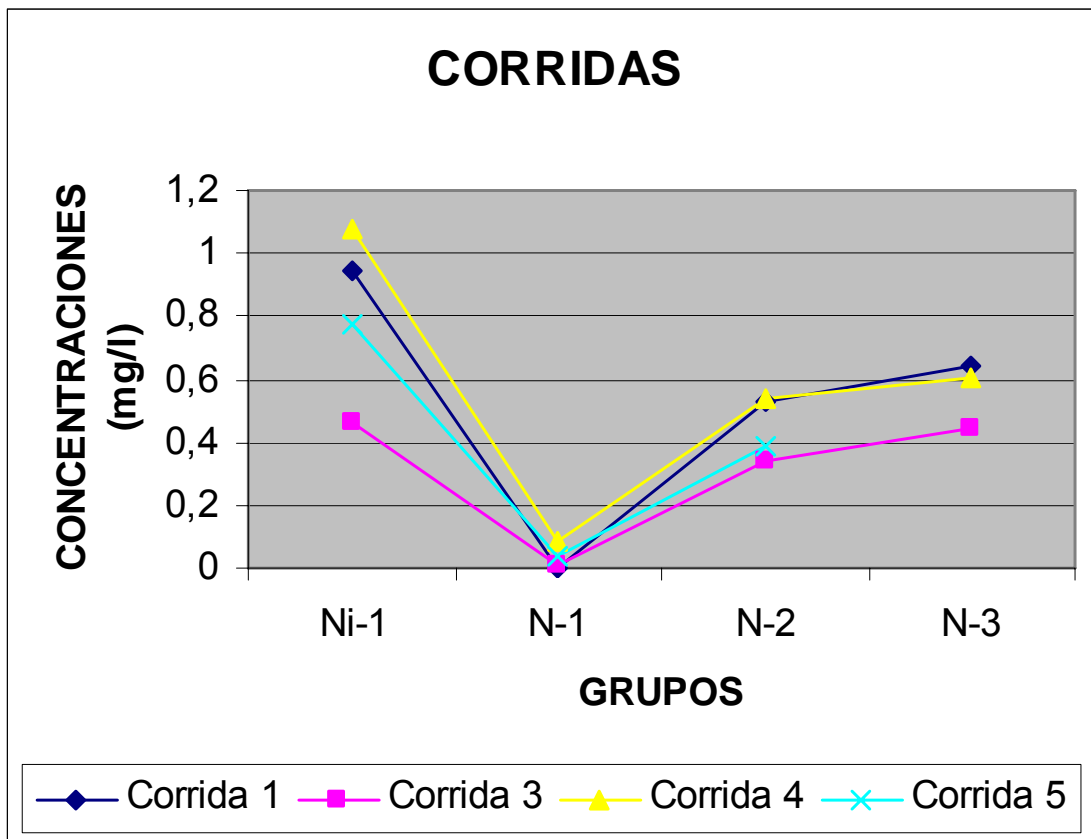
Hora	Lugar, altura m	Diferencia de altura m	pH (U) As/Fe	Turbiedad (UNT) As / Fe	Muestra y Concentración de As (mg/l)	Muestra y Concentración de Fe (mg/l)
11:37	Tanque mezcla		6,4	3,6	As 7i*	
12:15	Tanque mezcla		6,3	0,2	As 7i-1**, ND	
12:30	Filtro1 1,178		6,8 6,9	1,9 2,0	As 7-1, ND	Fe 7-1; 0,04
12:40	0,86	0,318	6,6 6,6	4,0 2,7	As 7-2, 0.02	Fe 7-2; 0,08
12:50	0,62	0,24	6,6 6,6	2,5 2,2	As 7-3, 0.035	Fe 7-3; 0,02
12:55:16	0,50	0,12				
13:00	No se puede medir		6,7 6,7	2,6 2,6	As 7-4	Fe 7-4; 0,02
Llena del Filtro 2						
13:55	1,104		6,6	9,3		Fe 7-5; 0,08
14:05	0,803	0,301	6,8	2,4		Fe 7-6; 0,00
14:15	0,607	0,196	6,7	2,1		Fe 7-7; 0,02
14:25	0,477	0,13	6,7	2,1		Fe 7-8; 0,02

