

Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**“EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE LA FARMACOPEA
ESTADOUNIDENSE USP EDICIÓN 30 NF 25 COMO MÉTODO
PRESUNTIVO PARA LA DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO EN
LAS AGUAS SUPERFICIALES DE GUATEMALA.”**

Juan José Pineda Ortiz

Asesorado Por: Licenciada Drina Iliana Ortiz de Pineda

Guatemala, marzo de 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE LA FARMACOPEA ESTADOUNIDENSE
USP EDICIÓN 30 NF 25 COMO MÉTODO PRESUNTIVO PARA LA
DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO EN LAS AGUAS SUPERFICIALES DE
GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR:

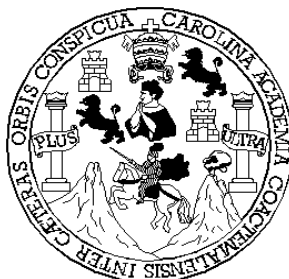
JUAN JOSÉ PINEDA ORTIZ

ASESORADO POR LA LICDA. DRINA ILIANA ORTIZ CHOUR

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, MARZO DE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Edwin Manuel Ortiz Castillo
EXAMINADOR	Ing. José Manuel Tay Oroxom
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE LA FARMACOPEA ESTADOUNIDENSE
USP EDICIÓN 30 NF 25 COMO MÉTODO PRESUNTIVO PARA LA
DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO EN LAS AGUAS SUPERFICIALES DE
GUATEMALA,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha abril del 2008.



Juan José Pineda Ortiz

Guatemala 15 de Enero de 2009

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
Director
Escuela de Ingeniería Química

Respetable Ingeniero Álvarez:

Atentamente me dirijo a usted para informarle que he revisado el informe final del trabajo de graduación titulado "Evaluación del método de la Farmacopea Estadounidense USP edición 30 NF 25 como método presuntivo para la determinación de arsénico en las aguas superficiales de Guatemala" desarrollado por el estudiante de Ingeniería Química Juan José Pineda Ortiz, carné No. 2003-12712.

Por lo cual, después de haber realizado la revisión del respectivo informe y de haberle hecho las correcciones pertinentes, considero que llena los requisitos para su aprobación.

Atentamente,



Licda. Drina Iliana Ortiz Chour
Colegiado 989
ASESORA
Química Farmacéutica



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA.

Guatemala, 24 de Febrero de 2009
Ref. EI.Q.064.2009

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG-006-09-B-IF le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del trabajo de graduación, para optar al título de INGENIERO QUÍMICO al estudiante universitario **JUAN JOSÉ PINEDA ORTIZ**, identificado con carné No. **2003-12712**, titulado: **"EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE LA FARMACOPEA ESTADOUNIDENSE USP EDICIÓN 30 NF 25 COMO MÉTODO PRESUNTIVO PARA LA DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO EN LAS AGUAS SUPERFICIALES DE GUATEMALA"** el cual ha sido asesorado por la licenciada **Drina Iliana Ortiz de Pineda**, como consta en el Acta.

Habiendo encontrado el referido informe final **satisfactorio**, se procede a recomendarle autorice al estudiante **Pineda Ortiz** proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Inga. Teresa Lisely de León Arana, M.Sc.

COORDINADORA
Tribunal que revisó el informe
Del trabajo de graduación



ESCUELA DE
INGENIERIA QUIMICA

C.c.: archivo



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Director de la Escuela de Ingeniería Química Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía, M.Sc. Después de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el trabajo de graduación del estudiante **Juan José Pineda Ortiz** titulado: **“EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE LA FARMACOPEA ESTADOUNIDENSE USP EDICIÓN 30 NF 25 COMO MÉTODO PRESUNTIVO PARA LA DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO EN LAS AGUAS SUPERFICIALES DE GUATEMALA”**, procede a la autorización del mismo, ya que reúne rigor, coherencia y calidad requeridos.


Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía M.Sc.
DIRECTOR ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



Guatemala, marzo de 2,009

C.c.: archivo

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG. 073.2009

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE LA FARMACOEPA ESTADOUNIDENSE USP EDICIÓN 30 NF 25 COMO MÉTODO PRESUNTIVO PARA LA DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO EN LAS AGUAS SUPERFICIALES DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Juan José Pineda Ortiz**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, marzo de 2009

/gdech

AGRADECIMIENTOS A:

Licda. Drina Iliana Ortiz Chour, por su colaboración durante el transcurso de la elaboración del presente trabajo.

Ing. Jaime Gática, por su valiosa asesoría en la elaboración del presente documento.

Ing. Jorge Mario Estrada, por su valiosa revisión y corrección del presente documento.

Ing. Ricardo García, por su asesoría en el desarrollo de la metodología utilizada en el presente trabajo.

La Escuela de Ingeniería Química, por haberme brindado los conocimientos y valores necesarios para desarrollarme en el ámbito profesional.

La Facultad de Ingeniería, por permitirme realizar mi formación académica en tan prestigiosa Facultad.

La Universidad de San Carlos, por haberme permitido cumplir el sueño, y tener el honor de sentirme orgulloso de ser un profesional más egresado de tan prestigiosa casa de estudios.

ACTO QUE DEDICO A:

- DIOS** Por ser el principal responsable de esta meta alcanzada ya que sin Él nada de esto fuera posible.
- MI HIJA** Annelisse, ya que es el principal motor de mi vida y la razón por la cual despierto cada día con el afán de luchar por lograr algo más.
- MI ESPOSA** Zaida, por su amor, compañía y sobre todo, apoyo para lograr una de las metas que tenemos en nuestras vidas.
- MI PADRE** Juan José, por los consejos dados en el transcurso de toda mi vida y por el incondicional apoyo que me ha brindado, te amo papa.
- MI MAMÁ** Drina, por su amor, comprensión, apoyo, motivación y confianza que depositó en mí desde el momento en que me vio nacer hasta esta fecha. Te amo mamá.
- MIS HERMANOS** Francisco, Mishell, Alejandra y Mariano, por compartir este éxito en mi vida.
- MIS ABUELITAS** Abi, por brindarme amor y cariño durante mi vida y enseñarme que en la vida en cada momento hay que amar a las personas. Rosi por su apoyo y cariño brindado en todo momento de la vida hasta alcanzar esta meta.
- MIS TÍOS** Estuardo, por enseñarme a ser una persona trabajadora y con gran corazón, Iván, Arturo y Sergio por haberme dado todo el apoyo cuando lo necesite.

MIS TIAS

Hivy, Kareen y Lissette.

MIS AMIGOS

Mario Calderón, Deify Mansilla, Sylvia Batres, Manolo Muralles, Francisco Paz, Rodolfo Monzón, Luis Méndez, Rodolfo Rosales, Rudy Ríos, Julio Palencia, Jackeline Quiñónez y en especial a la familia Rodríguez por todo su cariño, apoyo y aprecio mostrado al alcanzar esta meta.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE ABREVIATURAS	VII
GLOSARIO	IX
RESÚMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1 Arsénico	3
2.1.1 Propiedades Químicas	4
2.1.2 Usos del arsénico	4
2.1.3 Rol Biológico	6
2.1.4 Obtención del arsénico	6
2.1.5 Toxicidad del arsénico	7
2.1.6 Enfermedades producidas por ingestión de arsénico	9
2.1.6.1 Arsenicosis	9
2.1.6.2 Arsénico como causa de cancer	10
2.1.6.3 Hidroarsenicismo crónico regional endémico	10
2.2 Agua	11
2.2.1 Propiedades Físicas	12
2.2.2 Propiedades Químicas	13
2.2.3 El agua como compuesto químico	14
2.2.4 Tipos de agua	15
2.2.4.1 Aguas naturales	15
2.2.4.2 Agua potable	16
2.2.4.3 Aguas residuales	17

2.2.4.4 Agua contaminada	17
2.2.4.4.1 Contaminación natural	17
2.2.4.4.2 Contaminación artificial	17
2.2.5 Causa de la contaminación del agua	18
2.2.6 Agua contaminada con arsénico	19
2.2.6.1 Fuentes naturales de arsénico	20
2.2.7 Intoxicación por ingestión de agua contaminada por arsénico	20
2.2.8 Cantidad máxima permisible de arsénico en agua	21
2.2.8.1 Cantidad máxima permisible de arsénico en Guatemala	21
2.2.8.1.1 Límites de toxicidad de sustancias inorgánicas según, Normas COGUANOR	22
2.3 Hidroquímica en Guatemala	22
2.3.1 Analisis realizados en el laboratorio de hidrología (INSIVUMEH)	23
2.3.1.1 Características físicas	23
2.3.1.2 Características químicas	24
3. METODOLOGÍA	27
3.1 Muestreo	28
3.1.1 Localización de cuencas y puntos de toma de muestra	28
3.1.2 Tratamiento de los recipientes y método de preservación	28
3.1.3 Mapa de muestreo	29
3.2 Determinación de arsénico en agua	29
3.2.1 Métodos cualitativos	29
3.2.1.1 Reacción de Gutzeit	30
3.2.1.1.1 Reactivos	30
3.2.1.1.2 Equipo	30
3.2.1.1.3 Soluciones	31
3.2.1.1.4 Procedimiento	31
3.2.1.2 Método de la USP (Farmacopea de Estados Unidos)	32
3.2.1.2.1 Química del método	32
3.2.1.2.2 Reactivos	33
3.2.1.2.3 Equipo	33

3.2.1.2.4 Precauciones	34
3.2.1.2.5 Soluciones	34
3.2.1.2.6 Procedimiento para la preparación de muestra y estándar	36
3.2.1.2.7 Procedimiento para correr la prueba	37
3.2.1.2.8 Factores químicos que interfieren en el método	37
3.2.1.3 Límite de detección de arsénico	38
4. RESULTADOS	39
4.1 Sumario	39
4.2 Resultados del método	39
4.3 Interpretación de los resultados del Método	40
CONCLUSIONES	43
RECOMENDACIONES	45
BIBLIOGRAFÍA	47
ANEXOS	49

