

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA

**EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DEL DIGITAL ARSENIATOR®
(PRUEBA IN-SITU DE ARSÉNICO) COMPARADA CON UN MÉTODO
VALIDADO DE UN LABORATORIO CERTIFICADO, EN LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE ARSÉNICO DEL PROYECTO MINERO CERRO
BLANCO, ASUNCIÓN MITA, JUTIAPA**

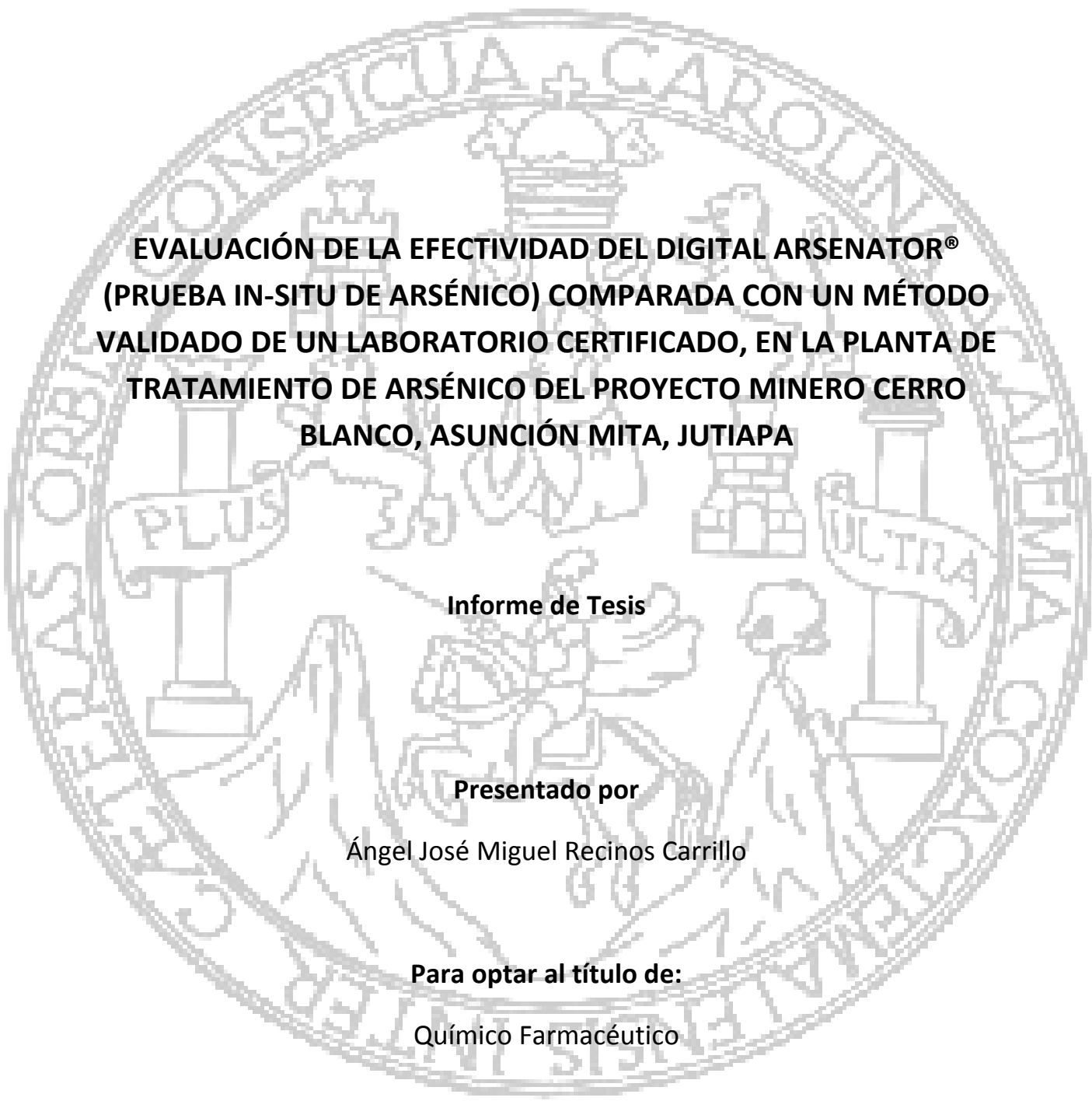
Ángel José Miguel Recinos Carrillo

Químico Farmacéutico

Guatemala, Mayo de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA



**EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DEL DIGITAL ARSENIATOR®
(PRUEBA IN-SITU DE ARSÉNICO) COMPARADA CON UN MÉTODO
VALIDADO DE UN LABORATORIO CERTIFICADO, EN LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE ARSÉNICO DEL PROYECTO MINERO CERRO
BLANCO, ASUNCIÓN MITA, JUTIAPA**

Informe de Tesis

Presentado por

Ángel José Miguel Recinos Carrillo

Para optar al título de:

Químico Farmacéutico

Guatemala, Mayo de 2012

JUNTA DIRECTIVA

Oscar Manuel Cóbar Pinto, Ph.D.	Decano
Lic. Pablo Ernesto Oliva Soto, M.A.	Secretario
Licda. Liliana Vides de Urizar	Vocal I
Dr. Sergio Alejandro Melgar Valladares	Vocal II
Lic. Luis Antonio Gálvez Sanchinelli	Vocal III
Br. Fausto René Beber García	Vocal IV
Br. Carlos Francisco Porras López	Vocal V

DEDICATORIA

A Dios: Por brindarme salud y vida para lograr este éxito.

A mis Padres: Odilia y Miguel Ángel, con cariño y agradecimiento especial por demostrarme su amor, brindándome su apoyo incondicional.