\* Tomada al agua con arsenito y sin hipoclorito de calcio

\*\* Tomada habiendo mezclado el hipoclorito al agua con arsenito




**B. Gráficos de las cinco primeras corridas**






## C. INFORME DE ANÁLISIS, MUESTRAS DE CONTROL DEL LNS



REPÚBLICA DE GUATEMALA  
CENTRO AMÉRICA

**LABORATORIO NACIONAL DE SALUD "LNS"**  
DIRECCION DE REGULACION, VIGILANCIA Y CONTROL DE LA SALUD



Ministerio de Salud Pública

---


**INFORME DE ANÁLISIS**  
**MUESTRAS CONTROL**


UGCF097 Rev.0  
Página 1 de 2

No. del LNS:	AC06-1755-1767	Procedencia:	ESTUDIO DE EFECTIVIDAD
Nombre del Producto:	AGUA		DE FILTRO PARA REMOCION
Tipo de muestra:	ALIMENTO		DE ARSENICO
Condición de la muestra:	APROPIADA	Tipo de recipiente:	PLASTICO
Remitente:	ING. EDUARDO SMITH	Fecha de Ingreso:	23/06/2006
Código del Remitente:	UNIDAD DE VIGILANCIA MONITOREO Y CONTROL	Fecha de Egreso:	25/07/2006

**RESULTADO DE ANALISIS**

GRUPO	CODIGO LNS	CODIGO CENTRO DE SALUD	CONCENTRACION DE ARSENICO TOTAL (mg/L)
GRUPO 1	AC06-1755	1i-2	0.944
	AC06-1756	1i-1	NO DETECTADO
	AC06-1757	1-2	0.533
	AC06-1758	1-3	0.645
	AC06-1759	1-1	NO DETECTADO
GRUPO 2	AC06-1760	2i-2	0.013
	AC06-1761	2-1	0.270
	AC06-1762	2-2	0.367
	AC06-1763	2-3	0.392
GRUPO 3	AC06-1764	3i-1	0.459
	AC06-1765	3-1	0.013
	AC06-1766	3-3	0.444
	AC06-1767	3-2	0.340





Licda. María del Carmen Castillo  
Supervisora de Contaminantes Ambiente y Salud

Método utilizado:  
3500-As B. Silver Diethylthiocarbamate Method, Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater 20<sup>th</sup>.  
Edition APHA, AWWA, WEF.

Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s).

**OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES:**

Analista/Supervisor JP/MCC	Código Laboratorio CT12-CAS/116
-------------------------------	------------------------------------

LAR

**ÚLTIMA LÍNEA**

Prohibida la reproducción parcial de éste documento sin previa autorización del Laboratorio Nacional de Salud.

---

SIRVIENDO CON CALIDEZ, CALIDAD Y COBERTURA

Km. 22 Carretera al Pacífico, Bárcenas, Villa Nueva, Guatemala, C.A.  
Tels.: 6630-6017, 6630-6024, 6630-6035, 6630-6036, 6630-5837 FAX: 6630-6011  
E-mail: laboratorio\_nacional\_desalud@yahoo.com



REPÚBLICA DE GUATEMALA  
CENTRO AMÉRICA



**LABORATORIO NACIONAL DE SALUD "LNS"**

DIRECCION DE REGULACION, VIGILANCIA Y CONTROL DE LA SALUD

Ministerio de Salud Pública

**INFORME DE ANÁLISIS  
MUESTRAS CONTROL**

UGCF097 Rev.0  
Página 2 de 2

No. del LNS:	AC06-1768-1783	Procedencia:	ESTUDIO DE EFECTIVIDAD
Nombre del Producto:	AGUA		DE FILTRO PARA REMOCION
Tipo de muestra:	ALIMENTO		DE ARSENICO
Condición de la muestra:	APROPIADA	Tipo de recipiente:	PLASTICO
Remitente:	ING. EDUARDO SMITH	Fecha de Ingreso:	23/06/2006
Código del Remitente:	UNIDAD DE VIGILANCIA MONITOREO Y CONTROL	Fecha de Egreso:	25/07/2006