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

1	Mapa de muestreo	29
2	Equipo generador de arsina	34

TABLAS

I	Propiedades del arsénico	4
II	Límites internacionales y valores guías de arsénico	21
III	Sustancias dañinas para la salud y límites máximos permisibles	22
IV	Propiedades físicas del agua	23
V	Propiedades químicas del agua	24
VI	Puntos de muestreo de agua	28
VII	Límites de detección de arsénico por métodos de análisis	38
VIII	Muestras analizadas	39
IX	Resultados de las pruebas del método	39

LISTA DE ABREVIATURAS

CEE	Comunidad Económica Europea.
COGUANOR	Comisión de Normas Guatemaltecas
g	Gramo
HACRE	Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico.
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología
LMA	Límite máximo aceptable.
LMP	Límite máximo permisible.
OMS	Organización Mundial de la Salud
MAC	Maximun Admisible Concentration (Concentración Máxima admisible)
MCL	Maximun Contamination Limit (Límite Máximo de Contaminación).

mg	Miligramos.
mg/L	Miligramo por litro
ppb	Partes por billón
ppm	Partes por millón
USEPA	United States Enviromental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental Estadounidense.
U.T.J	Unidad Jackson de turbiedad
µg/l	Microgramos por litro
µOHM/cm	Micro ohmnios por centímetro

GLOSARIO

Ácido Bronsted-Lowry	Es un donador de protones, pues dona un ion hidrógeno, H ⁺
Agentes patógenos	Es toda aquella entidad biológica capaz de producir enfermedad o daño en la biología de un huésped (humano, animal, vegetal, etc.) sensiblemente predispuesto.
Agua contaminada	Es el agua a la que se le ha incorporado materias extrañas, como microorganismos, productos químicos, residuos industriales o de otros tipos, o aguas residuales.
Agua natural	El agua natural o de manantiales es el flujo natural de agua que surge del interior de la tierra desde un solo punto o por un área restringida.
Agua potable	Es el agua que puede ser consumida por personas y animales sin riesgo de contraer enfermedades.

Aguas Residuales

Son materiales derivados de residuos domésticos o de procesos industriales, los cuales por razones de salud pública no pueden desecharse vertiéndolas sin tratamiento en lagos o corrientes convencionales.

Arsénico

Elemento químico natural de la tabla periódica ampliamente distribuido en la corteza terrestre, su símbolo es As y el número atómico es 33.

Arsénicosis

Enfermedad crónica que resulta de beber agua con altos niveles de arsénico durante un largo período de tiempo, las consecuencias en la salud incluyen problemas de la piel, cáncer de la piel, cáncer del hígado, riñón y pulmones, problemas de los vasos sanguíneos en los pies y las piernas; otros síntomas posibles son diabetes, alta presión sanguínea y problemas reproductivos.

Base Bronsted-Lowry

Es un receptor de protones, pues acepta un ion hidrógeno, H⁺.

Calidad del agua	Medida en la que el agua se encuentra afectada por la concentración de sustancias producidas por procesos naturales y actividades humanas.
Calor Latente de evaporación	Es la energía absorbida por las sustancias al cambiar de estado líquido a gaseoso.
Calor latente de fusión	Es la energía absorbida por las sustancias al cambiar de estado sólido a líquido.
Capilaridad	Propiedad de ascenso o descenso de un líquido dentro de un tubo capilar.
Equilibrio iónico	Es un tipo especial de equilibrio químico, caracterizado por la presencia de especies químicas en solución acuosa, las cuales producen iones.

Hidrogeología

La hidrogeología es la ciencia que estudia el origen y la formación de las aguas subterráneas, las formas de yacimiento, su difusión, movimiento, régimen y reservas, su interacción con los suelos y rocas, su estado y propiedades.

Hidroquímica

Estudio de la calidad del agua que abastece tanto a la población como a las industrias.

Metaloides

Son los elementos que muestran propiedades metálicas y propiedades no metálicas.

Nucleido

Nucleido es el nombre genérico que se aplica a todos los átomos que poseen el mismo número atómico y el mismo número másico.

Queratosis

Es una enfermedad que presenta como síntomas lesiones duras en la piel y puede derivar en casos de cáncer de piel, de pulmón, de vejiga y de riñón

RESUMEN

El presente documento pretende implementar y dar a conocer un método viable, el cual puede ser utilizado en los laboratorios químicos, para verificar las cantidades de arsénico en el agua y evaluar si éstas exceden el límite máximo permisible por la norma Guatemalteca obligatoria COGUANOR NGO-29001 para agua potable, además se pretende utilizar para este informe las aguas superficiales de las principales cuencas del país de Guatemala.

El procedimiento de captación de muestras para este trabajo se basa en el informe anual que emite el INSIVUMEH denominado "**CALIDAD DEL AGUA**" dicho informe trata sobre las características del agua de los diferentes ríos, sin embargo carece de la prueba "Arsénico".

Las Cuencas de estudio fueron: río Grande de Zacapa, río Motagua, río Sis-Ican, río Nahualate, río Achiguate y río Madre Vieja.

OBJETIVOS

General:

- Proponer un método químico cualitativo para la determinación presuntiva de arsénico en el agua.

Específicos:

1. Evaluar el método USP 30 NF 25 para determinar la existencia presuntiva de arsénico en el agua en cantidades que excedan el límite en las normas COGUANOR (0.01 mg/L o 10 ppb).
2. Realizar las determinaciones respectivas utilizando como muestras las aguas superficiales de las principales cuencas del país.
3. Demostrar sí el método USP 30 NF 25 “Arsénico” detecta cualitativamente la presencia de arsénico en el agua a partir de la elaboración de un estándar de trióxido de arsénico.

INTRODUCCIÓN

El agua es el elemento de mayor consumo humano, por ello es importante que cuente con una calidad apropiada, el arsénico es un elemento que es altamente tóxico para los humanos ya que si es ingerido puede producir irritación del estómago e intestinos, disminución en la producción de glóbulos rojos y blancos, irritación de los pulmones y puede llegar a producir cáncer, por ello es importante que se identifique su existencia y si esta excede el límite permisible por las entidades regulatorias del país, en este caso la COGUANOR.

El método de la farmacopea estadounidense USP Edición 30 NF 25 para analizar arsénico es un método presuntivo que se basa en una comparación de color, en este se compara una muestra de agua contra un estándar de trióxido de arsénico, el cual tiene como concentración el límite permisible por las normas del país. A partir de ello podemos determinar si el agua analizada excede el límite establecido de arsénico para consumo humano.

El presente informe muestra los resultados obtenidos de la evaluación del método presuntivo “Arsénico” de la farmacopea estadounidense USP Edición 30 NF 25 utilizando las aguas superficiales del país de Guatemala y establece si es un método que se puede utilizar a nivel de laboratorio para contribuir con la detección cualitativa de este elemento que conlleva peligro para el ser humano.

1. ANTECEDENTES

En el país de Guatemala han surgido diversas noticias sobre la presencia de arsénico en algunos pozos del país, sobre todo en el municipio de Mixco. El arsénico es un elemento natural que se comporta como un metal. Está presente en el entorno de forma natural y como consecuencia de ciertas actividades humanas.

El nivel de arsénico puede medirse con diferentes métodos de laboratorio. Algunos pueden diferenciar diferentes tipos de arsénico y otros permiten medir de forma precisa cantidades muy pequeñas de arsénico.

Actualmente no se realiza ningún tipo de estudio a nivel local para determinar si las aguas superficiales se encuentran exentas de arsénico, existe un estudio que se realiza anualmente por el INSIVUMEH que se denomina "CALIDAD DEL AGUA DE LOS RÍOS DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA". El cual en el último reporte emitido por esta entidad no se analiza el arsénico, la fecha de emisión de ese reporte es en el año 2007, los análisis incluidos en este reporte se realizaron en el período de enero 2007 a septiembre 2007.

La metodología utilizada anteriormente era el método de la reacción de Marsch, este método se basa en que todos los compuestos solubles de arsénico se reducen por medio del hidrógeno en solución ácida a arsina, la cual se descompone en hidrógeno y arsénico libre. Actualmente se han realizado varias modificaciones a este ensayo entre los cuales se deriva el método de la Farmacopea Estadounidense USP Edición 30 NF 25.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Arsénico

El arsénico es un elemento químico natural de la tabla periódica ampliamente distribuido en la corteza terrestre (cerca de $5 \times 10^{-4}\%$ de la corteza terrestre), se encuentra en la tierra y entre los minerales, su símbolo es As y el número atómico es 33, es uno de los 22 elementos conocidos que se componen de un solo nucleido estable, nucleido es el nombre genérico que se aplica a todos los átomos que poseen el mismo número atómico y el mismo número másico. En la tabla periódica de los elementos se encuentra en el quinto grupo principal. El Arsénico se presenta raramente sólido, principalmente en forma de sulfuros. Pertenece a los metaloides, ya que según la modificación de su estructura muestra propiedades metálicas y propiedades no metálicas. El arsénico forma parte del aire, el agua y la tierra a través del polvo que se lleva el viento.

Se conocen compuestos de arsénico desde la antigüedad, siendo extremadamente tóxicos. El arsénico es usado para la fabricación de componentes de semiconductores III-V como el arsenito de galio. Al arsénico se le encuentra natural como mineral de cobalto, aunque por lo general está en la superficie de las rocas combinado con azufre o metales como Mn, Fe, Co, Ni, Ag o Sn. El principal mineral del arsénico es el FeAsS (arsenopirita, pilo); otros arseniuros metálicos son los minerales FeAs₂ (löllingita), NiAs (nicolita), CoAsS (cobalto brillante), NiAsS (gersdorffita) y CoAs₂ (esmalta). Los arseniatos y tioarseniato naturales son comunes y la mayor parte de los minerales de sulfuro contienen arsénico.

En el ambiente el arsénico se combina con oxígeno, cloro y azufre para formar compuestos inorgánicos de arsénico. Mientras que en animales

y en plantas se combina con carbono e hidrógeno para formar compuestos orgánicos de arsénico.