A mis Hermanos: Héctor Arnoldo (Q.E.P.D) y Osman Geovanny, por su apoyo y cariño.

A mi Esposa: Cintia Melina, por su amor, comprensión y apoyo para lograr este éxito.

A mi Hijo: Miguelito, por ser mi inspiración, con amor.

A mis Abuelos: Berta (Q.E.P.D), Isabel (Q.E.P.D), Alberto (Q.E.P.D) y Luis, por su amor, ternura, sabiduría, tiempo y dedicación.

A mi Suegros: Mayra y Jorge, agradecimiento especial por el apoyo que me ha brindado.

A mi Sobrinos: María José, Maricruz, Cindy y Héctor, con mucho cariño.

A mi Primo: Guillermo Enrique, por su confianza y apoyo incondicional.

A mis Tíos: Mary, Edgar, Vilma, Alejandro, Rene, Jaime y Cindy, por cariño.

A mis Amigos y Compañeros: Jorge, Jhonny, Felipe, Byron, Pablo, Sergio, Rafael, Karla, Tuliana, Sofí, Nathy, Marielos, Jhonatan, Gregory, Cinthya y Diana. Recordándolos con cariño, por los momentos compartidos.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de San Carlos de Guatemala

A la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia

Al Proyecto Minero Cerro Blanco por confiar en mí y facilitarme los medios para la realización de la investigación, en especial al Ing. Qco. Werner O. Valiente M.

A todas las personas que colaboraron con la realización de esta investigación, en especial a Licda. Patricia Navas.

A la Licenciada Julia Amparo García Bolaños, por su asesoría y apoyo en la realización de esta investigación.

A la Licenciada Carolina Guzmán Quilo, por su revisión y ayuda en esta investigación.