**RESULTADO DE ANALISIS**

GRUPO	CODIGO LNS	CODIGO CENTRO DE SALUD	CONCENTRACION DE ARSENICO TOTAL (mg/L)
GRUPO 4	AC06-1768	4-0-1	1.074
	AC06-1769	4-1	0.081
	AC06-1770	4-2	0.542
	AC06-1771	4-3	0.602
GRUPO 5	AC06-1772	5-1	0.035
	AC06-1773	5-0-1	0.779
	AC06-1774	5-2	0.392
	AC06-1775	5-3	NO DETECTADO
GRUPO 6	AC06-1776	6-0-0	NO DETECTADO
	AC06-1777	6-1	NO DETECTADO
	AC06-1778	6-2	NO DETECTADO
	AC06-1779	6-3	NO DETECTADO
GRUPO 7	AC06-1780	7-1-1	NO DETECTADO
	AC06-1781	7-1	NO DETECTADO
	AC06-1782	7-2	0.020
	AC06-1783	7-3	0.035



*[Signature]*  
Licda. María del Carmen Castillo  
Supervisora de Contaminantes Ambiente y Salud

Método utilizado:  
3500-As B. Silver Diethylthiocarbamate Method, Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater 20<sup>th</sup>.  
Edition APHA, AWWA, WEF.

Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s).

**OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES:**

Analista/Supervisor JP/MCC	Código Laboratorio CT12-CAS/116
-------------------------------	------------------------------------

I.A.R

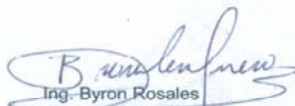

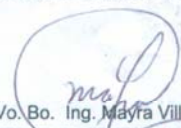

**ÚLTIMA LÍNEA**

Prohibida la reproducción parcial de éste documento sin previa autorización del Laboratorio Nacional de Salud.

SIRVIENDO CON CALIDEZ, CALIDAD Y COBERTURA

Km. 22 Carretera al Pacífico, Bárcenas, Villa Nueva, Guatemala, C.A.  
Tels.: 6630-6017, 6630-6024, 6630-6035, 6630-6036, 6630-5837 FAX: 6630-6011  
E-mail: laboratorio\_nacional\_desalud@yahoo.com