Los compuestos inorgánicos de arsénico se usan principalmente para preservar madera. Los compuestos orgánicos de arsénico se usan como plaguicidas, principalmente en cosechas de algodón.

2.1.1 Propiedades Químicas

Las propiedades químicas más importantes del arsénico se muestran en la tabla I.

Tabla I Propiedades del arsénico

Nombre	Arsénico
Número atómico	33
Valencia	+3,-3,5
Estado de oxidación	+5
Electronegatividad	2,1
Radio covalente (Å)	1,19
Radio iónico (Å)	0,47
Radio atómico (Å)	1,39
Configuración electrónica	[Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ³
Potencial primero de ionización (eV)	10,08
Masa atómica (g/mol)	74,922
Densidad (g/ml)	5,72
Punto de ebullición (°C)	613
Punto de fusión (°C)	817
Descubridor	Los antiguos

Tabla I Fuente: tabla periódica.

2.1.2 Usos del arsénico

El arsénico elemental tiene pocos usos. Es uno de los pocos minerales disponibles con un 99.9999+ % de pureza. En el estado sólido se

ha empleado ampliamente en los materiales láser GaAs (Arseniuro de Galio) y como agente acelerador en la manufactura de varios aparatos. El óxido de arsénico (As_2O_3) se utiliza en la elaboración de vidrio. Los sulfuros de arsénico se usan como pigmentos y en juegos pirotécnicos. El arseniato de hidrógeno se emplea en medicina, así como otros compuestos de arsénico.

La mayor parte de la aplicación medicinal de los compuestos de arsénico se basa en su naturaleza tóxica.

La demanda de arsénico metálico es limitada. El arsénico es utilizado en las aleaciones no ferrosas (por ejemplo para reforzar la dureza de las aleaciones de plomo); con la introducción de los antibióticos, los productos farmacéuticos que contienen arsénico han perdido su importancia. Los compuestos de arsénico son también utilizados como pesticidas y para la producción de pigmentos.

Otros usos importantes del arsénico y sus compuestos en la industria se listan a continuación:

- Preservante de la madera (arseniato de cobre, $\text{Cu}_3(\text{AsO}_4)_2$), uso que representa, según algunas estimaciones, cerca del 70% del consumo mundial de arsénico.
- El arseniuro de galio es un importante material semiconductor empleado en circuitos integrados más rápidos, y caros, que los de silicio. También se usa en la construcción de diodos láser.
- Aditivo en aleaciones de plomo y latones.
- Insecticida (arseniato de plomo), herbicidas (arsenito de sodio) y venenos: A principios del siglo XX se usaban compuestos inorgánicos pero su uso ha desaparecido prácticamente en beneficio de compuestos orgánicos (derivados metílicos).
- Históricamente el arsénico se ha empleado con fines terapéuticos prácticamente abandonados por la medicina occidental aunque recientemente se ha renovado el interés por su uso como demuestra

el caso del trióxido de arsénico (As_2O_3) para el tratamiento de pacientes con leucemia promielocítica aguda.

- Como elemento fertilizante en forma de mineral primario rico, para la agricultura.

2.1.3 Rol Biológico

Aun cuando el arsénico se asocia con la muerte, es un elemento esencial para la vida y su deficiencia puede dar lugar a diversas complicaciones. La ingesta diaria de 12 a 15 μg puede obtenerse sin problemas con la dieta diaria de carnes, pescados, vegetales y cereales, siendo los peces y crustáceos los que más contenido de arsénico presentan generalmente en forma de arsenobetaina menos tóxica que el arsénico inorgánico.

2.1.4 Obtención del arsénico

Es el 52º elemento en abundancia de la corteza terrestre con 2 ppm ($5 \cdot 10^{-4} \%$) y es uno de los 22 elementos conocidos que se componen de un solo nucleido estable. El arsénico se encuentra en forma nativa y principalmente en forma de sulfuro en una gran variedad de minerales que contienen cobre, plomo, hierro (arsenopirita o *mispickel*), níquel, cobalto y otros metales. El arsénico es muy común en los yacimientos minerales de oro y polimetálicos de sulfuros masivos con cobre, estando presente en varios minerales.

El arsénico se encuentra naturalmente en todo un grupo de minerales y puede entrar al aire, al agua y los suelos en el polvo que arrastra el viento o en el agua proveniente del escurrimiento superficial provocado por las lluvias, que se filtra a través del suelo.

En la fusión de minerales de cobre, plomo y cobalto y oro se obtiene trióxido de arsénico que se volatiliza en el proceso y es arrastrado por los

gases de la chimenea que pueden llegar a contener más de un 30%. Los gases de la chimenea se refinan posteriormente mezclándolos con pequeñas cantidades de galena o piritita para evitar la formación de arsenitos y por tostación se obtiene trióxido de arsénico entre el 90 y 95% de pureza, por sublimaciones sucesivas puede obtenerse con una pureza del 99%.

Según datos del servicio de prospecciones geológicas estadounidense las minas de cobre y plomo contienen aproximadamente 11 millones de toneladas de arsénico, especialmente en Perú y Filipinas, y el metaloide se encuentra asociado con depósitos de cobre-oro en Chile y de oro en Canadá. También es un componente del tabaco.

2.1.5 Toxicidad del arsénico

El Arsénico es uno de los más tóxicos elementos que pueden ser encontrados. Debido a sus efectos tóxicos, los enlaces de Arsénico inorgánico ocurren en la tierra naturalmente en pequeñas cantidades. Los humanos pueden ser expuestos al Arsénico a través de la comida, agua y aire. La contaminación con arsénico afecta de la misma forma a niños y a adultos.

La exposición puede también ocurrir a través del contacto con la piel con suelo o agua que contenga Arsénico.

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

La exposición al Arsénico puede ser más alta para la gente que trabaja con Arsénico, para gente que bebe significantes cantidades de vino, para gente que vive en casas que contienen conservantes de la madera y

gente que viven en granjas donde el Arsénico de los pesticidas ha sido aplicado en el pasado.

La exposición al Arsénico inorgánico puede causar varios efectos sobre la salud, como es irritación del estómago e intestinos, disminución en la producción de glóbulos rojos y blancos, cambios en la piel, e irritación de los pulmones. Es sugerido que la toma de significantes cantidades de Arsénico inorgánico puede intensificar las posibilidades de desarrollar cáncer, especialmente las posibilidades de desarrollo de cáncer de piel, pulmón, hígado, linfa.

A exposiciones muy altas de Arsénico inorgánico puede causar infertilidad y abortos en mujeres, puede causar perturbación de la piel, pérdida de la resistencia a infecciones, perturbación en el corazón y daño del cerebro tanto en hombres como en mujeres. Finalmente, el Arsénico inorgánico puede dañar el ADN. El Arsénico orgánico no puede causar cáncer, ni tampoco daño al ADN. Pero exposiciones a dosis elevadas puede causar ciertos efectos sobre la salud humana, como es lesión de nervios y dolores de estómago.

Las principales rutas de exposición de las personas al arsénico son la ingesta e inhalación. El arsénico es acumulable en el organismo por exposición crónica y superados ciertos niveles de concentración.. Puede ocasionar afecciones como alteraciones de la piel, lesiones dérmicas, vasculopatías periféricas ("enfermedad del pie negro"), además de enfermedades respiratorias;, cardiovasculares y diversos tipos de cáncer (pulmón, rincón, hígado, vejiga y de piel).

Además, personas que ingieren de forma prolongada arsénico inorgánico, vía agua de bebida, pueden presentar hiperqueratosis palmo-plantar cuya manifestación principal es la pigmentación de la piel y callosidades localizadas en las palmas de las manos y pies.

2.1.6 Enfermedades producidas por ingestión de arsénico

La exposición prolongada a bajas concentraciones de arsénico en el agua que se bebe causa queratosis (lesiones duras en la piel) y puede derivar en casos de cáncer de piel, de pulmón, de vejiga y de riñón. Millones de personas se encuentran potencialmente expuestas a la intoxicación con arsénico, dado que utilizan reservas de agua contaminada con dicha sustancia, proveniente por lo general de fuentes naturales e y de desechos industriales ,y desconocen los riesgos o carecen de una alternativa para conseguir agua pura. Otra enfermedad común por la ingestión de agua con arsénico es la arsenicosis.

2.1.6.1 Arsenicosis

La arsenicosis es una enfermedad crónica que resulta de beber agua con altos niveles de arsénico durante un largo periodo de tiempo (5 a 20 años). También se denomina envenenamiento por arsénicos.

Las consecuencias en la salud incluyen problemas de la piel, cáncer de la piel, cáncer del hígado, riñón y pulmones, problemas de los vasos sanguíneos en los pies y las piernas; otros síntomas posibles son diabetes, alta presión sanguínea y problemas reproductivos.

La contaminación natural del arsénico es una causa de preocupación en muchos países como Argentina, Bangladesh, Chile, China, India, México, Tailandia e incluso EE.UU. Debido a sus efectos visibles tardíos y mala información e incluso desconocimiento en muchos lugares, los problemas causados por el arsénico en agua potable no son muy claros ni están bien documentados.

2.1.6.2 Arsénico como causa de cancer

Varios estudios han demostrado que el arsénico inorgánico puede aumentar el riesgo de cáncer del pulmón, la piel, la vejiga, el hígado, el riñón y la próstata. La Organización Mundial de la Salud (OMS), el Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) y la EPA han determinado que el arsénico inorgánico es carcinógeno en seres humanos.

2.1.6.3 Hidroarsenicismo crónico regional endémico

Enfermedad conocida como HACRE por sus siglas (hidroarsenicismo crónico regional endémico). La causa: la ingestión permanente de agua contaminada por arsénico que produce lesiones dermatológicas. El arsénico de estas aguas tiene un origen natural.

Se asocia el origen de esta enfermedad con el consumo de agua con altas concentraciones en arsénico a lo que se une el excesivo calor de estas zonas. Estos dos factores hacen que los adultos de estas regiones contraigan lesiones irreversibles que les incapacitan para el trabajo, incluso, ocasionalmente, les puede provocar la muerte. Los primeros síntomas suelen aparecer entre la pubertad y la edad adulta, aunque puede aparecer en edad escolar.

El curso de la enfermedad puede ser dividido en 4 etapas, que pueden sucederse unas a otras o bien superponerse:

Período hiperhidrótico: las palmas y plantas presentan una descamación furfurácea acompañada de prurito, disestesias y sudor, con el mismo aspecto de una dishidrosis inespecífica.

Período hiperqueratósico: engrosamientos epidérmicos difusos, en las mismas zonas palmoplantares (callosidades difusas, globos córneos circunscriptos, raras veces cuernos epiteliales y otras deformaciones

intercaladas por zonas de piel que suele fisurarse y ulcerarse, y a su vez infectarse) con intenso dolor. Dificultades para realizar tareas manuales e incluso para caminar. El pelo se vuelve ralo y quebradizo y surgen lesiones ungueales.

Período melanodérmico: aparecen manchas que comienzan en el tronco y se extienden sin afectar las mucosas. Este trastorno puede no aparecer en el curso de la enfermedad.

Período final: algunas de las lesiones ulceradas de la piel terminan por transformarse en carcinomas (cáncer de Hutchinson). Es uno de los pocos cánceres con etiología conocida. Otros enfermos sufren cambios degenerativos e inflamatorios crónicos: hepatosis, nefrosclerosis, polineuritis con sus secuelas, cardiopatías y consunción general, exponiéndose a que cualquier proceso intercurrente produzca la muerte.

2.2 Agua

El agua cubre el 72% de la superficie del planeta Tierra y representa entre el 50% y el 90% de la masa de los seres vivos. Es una sustancia relativamente abundante aunque sólo supone el 0,022% de la masa de la Tierra. Se halla en forma líquida en los mares, ríos, lagos y océanos.

Es fundamental para todas las formas de vida conocida. Los humanos consumen agua potable. Los recursos naturales se han vuelto escasos con la creciente población mundial y su disposición en varias regiones habitadas es la preocupación de muchas organizaciones gubernamentales.

El agua cubre tres cuartas partes de la superficie de la Tierra. El 3% de su volumen es dulce. De ese 3%, un 1% está en estado líquido,

componiendo los ríos y lagos. El 2% restante se encuentra formando casquetes o banquisa en las latitudes próximas a los polos.

2.2.1 Propiedades Físicas

El agua no tiene olor, sabor, ni color. Para obtener agua químicamente pura es necesario realizar diversos procesos físicos de purificación ya que el agua es capaz de disolver una gran cantidad de sustancias químicas, incluyendo gases.

Se llama agua destilada al agua que ha sido evaporada y posteriormente condensada. Al realizar este proceso se eliminan casi la totalidad de sustancias disueltas y microorganismos que suele contener el agua; es prácticamente la sustancia química pura H_2O . Otras características del agua se enuncian a continuación:

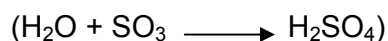
- Presenta un punto de ebullición de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (373 K) a presión de 1 atm .
- Tiene un punto de fusión de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (273 K) a presión de 1 atm .
- El agua destilada no conduce la electricidad (agua pura es el agua destilada libre de sales y minerales)
- Es un líquido casi incoloro, inodoro e insípido.
- Se presenta en la naturaleza de tres formas, que son: sólido, líquido o gas.
- Tiene una densidad máxima de 1 g/cm^3 a 277 K y presión 1 atm . Así, por cada centímetro cúbico (cm^3) hay 1 g de agua.
- Posee capilaridad, que es la propiedad de ascenso, o descenso, de un líquido dentro de un tubo capilar.
- Calor latente de fusión del hielo a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$: 80 cal/g (ó 335 J/g)
- Calor latente de evaporación del agua a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$: 540 cal/g (ó 2260 J/g)
- Tiene un estado de sobreenfriado, es decir, líquido a $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Tiene un elevado calor de vaporización, y una elevada constante dieléctrica.

- Tiene una gran fuerza de cohesión entre sus moléculas, y la fuerza de adhesión por los puentes de hidrógeno que son muy termohábiles.

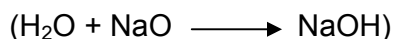
2.2.2 Propiedades Químicas

Su importancia reside en que casi la totalidad de los procesos químicos que ocurren en la naturaleza, no solo en organismos vivos sino también en la superficie no organizada de la tierra, así como los que se llevan a cabo en laboratorios y en la industria tienen lugar entre sustancias disueltas en agua. El agua es disolvente universal puesto que todas las sustancias son de alguna manera solubles en ella.

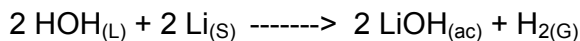
- No posee propiedades ácidas ni básicas.
- Con ciertas sales forma hidratos.
- Es catalizador en muchas reacciones químicas.
- Presenta un equilibrio de autoionización, en el cual hay iones H_3O^+ y OH^-
- Reacciona con los óxidos ácidos para formar ácidos.



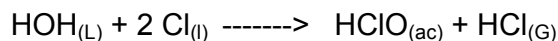
- Reacciona con los óxidos básicos para formar hidróxidos.



- Reacciona con los metales



- Reacciona con los no metales



En algunos casos los hidratos pierden agua de cristalización cambiando de aspecto, y se dice que son eflorescentes, como le sucede al

sulfato cúprico (CuSO_4), que cuando está hidratado es de color azul, pero por pérdida de agua se transforma en sulfato cúprico anhidro de color blanco.

Por otra parte, hay sustancias que tienden a tomar el vapor de agua de la atmósfera y se llaman hidrófilas y también higroscópicas; la sal se dice entonces que deliquesce, tal es el caso del cloruro cálcico.

2.2.3 El agua como compuesto químico

Habitualmente se piensa que el agua natural que conocemos es un compuesto químico de fórmula H_2O , pero no es así, debido a su gran capacidad disolvente toda el agua que se encuentra en la naturaleza contiene diferentes cantidades de diversas sustancias en solución y hasta en suspensión, lo que corresponde a una mezcla.

El agua químicamente pura es un compuesto de fórmula molecular H_2O , experimentalmente se encontró que el ángulo que forman los 2 enlaces covalentes oxígeno-hidrógeno es de 105° y la longitud de enlace oxígeno-hidrógeno es de 0.96 ángstrom y se requiere de 118 kcal/mol para romper uno de éstos enlaces covalentes de la molécula H_2O . Además, el que el ángulo experimental de enlace sea menor que el esperado teóricamente (109°) se explica como resultado del efecto de los 2 pares de electrones no compartidos del oxígeno que son muy voluminosos y comprimen el ángulo de enlace hasta los 105° .

Las fuerzas de atracción se deben a que los electrones y los núcleos se atraen mutuamente porque tienen carga opuesta, el espín opuesto permite que 2 electrones ocupen la misma región pero manteniéndose alejados lo más posible del resto de los electrones.

La estructura de una molécula es el resultado neto de la interacción de las fuerzas de atracción y de repulsión (fuerzas intermoleculares), las que se relacionan con las cargas eléctricas y con el espín de los electrones. De acuerdo con la definición de ácido y álcali de Brønsted-Lowry, los 2 pares de

electrones no compartidos del oxígeno en la molécula H₂O le proporciona características alcalinas. Los 2 enlaces covalentes de la molécula H₂O son polares porque el átomo de oxígeno es más electronegativo que el de hidrógeno, por lo que esta molécula tiene un momento dipolar electrostático igual a 6.13×10^{-30} (coulombs)(angstrom), lo que también indica que la molécula H₂O no es lineal, H-O-H.

El agua es un compuesto tan versátil principalmente debido a que el tamaño de su molécula es muy pequeño, a que su molécula es buena donadora de pares de electrones, a que forma puentes de hidrógeno entre sí y con otros compuestos que tengan enlaces como: N-H, O-H y F-H, a que tiene una constante dieléctrica muy grande y a su capacidad para reaccionar con compuestos que forman otros compuestos solubles.

El agua es, quizá el compuesto químico más importante en las actividades del hombre y también más versátil, ya que como reactivo químico funciona como ácido, álcali, ligando, agente oxidante y agente reductor.

2.2.4 Tipos de agua

Existen diferentes tipos de agua, de acuerdo a su procedencia y uso:

1. Naturales
2. Potable
3. Residual
4. Agua contaminada

2.2.4.1 Aguas naturales

El agua natural o de manantiales es el flujo natural de agua que surge del interior de la tierra desde un solo punto o por un área restringida. Puede aparecer en tierra firme o ir a dar a cursos de agua, laguna o lagos. Su

localización está en relación con la naturaleza de las rocas, la disposición de estratos permeables e impermeables y el perfil del relieve, ya que un manantial tiene lugar donde un nivel freático se corta con la superficie.

Los manantiales pueden ser permanentes o intermitentes, y tener origen atmosférico (agua de lluvia que se filtra en la tierra y surge en otro lugar a menor altitud) o ígneo, dando lugar a manantiales de agua caliente o aguas termales, calentadas por contacto con rocas ígneas.

La naturaleza a través del ciclo del agua, trabaja para limpiarla, sin embargo no tiene la capacidad suficiente para eliminar todas las sustancias y contaminantes que se vierten al agua.

2.2.4.2 Agua potable

El agua potable es agua que puede ser consumida por personas y animales sin riesgo de contraer enfermedades. En la actualidad, se denomina agua potable a la tratada para su consumo humano según unos estándares de calidad determinados por las autoridades locales e internacionales.

Para asegurar esta en la Unión Europea se han establecidos valores máximos y mínimos para el contenido en minerales, diferentes iones como cloruros, nitratos, nitritos, amonio, calcio, magnesio, fosfato, arsénico etc. además de los gérmenes patógenos. El pH del agua potable debe estar entre 6,5 y 8,5. Estos valores se recogen en la normativa 98/83/EU. Los controles sobre el agua potable suelen ser más severos que los controles aplicados sobre las aguas minerales embotelladas.