**D. RESULTADOS DE ANÁLISIS de la Hematita por tamaño de malla (MEM)**

<p><b>LABORATORIO TÉCNICO</b></p>	<p>MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS REPUBLICA DE GUATEMALA</p>	<p>PAGINA 1 DE (1) <b>MEM</b></p> <p>LAB-REP- 198-06</p> <p>ORDEN No. L-086-06</p> <p>Guatemala, 27-02-06</p>																																																			
<p><b>RESULTADOS DE ANÁLISIS</b></p>																																																					
<p>MUESTRA: Hematita                  PRESENTADA POR: Guillermo Scheel                  RESPONSABLE DEL MUESTREO: Guillermo Scheel                  PROCEDENCIA: Veguitas                  LOCALIZACION: Chiquimula                  FECHA DE MUESTREO: 22-02-06                  FECHA DE RECEPCION DE MUESTRA Y PAPELERIA: 23-02-06                  FECHA DE ANALISIS: 24-02-06                  PRECIO DE ANALISIS: \$ 7.00                  ANALISTA: Josué Higueros</p>																																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;">TAMAÑO DE PARTICULA, MESH</th> <th style="width: 33%;">PESO g.</th> <th style="width: 33%;">% RETENIDO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>3</td><td>2024</td><td>20.54</td></tr> <tr><td>4</td><td>1504</td><td>15.26</td></tr> <tr><td>6</td><td>1779</td><td>18.05</td></tr> <tr><td>8</td><td>1033</td><td>10.5</td></tr> <tr><td>10</td><td>692</td><td>7.02</td></tr> <tr><td>14</td><td>586</td><td>5.95</td></tr> <tr><td>20</td><td>558</td><td>5.66</td></tr> <tr><td>28</td><td>290</td><td>2.94</td></tr> <tr><td>35</td><td>156</td><td>1.58</td></tr> <tr><td>48</td><td>329</td><td>3.34</td></tr> <tr><td>65</td><td>256</td><td>2.59</td></tr> <tr><td>80</td><td>134</td><td>1.36</td></tr> <tr><td>100</td><td>107</td><td>1.08</td></tr> <tr><td>150</td><td>74</td><td>0.75</td></tr> <tr><td>200</td><td>102</td><td>1.03</td></tr> <tr><td>Fondo</td><td>231</td><td>2.34</td></tr> </tbody> </table>			TAMAÑO DE PARTICULA, MESH	PESO g.	% RETENIDO	3	2024	20.54	4	1504	15.26	6	1779	18.05	8	1033	10.5	10	692	7.02	14	586	5.95	20	558	5.66	28	290	2.94	35	156	1.58	48	329	3.34	65	256	2.59	80	134	1.36	100	107	1.08	150	74	0.75	200	102	1.03	Fondo	231	2.34
TAMAÑO DE PARTICULA, MESH	PESO g.	% RETENIDO																																																			
3	2024	20.54																																																			
4	1504	15.26																																																			
6	1779	18.05																																																			
8	1033	10.5																																																			
10	692	7.02																																																			
14	586	5.95																																																			
20	558	5.66																																																			
28	290	2.94																																																			
35	156	1.58																																																			
48	329	3.34																																																			
65	256	2.59																																																			
80	134	1.36																																																			
100	107	1.08																																																			
150	74	0.75																																																			
200	102	1.03																																																			
Fondo	231	2.34																																																			
<p>Notas: Los resultados anteriores están calculados en base seca y expresados como porcentaje retenido en las mallas.</p>																																																					
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">                   Ing. Byron Rosales                  SECCIÓN DE MINERALES             </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">                   Vo. Bo. Ing. Mayra Villatoro                  COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS             </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>																																																					

El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico.  
 PRX (5/17) 9 277-2100 0181017 2761880 FAX 5021 2476-8000 Dirección: 17-24-78 2004-11 Fax: 502-2476-8000 Guatemala, C. A. www.mem.gob.gt





**E. RESULTADOS DE ANÁLISIS de la Hematita por % en peso de sus componentes (MEM)**

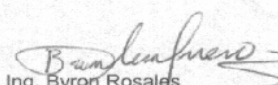
<b>LABORATORIO TÉCNICO</b>	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS REPUBLICA DE GUATEMALA	PAGINA 1 DE (1) <span style="float: right;"><b>MEM</b></span> LAB-REP- 218-06 ORDEN No. L-067-06 Guatemala, 03-03-06
--------------------------------	---	---


**RESULTADOS DE ANÁLISIS**

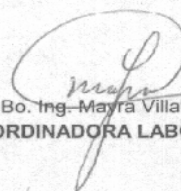
MUESTRA: Hematita  
 PRESENTADA POR: Derechos Mineros  
 RESPONSABLE DEL MUESTREO: Guillermo Scheel  
 PROCEDENCIA: Veguitas  
 LOCALIZACION: Chiquimula  
 FECHA DE MUESTREO: 10-02-06  
 FECHA DE RECEPCION DE MUESTRA Y PAPELERIA: 13-02-06  
 FECHA DE ANALISIS: del 19-02-06 al 02-03-06  
 PRECIO DE ANALISIS: \$ 35.00  
 ANALISTA: Luis Jeréz


DESCRIPCION	TECNICA	RESULTADO (S)
Hierro (% en peso Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Volumétrica+E.A.A.	37.84
Magnesio % en peso	E.A.A.	0.17
Manganeso % en peso	E.A.A.	0.02

Notas: E.A.A. Espectrometria de absorción atómica.  
 Resultados válidos únicamente para la cantidad de muestra presentada en este laboratorio

  
 Ing. Byron Rosales  
**SECCION DE MINERALES**



  
 Vo. Bo. Ing. Mayra Villatoro  
**COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS**