2.2.4.3 Aguas residuales

Las aguas residuales son materiales derivados de residuos domésticos o de procesos industriales, los cuales por razones de salud pública y por consideraciones de recreación económica y estética, no pueden desecharse vertiéndolas sin tratamiento en lagos o corrientes convencionales. Los materiales inorgánicos como la arcilla, sedimentos y otros residuos se pueden eliminar por métodos mecánicos y químicos; sin embargo, si el material que debe ser eliminado es de naturaleza orgánica, el tratamiento implica usualmente actividades de microorganismos que oxidan y convierten la materia orgánica en CO₂, es por esto que los tratamientos de las aguas de desecho son procesos en los cuales los microorganismos juegan papeles cruciales.

2.2.4.4 Agua contaminada

Agua contaminada es el agua a la que se le incorporaron materias extrañas, como microorganismos, productos químicos, residuos industriales o de otros tipos, o aguas residuales. Estas materias deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para los usos pretendidos. Existen dos tipos de contaminación de agua:

2.2.4.4.1 Contaminación natural

Es la que existe siempre, originada por restos animales y vegetales y por minerales y sustancias que se disuelven cuando los cuerpos de agua atraviesan diferentes terrenos.

2.2.4.4.2 Contaminación artificial

Va apareciendo a medida que el hombre comienza a interactuar con el medio ambiente y surge con la inadecuada aglomeración de las

poblaciones, y como consecuencia del aumento desmesurado y sin control alguno, de industrias, desarrollo y progreso.

2.2.5 Causa de la contaminación del agua

Las fuertes concentraciones de población contribuyen a la rápida contaminación del agua y otros tipos de contaminación.

Los principales contaminantes del agua son:

- Agentes patógenos: bacterias, virus, protozoarios y parásitos que entran al agua proveniente de desechos orgánicos.
- Desechos que requieren oxígeno: los desechos orgánicos pueden ser descompuestos por bacterias que usan oxígeno para biodegradarlos. Si hay poblaciones grandes de estas bacterias, pueden agotar el oxígeno del agua, matando así las formas de vida acuáticas.
- Sustancias químicas inorgánicas: ácidos, compuestos de metales tóxicos (mercurio, plomo, arsénico etc.) que envenenan el agua.
- Los nutrientes vegetales que pueden ocasionar el crecimiento excesivo de plantas acuáticas que después mueren y se descomponen, agotando el oxígeno del agua y de este modo causan la muerte de las especies marinas (zona muerta).
- Sustancias químicas orgánicas: petróleo, plásticos, plaguicidas y detergentes que amenazan la vida.
- Sedimentos o materia suspendida: partículas insolubles de suelo que enturbian el agua, y que son la mayor fuente de contaminación.

- Sustancias radiactivas que pueden causar defectos congénitos y cáncer.

2.2.6 Agua contaminada con arsénico

En el agua el arsénico comúnmente se encuentra en estado de oxidación +5 (arsenato) y +3 (arsenito). En aguas superficiales con alto contenido de oxígeno, la especie más común es el arsénico pentavalente o arsenato (As^{+5}). Bajo condiciones de reducción, generalmente en los sedimentos de los lagos o aguas subterráneas, predomina el arsénico trivalente o arsenito (As^{+3}).

El arsenito se encuentra en solución como H_3AsO_3 , H_2AsO_3^- , H_2AsO_4^- y $\text{H}_2\text{AsO}_4^{2-}$ en aguas naturales con pH entre 5 a 9. El arsenato se encuentra en forma estable en aguas con altos niveles de oxígeno como H_3AsO_4 en un rango de pH de 2 a 13. La conversión de As^{+3} a As^{+5} o viceversa es bastante lento. Los compuestos reducidos de As^{+3} pueden encontrarse en medios oxidados y los compuestos oxidados de As^{+5} en medios reducidos.

Los microbios, plantas y animales pueden convertir todo estos compuestos químicos de arsénico inorgánico en compuestos orgánicos (comprometiendo átomos de carbono e hidrógeno). La vida acuática y terrestre muestra una amplia gama de sensibilidades a las distintas especies arsenicales. En general las formas inorgánicas son más tóxicas que las orgánicas, y el arsenito más peligroso que el arsenato, sin embargo los dos son dañinos para la salud humana. Los arsenitos pueden fijarse a las proteínas, mientras que el arsenato afecta a la fosforilización oxidativa (en relación con Ciclo de Krebs).

El arsénico en el aire se deposita en el suelo o es removido del aire por la lluvia, también muchos de los compuestos de arsénico pueden disolverse en agua.

2.2.6.1 Fuentes naturales de arsénico

Según diversos estudios realizados una de las fuentes naturales de arsénico en las aguas subterráneas puede tener relación con ambientes geoquímicos que requieren la presencia de pirita y arsenopirita entre sus constituyentes minerales y medios reductores. En este tipo de ambiente el arsénico inorgánico se moviliza en forma de trióxido de arsénico (As_2O_3).

Un estudio hidrogeológico también apunta hacia un origen similar la procedencia del arsénico en numerosas localidades : una vez que las capas de pirita de los pozos subterráneas se ponen en contacto con el oxígeno y, al impulsar el agua desde el interior del pozo, se solubiliza el arsénico en el agua.

Las grandes presiones y temperaturas a que quedan sometidas las aguas subterráneas profundas pueden originar un medio reductor con incorporación del arsénico al agua subterránea.

2.2.7 Intoxicación por ingestión de agua contaminada por arsénico

Entre los efectos tóxicos por consumo de agua con altos contenidos de arsénico pueden mencionarse: hiperpigmentación, hiperqueratosis, enfermedad del Black Foot (escoriaciones oscuras en los pies) gangrena y cáncer de piel, cirrosis, hemoangioendotelioma, problemas de reabsorción renal, inhibición de la síntesis de la porfirina, afectación a los glóbulos blancos, abortos espontáneos, neuropatía periférica, parálisis, pérdida de la audición, inhibición de algunas enzimas, inhibición de la fosforilación oxidativa y de la reparación del ADN, daños al intestino.

Por razones geológicas naturales, en ciertas zonas del mundo el agua que beben algunas poblaciones puede contener más arsénico inorgánico del habitual.

2.2.8 Cantidad máxima permisible de arsénico en agua

En los últimos años se advierte una tendencia general en países industrializados a reducir los límites máximos permitidos de arsénico en agua de bebida, debido al riesgo carcinogénico del mismo para el ser humano en piel y algunos órganos internos (pulmón, hígado, riñon y vejiga).

En la Tabla II se indican límites y valores guías de arsénico para agua de bebida, según distintos organismos internacionales:

Tabla II Límites internacionales y valores guía de arsénico

Valores Internacionales		
OMS (Organización Mundial de la Salud)	Valor Guía Provisional	10 µg/l
USEPA (Agencia de Protección Ambiental de U.S.)	Nivel Máximo de Contaminación (MCL)	50 µg/l
CEE (Comunidad Económica Europea)	Concentración Máxima Admisible (MAC)	50µg/l

Tabla II: Límites internacionales y valores guía de arsénico en agua para beber.

2.2.8.1 Cantidad máxima permisible de arsénico en Guatemala

La cantidad máxima permisible de arsénico en el agua está dada por las leyes establecidas en la COGUANOR (Comisión Guatemalteca de Normas), la norma NGO 29001 es de cumplimiento Nacional y es el estándar de comparación para los parámetros de calidad de agua. Esta norma tiene por objeto fijar los valores de las características que definen la calidad del agua potable.

2.2.8.1.1.1 Límites de toxicidad de sustancias inorgánicas según Normas COGUANOR

En la tabla III se indican algunas sustancias o compuestos químicos que al sobrepasar el límite máximo permisible en el agua potable, son tóxicos para la salud.

Tabla III Sustancias dañinas para la salud y sus límites máximos permisibles

Tabla 3. Relación de las sustancias inorgánicas con significado para la salud, con sus respectivos límites máximos permisibles (LMP)

Substancia	LMP, en miligramos por litro
Arsénico (As)	0.010
Bario (Ba)	0.700
Boro (B)	0.300
Cadmio (Cd)	0.003
Cianuro (CN ⁻)	0.070
Cromo (Cr)	0.050
Mercurio (Hg)	0.001
Plomo (Pb)	0.010
Selenio (Se)	0.010

Tabla III: Límites de sustancias tóxicas. Fuente: Normas COGUANOR, Norma NGO 29001.

2.3 Hidroquímica en Guatemala

La hidroquímica es el estudio de la calidad del agua que abastece tanto a la población como a las industrias. En Guatemala el ente encargado de hacer un estudio hidroquímico es el insivumeh (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología). En el año 2006 se publicó un estudio sobre las propiedades hidroquímicas del agua en distintos ríos de Guatemala.

El informe presentado de calidad del agua de los ríos de la república de Guatemala, contiene información de las características físicas y químicas del agua de 10 ríos donde existen estaciones hidrométricas y que pertenecen a 6 cuencas.

Los ríos de estudio fueron: Motagua, río Grande de Zacapa, Shutaque, San José, Achiguate, Cutzán, Sis, Ican, Nahualate y Madre Vieja. La información corresponde al período enero 2006 a noviembre 2006. En la conclusión general se presenta el rango de concentración promedio de cada característica analizada y el máximo y mínimo valor de concentración detectado durante la investigación. Se tomó como base los promedios anuales de concentración de cada característica, esto se hizo para que el investigador tenga noción del rango en que se encuentra cada característica en los ríos de la República.

2.3.1 Analisis realizados en el laboratorio de hidrología (INSIVUMEH)

2.3.1.1 Características físicas

Las características físicas del agua analizadas en el laboratorio de hidrología del INSIVUMEH y sus límites, tanto el aceptable como el permisible dictaminado por las normas COGUANOR 29001 se encuentran en la tabla IV.

Tabla IV Propiedades físicas del agua

Propiedades Físicas	LMA Límite Máximo Aceptable	LMP Límite Máximo Permissible
Conductividad Eléctrica	50 μ OHM/cm	1500 μ OHM/cm
Color	5.0 (unidad de color en la escala platino – cobalto)	50.0 (unidad de color en la escala platino – cobalto)
Temperatura	18.0 °C	30.0 °C
Turbidez	5.0 u.t.j (unidad Jackson de turbiedad)	25.0 u.t.j (unidad Jackson de turbiedad)
Olor	No rechazable	No rechazable

Sólidos Totales Disueltos	500 mg/L	1500 mg/L
Potencial de Hidrógeno	7.0 pH	8.5 pH

Tabla IV Fuente: Normas COGUANOR, Norma NGO 29001.

2.3.1.2 Características químicas

Las características químicas del agua analizadas en el laboratorio de hidrología del insivumeh y sus límites, tanto el aceptable como el permisibles dictaminados por las normas COGUANOR 29001 se encuentran en la tabla V.

Tabla V Propiedades químicas del agua

Propiedades Físicas	LMA Límite Máximo Aceptable	LMP Límite Máximo Permissible
Hierro	0.100 mg/L	1.000 mg/L
Cadmio	-	0.010 mg/L
Calcio	75.000 mg/L	200 mg/L
Magnesio	50.000 mg/L	150.000 mg/L
Manganeso	0.050 mg/L	0.500 mg/L
Cianuro Liberado	-	0.050 mg/L
Níquel	0.010 mg/L	0.020 mg/L
Cinc	5.000 mg/L	15.000 mg/L
Nitratos	-	45.000 mg/L
Cloruros	200.000 mg/L	600.000 mg/L

Nitritos	-	0.010 mg/L
Cobre	0.050 mg/L	1.500 mg/L
Cromo VI	-	0.050 mg/L
Dureza Total	100.000 mg/L	500.000 mg/L
Sulfatos	200.000 mg/L	400.000 mg/L
Fenol	0.001 mg/L	0.002 mg/L
Fluoruros	-	1.700 mg/L

Tabla V: Fuente: Normas COGUANOR, Norma NGO 29001.

3. METODOLOGÍA

3.1 Muestreo:

Para la realización del muestreo se realizó un reconocimiento del área de estudio localizándose los posibles puntos de muestreo en el mapa, para la investigación se seleccionaron, 6 puntos de toma de muestra distribuidos de la siguiente manera:

1. Las Cuencas del río Grande de Zacapa.
2. Las Cuencas de río Motagua, río Sis-Icán y río Nahualate.
3. Las Cuencas del río Achiguate y río Madre Vieja.

Para la selección se tomó en cuenta la existencia de una estación hidrométrica y que las aguas superficiales sean utilizadas para las descargas de aguas servidas, que abastecieran tanto a comunidades como a la industria en general.

La recolección de las muestras se efectuó una vez, tomando una muestra de agua por punto seleccionado. Se tomó una muestra puntual de 1 litro, cantidad suficiente para realizar los análisis de manera correcta.

Todas las muestras después de realizar los análisis de campo, se colocaron en hieleras con hielo y se transportaron hasta el laboratorio para su posterior análisis, tomando las precauciones necesarias para evitar una contaminación. Al momento de llegar la muestra al laboratorio, se refrigeró y conservó a 5° C.

3.1.1 Localización de cuencas y puntos de toma de muestra de agua

Las muestras de agua para el análisis del arsénico en agua se tomaron de los puntos dados en la siguiente tabla:

Tabla VI Puntos de muestreo de agua

No.	NOMBRE DE CUENCA	CUENCA No.	PUNTO DE MUESTREO ESTACIÓN	RIO	LATITUD NORTE	LATITUD OESTE
1	MOTAGUA	2.2	GUALAN	MOTAGUA	15° 07' 00"	- 89° 21' 23"
2	GRANDE DE ZACAPA	2.1	CAMOTAN	GRANDE DE ZACAPA	14° 49' 20"	- 89° 22' 27"
3	ACHIGUATE	1.12	CENIZAS	ACHIGUATE	14° 16' 05"	- 90° 53' 45"
4	NAHUALATE	1.7	MONTE CRISTO	CUTZAN	14° 28' 46"	- 91° 21' 31"
5	SIS-ICAN	1.6	LA MAQUINA	SIS	14° 18' 48"	- 91° 36' 15"
6	MADRE VIEJA	1.9	PATULUL	MADRE VIEJA	14° 26' 10"	- 91° 09' 20"

Referencia: Mapa de Guatemala. Escala 1: 50,000. Insivumeh.

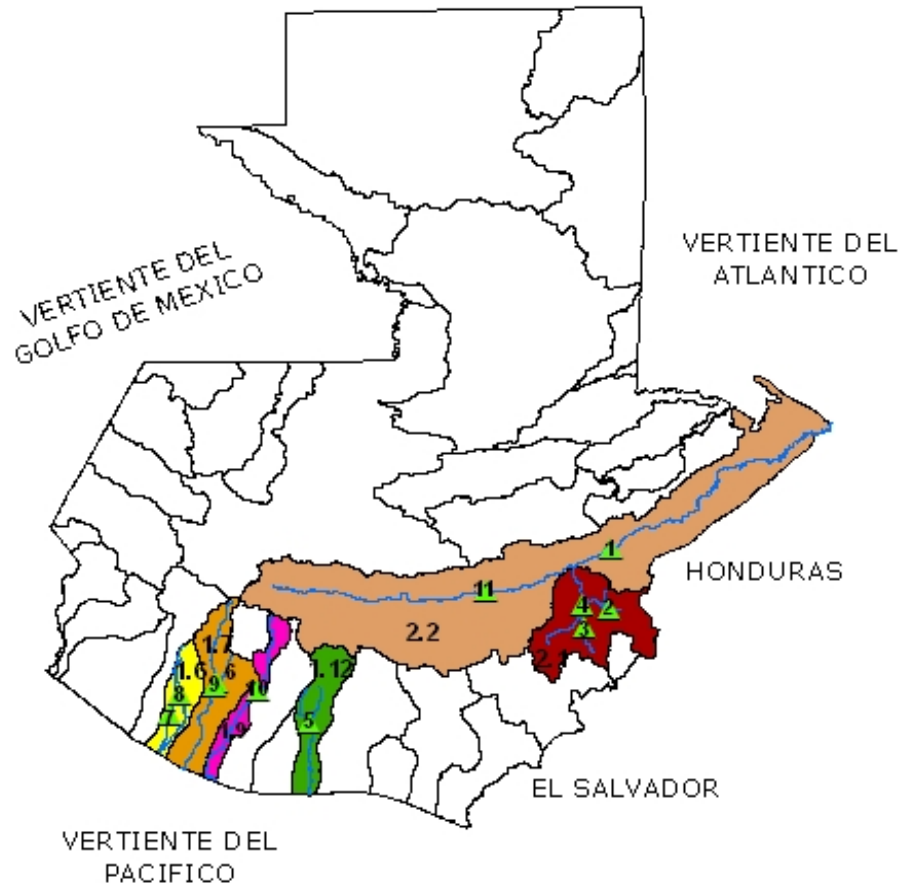
3.1.2 Tratamiento de los recipientes y método de preservación

Los recipientes de vidrio de 1 L donde se efectuó la toma de muestras fueron previamente tratados con 3 lavados de ácido nítrico puro por 3 minutos, luego se dejaron 24 horas en 100 mL de ácido clorhídrico al 50 %, por último fueron lavados con varios enjuagues de agua desmineralizada, y por último se mantuvieron cerrados en una refrigeradora.

Para preservar todas las muestras después de realizados los análisis de campo, se colocaron en hieleras con hielo y se transportaron hasta el laboratorio para su posterior análisis, tomando las precauciones necesarias

para evitar una contaminación. Al momento de llegar la muestra al laboratorio, se refrigeró y conservó a 5° C

3.1.3 Mapa de muestreo



3.2 Determinación de arsénico en agua

3.2.1 Métodos cualitativos

Existen diversas formas para determinar el arsénico en el agua, todos los compuestos del arsénico son tóxicos. Existen dos tipos de compuestos de arsénico:

- Los compuestos arseniosos que provienen del óxido arsenioso anfótero As_2O_3 , que forman sales con los ácidos fuertes.

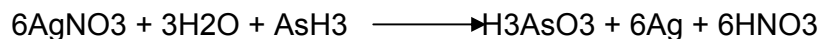
- Los compuestos arsénicos que corresponden al pentóxido, As₂O₅.

Las siguientes reacciones son aplicables a todos los compuestos de arsénico y son los métodos que se utilizaron para determinar el arsénico en el agua de los ríos muestreados.

3.2.1.1 Reacción de Gutzeit

Es en esencia una modificación del ensayo de Marsh; la principal diferencia consiste en que sólo se requiere un tubo de ensayo y la arsina se reconoce por medio de nitrato de plata o cloruro mercuríco. La reacción tiene un límite de detección de 0.5 µg/l , el límite máximo permisible de arsénico en agua, por esta razón es un método completamente aplicable al estudio a realizar.

La reacción de esta técnica es la siguiente:



3.2.1.1.1 Reactivos

- Zinc Metálico (Zn⁰) Grado reactivo
- Ácido Sulfúrico (H₂SO₄) Grado reactivo
- Acetato de Plomo ((CH₃-COO)₂Pb) Grado reactivo
- Nitrato de Plata (AgNO₃) Grado reactivo

3.2.1.1.2 Equipo

- Tubo de ensayo
- Papel filtro

3.2.1.1.3 Soluciones:

Ácido Sulfúrico al 25 % (H₂SO₄)

Agregar aproximadamente 50 mL de agua purificada en un balón volumétrico de 100 mL, luego agregar lentamente 25 mL de ácido sulfúrico (95 %), dejar enfriar el balón, aforar con agua y homogenizar la solución.

Acetato de Plomo al 1 % ((CH₃-COO)₂Pb)

Pesar exactamente 1 g de acetato de plomo ((CH₃-COO)₂Pb), agregar en un balón de 100 mL, agregar agua al balón en suficiente cantidad para disolver el acetato de plomo, aforar el balón con agua y homogenizar la solución.

Nitrato de Plata al 50 %:

Pesar 5 g de Nitrato de Plata (AgNO₃) y colocarlos en un balón de 10 mL, disolver y aforar con agua.