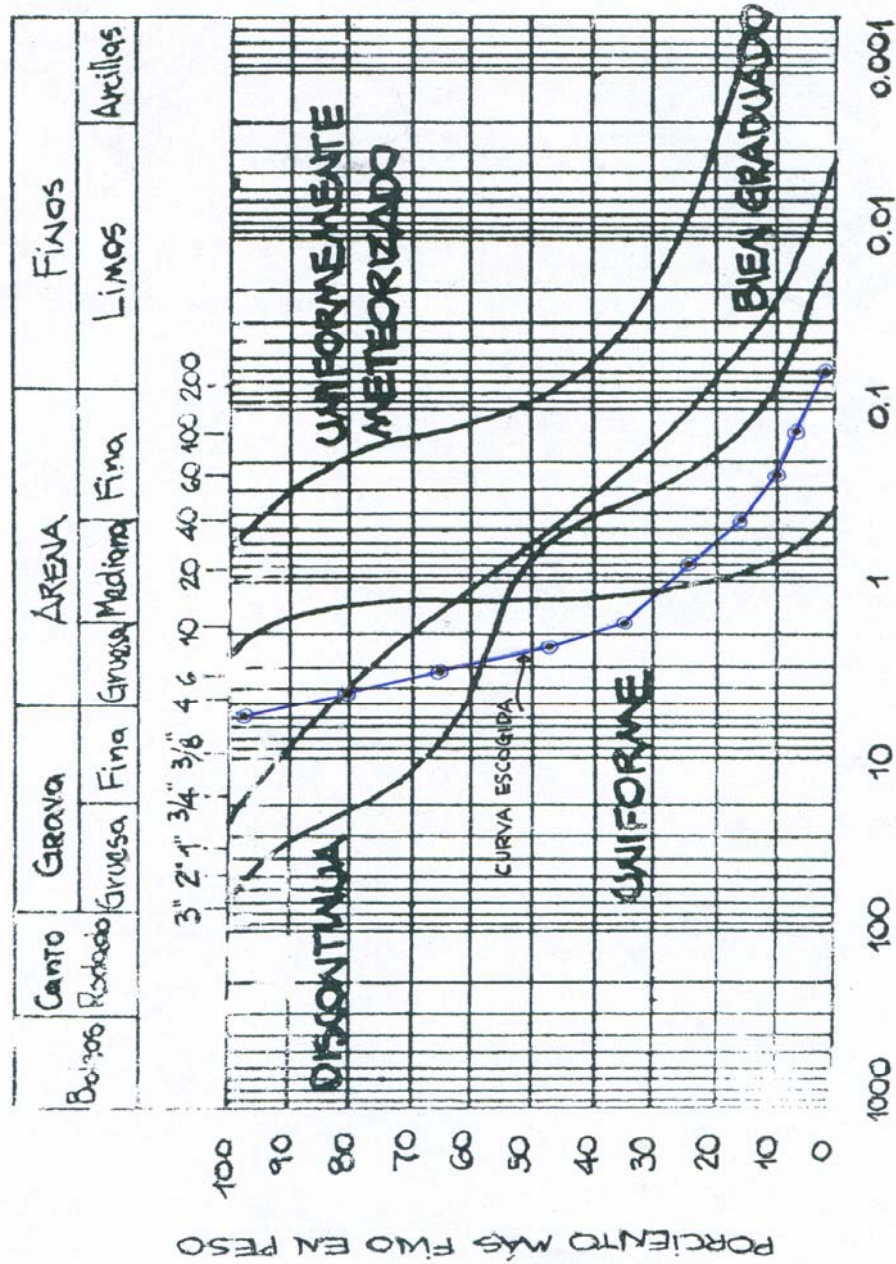
El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico.

PBX (502) 2 477-0382 y (502) 2 476-0680 Fax (502) 2476-8506. Diagonal 17, 29-78, zona 11. Las Charcas. Guatemala, C. A. www.mem.gob.gt



## F. CURVA GRANULOMÉTRICA ACUMULATIVA DE UN SUELO

CURVA GRANULOMÉTRICA ESCOGIDA



DIÁMETRO DE LOS GRANOS EN MILÍMETROS

Fuente: Manual de Laboratorio de Mecánica de Suelos. Tesis del Br. Víctor Manuel Antonio Salvador Quimbos R.