3.2.1.1.4 Procedimiento:

1. Se coloca en el tubo de ensayo 0.2 gramos de zinc libre (Zn⁰) de arsénico.
2. Luego se agrega 1 ml de ácido sulfúrico al 25 % (H₂SO₄), se tapa el tubo flojamente con algodón embebido en solución de acetato de plomo al 1%.
3. Se cubre con un papel de filtro humedecido con solución de nitrato de plata con concentración no menor del 50 %. Puede ser necesario calentar suavemente el tubo para producir un desprendimiento regular de hidrógeno.
4. Después de unos 2 minutos, se retira el papel de filtro y se examina la parte que cubría el tubo de ensayo; generalmente se obtiene una mancha pardo clara debida los vestigios de arsénico que contienen los reactivos.

5. Se quita el tapón de algodón, se agrega 1 ml de la solución en análisis, se vuelve a colocar de nuevo el algodón y el papel de nitrato de plata, colocando éste de modo que cubra el tubo con una nueva porción de su superficie.
6. Después de 2 minutos, se quita el papel de filtro y se compara las dos manchas. Si hay mucho arsénico presente, la segunda mancha en el papel filtro aparece negra debido a la plata (Ag^0) liberada por la reacción.

3.2.1.2 Método de la USP (Farmacopea de Estados Unidos)

La determinación de Arsénico en este método se basa igual que en el método anterior en la conversión del arsénico en arsina, la cual se determina al pasarla en forma gaseosa a través de una solución de dietilditiocarbamato de plata, esto produce un complejo de color rojo que puede ser comparado visualmente o espectrofotométricamente contra el producido por una solución estándar de arsénico preparada bajo las mismas condiciones. El límite de arsénico del estándar debe ser el mismo que el de la sustancia a analizar, es decir 10 ppb.

3.2.1.2.1 Química del método

El arsénico se encuentra disuelto en el agua en dos formas, el arsenito ($\text{As}+3$) y el arsenato ($\text{As}+5$), el método de la farmacopea estadounidense USP 30 NF 45 consiste en reducir el arsenato a arsenito por medio de la reacción con cloruro estañoso y un medio ácido, en este caso con ácido sulfúrico.

Luego se agrega Zinc metálico lo que permite que se genere la arsina, compuesto gaseoso que al entrar en contacto con dietilditiocarbamato de plata forma un complejo que produce un color rojo.

El método tiene un límite de detección de 5 µg/L (5 ppb) y es un método presuntivo de carácter cualitativo.

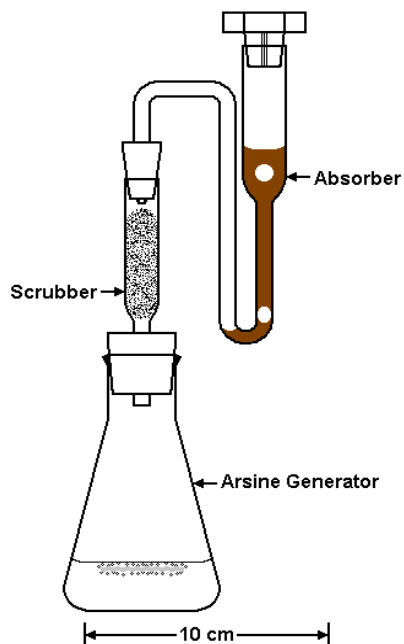
3.2.1.2.2 Reactivos

- Dietilditiocarbamato de Plata (C₅H₁₀AgNS₂) Grado reactivo
- Cloruro Estañoso (SnCl) Grado reactivo
- Acetato de Plomo ((CH₃-COO)₂Pb) Grado reactivo
- Yoduro de Potasio (KI) Grado reactivo
- Zinc Granular (Zn⁰) Grado reactivo
- Hidróxido de Sodio (NaOH) Grado reactivo
- Trióxido de Arsénico (As₂O₃) Grado reactivo
- Agua Purificada desmineralizada
- Piridina (C₅H₅N) Grado reactivo
- Ácido Clorhídrico concentrado (HCl) Grado reactivo
- Isopropanol (C₃H₇OH) Grado reactivo
- Ácido Sulfúrico concentrado (H₂SO₄) Grado reactivo

3.2.1.2.3 Equipo

- Balanza analítica
- Campana de extracción
- Aparato generador de arsina. (Ver imagen)
 1. Generador de arsina.
 2. Unidad depuradora.
 3. Tubo de absorción.

Equipo Generador de arsina



3.2.1.2.4 Precauciones

- Realizar el análisis en campana de extracción.
- El arsénico es venenoso y la piridina cancerígena.

3.2.1.2.5 Soluciones

Hidróxido de Sodio 1 en 5 (NaOH)

Disolver 10 g de Hidróxido de Sodio en 50 mL de agua.

Ácido Sulfúrico 2 N (H₂SO₄)

Transferir 300 mL de agua purificada a un balón de 500 mL y agregar cuidadosamente 30 mL de ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄). Esperar que llegue a temperatura ambiente y llevar a volumen con agua purificada.

Solución stock de trióxido de arsénico

1. Mortear y secar en el horno a 105 °C durante 1 hora el trióxido de arsénico.
2. Pesar cuantitativamente 132 mg de trióxido de arsénico en un beaker de 50 mL y disolverlo en 5 mL de solución de hidróxido de sodio 1 en 5.
3. Neutralizar la solución con ácido sulfúrico 2 N y agregar 10 mL extras de ácido sulfúrico 2 N.
4. Transferir la solución a un balón volumétrico de 1000 mL, lavar las paredes del beaker con agua recién hervida y enfriada y agregarlas al balón.
5. Llevar a volumen con agua purificada y homogenizar.

Solución estándar de trióxido de Arsénico

1. Transferir 10 mL de la solución stock a un balón de 1000 mL.
2. Luego agregar 10 mL de ácido sulfúrico 2 N y aforar con agua hervida y recién enfriada.

Ácido Sulfúrico 7 N

1. Agregar 150 mL de agua purificada en un balón de 250 mL.
2. Luego agregar lentamente 50 mL de ácido sulfúrico concentrado. Esperar que la temperatura baje hasta la temperatura ambiente y llevar a volumen con agua purificada.

Solución de Yoduro de Potasio

1. Pesar 8.25 g de Yoduro de Potasio KI y disolverlo en 50 mL de agua purificada.

Solución de Cloruro Estañoso

1. Disolver 1 g de cloruro estañoso dihidratado en 2.5 mL de ácido clorhídrico (HCL 36.5 %).

Solución saturada de acetato de plomo

Pesar en un beaker 49 g de acetato de plomo y disolverlo en 100 mL de agua purificada. Con esta solución preparar el algodón de la siguiente manera: Atomizar el algodón con la solución de acetato de plomo, liberar el exceso de la solución y secar el vacío a temperatura ambiente.

Solución de Dietilditiocarbamato de plata:

Disolver 40 mg de dietilditiocarbamato de plata en 8 mL de piridina. Almacenar en un frasco ambar.

3.2.1.2.6 Procedimiento para la preparación de muestra y estándar

Preparación del estándar de Trióxido de Arsénico

1. Transferir 3 mL de la solución estándar de trióxido de arsénico al frasco generador.
2. Agregar 35 mL de agua y homogeneizar.

Preparación de la muestra

Agregar al generador la cantidad de muestra en gramos o mililitros esta mediante la fórmula $3.0 / L$ en donde L es el límite de arsénico permisible en ppm. Disolver en agua purificada y completar a 35 mL.

3.2.1.2.7 Procedimiento para correr la prueba

El estándar y la muestra se deben preparar de la misma manera, la cual es la siguiente:

1. Agregar al frasco generador 20 mL de ácido sulfúrico 7 N, 2 mL de solución de Yoduro de Potasio TS, 0.5 mL de solución de Cloruro Estañoso y 1 mL de Isopropanol.
2. Mezclar y dejar reposar a temperatura ambiente durante 30 minutos.
3. Empacar el tubo depurador con dos algodones saturados en acetato de plomo, tratando de no apretar demasiado los algodones y dejando un espacio de 2 mm entre cada uno de ellos.
4. Fijar el tubo de absorción en un soporte, lubricar las uniones y unirlo a la pinza.
5. Agregar 3 mL de la solución de dietilditiocarbamato de plata al tubo de absorción y 3 g de zinc al frasco generador.
6. Conectarlos inmediatamente durante 45 minutos permitiendo así la generación de gas.
7. Comparar la diferencia de color adquirido en las soluciones de dietilditiocarbamato de plata del estándar y de la muestra.

3.2.1.2.8 Factores químicos que interfieren en el método

Los compuestos que interfieren en el método de la farmacopea estadounidense USP 30 NF 25 son las sales metálicas y los metales tal es el

caso de el cobalto, el cobre, el mercurio, molibdeno, niquel, paladio y la plata, estos metales pueden interferir con la generación de arsina.

El antimonio interfiere de manera distinta ya que forma la estibina, esta produce una interferencia positiva en la formación del color rojo con el dietilditiocarbamato de plata; por ello cuando se sospecha la presencia de antimonio se debe de determinar la absorbancia a una longitud de onda entre 535 nm y 540 nm con un colorimetro.

3.2.1.3 Límite de detección de arsénico

A continuación se lista la tabla con los límites de detección de arsénico de los diferentes métodos existentes según el estudio “Arsénico en aguas, origen movilidad y tratamiento”

Tabla VII Límites de detección de arsénico por métodos de análisis

Método	Límite de detección
Gutzeit mejorado*	0,5 µg/l
Dietilditiocarbamato de plata	5 µg/l
Azul de molibdeno*	1 – 15 µg/l
Generación de hidruros-AAS**	0,1 µg/l
Generación de hidruros-ICP-OES**	0,1 µg/l
ETAAS**	0,5 µg/l
ICP-MS**	0,03 µg/l
Fluorescencia de rayos X (preconcentración sobre sustrato sólido)*	50 µg/l
Voltametría Anódica*	0,05 – 0,5 µg/l
Electroforésis Capilar (detección UV indirecta)*	1 µg/l

* (Melamed, 2005); ** (Hung et al., 2004)

4. RESULTADOS

4.1 Sumario

Se procedió a analizar las muestras de 6 puntos diferentes de aguas superficiales del país de Guatemala, los puntos de toma de muestra fueron:

Tabla VIII Muestras analizadas

No.	NOMBRE DE CUENCA	RIO
1	MOTAGUA	MOTAGUA
2	GRANDE DE ZACAPA	GRANDE DE ZACAPA
3	ACHIGUATE	ACHIGUATE
4	NAHUALATE	CUTZAN
5	SIS-ICAN	SIS
6	MADRE VIEJA	MADRE VIEJA

Ref. Tabla VIII Puntos de muestreo de agua.

4.2 Resultados del Método

Los resultados del método USP 30 NF 25 para las aguas superficiales de los puntos mencionados se dan en la tabla IX.

Tabla IX Resultados de las pruebas del método

No.	RIO	Color de la solución	Resultado	Observaciones
Estándar	-	Rojo pálido	-	-
1	MOTAGUA	Amarillo	Negativo	Ver Anexo 1.
2	GRANDE DE ZACAPA	Amarillo	Negativo	Ver Anexo 1.
3	ACHIGUATE	Violeta	Positivo	El algodón tomó un color negro. Ver Anexo 1.
4	NAHUALATE	Amarillo	Negativo	Ver Anexo 1.
5	SIS	Amarillo	Negativo	Ver Anexo 1.

6	MADRE VIEJA	Amarillo	Negativo	Ver Anexo 1.
---	----------------	----------	----------	--------------

4.3 Interpretación de los resultados del Método

El método USP 30 NF 25 es un método comparativo en el cual se compara el color final de cada corrida (muestra y estándar) que se obtiene en la solución de dietilditiocarbamato de plata, si el color de la muestra es igual o más intenso que el color del estándar, entonces concluiremos que el agua analizada excede el límite permisible de arsénico, si por lo contrario es menos intenso podemos concluir que el agua analizada no contiene más de la cantidad permisible de arsénico establecido por las normas COGUANOR (0.01 ppm).

Para determinar la cantidad de muestra a analizar se siguió con el procedimiento descrito en el inciso 3.2.1.2.6 Procedimiento para la preparación de muestra y estándar que consiste en realizar el cálculo $3 / L$ donde L es el límite de arsénico permisible, en este caso 0.01 ppm. De esta ecuación tenemos.

$$\text{mL muestra} = \frac{3}{0.01 \text{ ppm}} = 300 \text{ mL de muestra}$$

Es decir que de cada muestra debemos analizar 300 mL, según el procedimiento descrito en el inciso 3.2.1.2.6 debemos de utilizar únicamente 35 mL, por lo que se procedió a concentrar la solución de 300 mL a 35 mL por medio de evaporación, esto es posible debido a que el arsénico no se pierde por evaporación por lo contrario se concentra más.

Los resultados obtenidos nos muestran que las muestras de las aguas superficiales de los ríos Motagua, Río Grande, Nahualate, Sis y Madre Vieja se encuentran exentos de la presencia de arsénico en mayores cantidades de 10 ppm, esto debido a que en ninguna de las repeticiones de

cada muestra se obtuvo una coloración más intensa que en la solución de dietilditiocarbamato de plata del estándar.

Sin embargo, la muestra del agua superficial del río Achiguate salió presuntamente con cantidades de arsénico que exceden las 0.01 ppm. Por lo que se prosiguió a evaluar si esta agua contiene antimonio, elemento que interfiere directamente con el método ya que genera la estibina la cual reacciona de la misma forma que la arsina con la solución de dietilditiocarbamato de plata, el resultado de la prueba de antimonio fue negativo con ello se corroboró que no hubiera interferencia en el método evaluado.

CONCLUSIONES

1. El método “Arsénico” que se encuentra en la farmacopea estadounidense USP Edición 30 NF 25 es un método de detección presuntivo y cualitativo.
2. El método “Arsénico” propuesto en la farmacopea estadounidense USP Edición 30 NF 25 es suficientemente sensible para identificar el límite permisible de arsénico según las normas COGUANOR.
3. El método presentado es un método de comparación de color visual, ya que compara la intensidad del color del estándar contra la intensidad del color de la muestra sin necesidad de utilizar un espectrofotómetro.
4. No es necesario utilizar equipos de colorimetría, ya que la diferencia entre colores, según sea el resultado de la prueba positivo o negativo es notorio a simple vista.
5. Para toda confirmación de la presencia de arsénico en agua se deben de utilizar métodos más tecnológicos como el método de absorción atómica o el de intercambio iónico.
6. El método “Arsénico” de la farmacopea estadounidense USP Edición 30 NF 25 sí es un método viable para evaluar presuntamente la presencia de arsénico en aguas superficiales.

RECOMENDACIONES

1. Se sugiere utilizar el método de la farmacopea estadounidense USP 30 NF 25 para una detección presuntiva de arsénico en aguas superficiales.
2. Se recomienda filtrar el agua superficial con filtros de 100 μm de diámetro para retirar los sólidos disueltos y que estos no interfieran con el método.
3. Es aconsejable utilizar el método de la farmacopea estadounidense USP 30 NF 25 para una detección presuntiva de arsénico en la evaluación de materias primas para su uso industrial.
4. Se sugiere monitorear la presencia de arsénico en las aguas superficiales en el país de Guatemala.

BIBLIOGRAFÍA

1. Galindo G., Fernández Turiel J., Torrente D. J., **Arsénico en agua: origen y movilidad y tratamiento**, IV Congreso Hidrogeológico Argentino, Río Cuarto, 2005. Pág. 1-15
2. Skoog Douglas *et al.* **Química Analítica**. 7ª. Edición. México McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. 2001. Pág. 51
3. **The United States Pharmacopeia USP Edición 30 NF 25**. United States Pharmacopeia Convention, Inc. 2004. Pág. 1856
4. Comisión Guatemalteca de Normas, **COGUANOR, NGO 29-001: ISO 2000**, Ministerio de Economía, Guatemala, Septiembre, 2003. Pág. 14
5. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, **Reporte calidad del agua de los ríos de la republica de Guatemala**, Departamento de Investigación y servicios Hídricos, Guatemala, 2007.
<http://www.insivumeh.gob.gt/folletos/folletos.html>

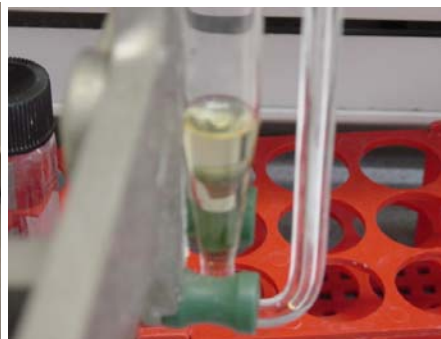
ANEXOS

Muestra No. 1
Río Motagua

Análisis Comparativo

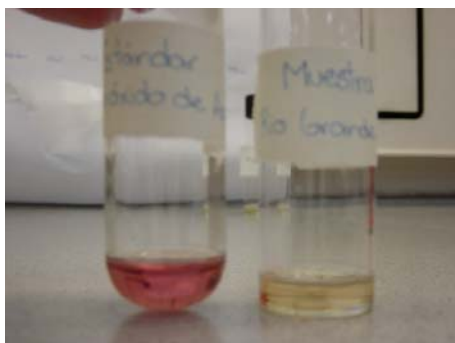


Muestra durante el análisis

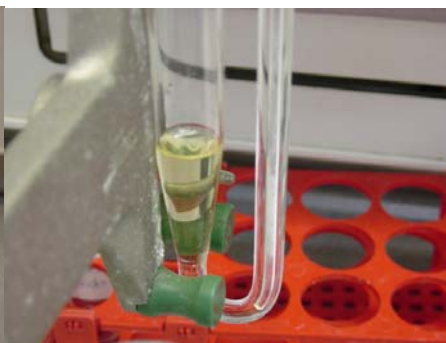


Muestra No. 2
Río Grande Zacapa

Análisis Comparativo



Muestra durante el análisis



Muestra No. 3
Río Achiguate.

Análisis Comparativo

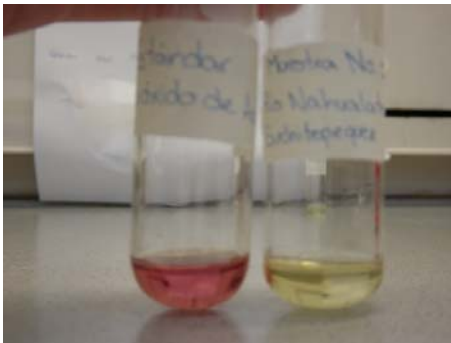


Muestra durante el análisis

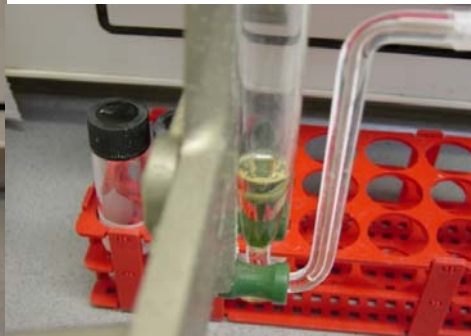


Muestra No. 4
Río Nahualate

Análisis Comparativo

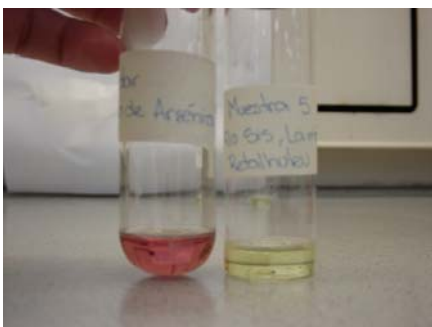


Muestra durante el análisis



Muestra No. 5
Río SIS – ICAN

Análisis Comparativo



Muestra durante el análisis



Muestra No. 6
Río Madre Vieja

Análisis Comparativo

Muestra durante el análisis