ÍNDICE

CONTENIDO	No. PAGINA
1. Resumen	01
2. Introducción	02
3. Antecedentes	03
4. Justificación	05
5. Objetivos	06
4.1.General	06
4.2.Específico	06
6. Hipótesis	08
7. Materiales y Métodos	08
6.1.Universo de la muestra	08
6.2.Muestra	08
6.3.Materiales	08
6.3.1.Recursos Humano	08
6.3.2.Recursos Materiales	08
6.3.3.Reactivos	08
6.3.4.Cristalería	09
6.3.5.Recursos Institucionales	09
6.4.Método	09
6.4.1.Procedimiento del análisis	09
6.4.1.1. Preparación de Curva de Calibración	09
6.4.1.2. Condiciones de trabajo	10
6.4.1.3. Procedimiento	10

6.4.2. Diseño de la Investigación	10
6.4.2.1. Diseño metodológico	10
6.4.2.2. Muestreo	11
8. Resultados	12
9. Discusión	16
10. Conclusiones	19
11. Recomendaciones	20
12. Referencias	21
13. Anexos	25

1. RESUMEN

En el presente estudio se evaluó la efectividad del Digital Arsenator® (Prueba *in-situ*) de la marca Wagtech International comparándola con un método validado (Espectrometría de Masa con Plasma de Acoplamiento Inductivo) de un laboratorio certificado (laboratorios ACZ, USA), con el fin de demostrar la validez de los datos obtenidos en los controles diarios de la planta de tratamiento de arsénico en el Proyecto Minero Cerro Blanco, Asunción Mita, Jutiapa. Para dicho propósito se analizaron 30 muestras de arsénico en agua en la salida de la planta; las mismas fueron comparadas con las del laboratorio certificado, para determinar su validez se analizó con la prueba de T pareada. Así mismo, se realizó una curva de calibración para el Digital Arsenator® en su rango de lectura, determinándose 5 patrones; para su análisis estadístico se aplicó regresión lineal.

En los resultados comparativos de la cuantificación de arsénico por medio del Digital Arsenator® (Prueba *in-situ*), se encontró una media de 0.0273 ppm, con dos desviaciones estándar de 0.0303 y un coeficiente de variación de 55.48%. En el método validado del laboratorio certificado (laboratorios ACZ, USA), se obtuvo una media 0.0261ppm, dos desviaciones estándar de 0.0133 y un coeficiente de variación de 51.05%. También se obtuvo una desviación estándar del Digital Arsenator® comparada con el Laboratorio Certificado del 0.0036, una “t” pareada de 0.2908.

Los resultados indican que Digital Arsenator® permite la cuantificación de arsénico con una precisión aceptable (C.V. menor al 20%). Sin embargo, este método de análisis no sustituye en precisión ni en exactitud a un método instrumental.

Se recomienda la Implementación de la estandarización de procedimientos de lectura y calibración del equipo para lograr mayor precisión y exactitud.

2. INTRODUCCIÓN

Guatemala es un país latinoamericano en vías de desarrollo, que cuenta con recursos minerales en gran parte del territorio nacional. Por ello, en los últimos años se ha aumentado la demanda minera en nuestro país, para poder extraer y aprovechar éstos recursos minerales. Una de estas industrias es la Empresa Entre Mares de Guatemala perteneciente a la Transnacional Goldcorp de Canada, que desarrolla el Proyecto Minero Cerro Blanco, ubicado en el suroriente del territorio nacional, en el municipio de Asunción Mita, Jutiapa; la cual se encuentra ubicada en una zona geotermal idónea para exploración minera, debido a sus alteraciones geoquímicas.

El arsénico es un metaloide que se encuentra asociado naturalmente a este tipo de zonas con concentraciones por arriba de los límites permisibles, los cuales pueden ser muy tóxicos para el ser humano y el medio ambiente.

Para la eliminación de este metaloide es de suma importancia la construcción de plantas de tratamiento o de eliminación de arsénico, para reducir las concentraciones por debajo de los estándares, como los del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala (MARN) y del Banco Mundial (BM), el cual es para ambos de $<0.1\text{mg/L}$ (ppm), para poder descargar al ambiente. (MARN, 2007) (BM, 2005)

Los controles de las concentraciones de arsénico en la planta de tratamiento del Proyecto Minero Cerro Blanco se realizan con análisis *In-Situ* (Digital Arsenator® de la marca Wagtech International) y controles mensuales en un laboratorio certificado en el extranjero (laboratorios ACZ, USA).

La evaluación de los análisis *In-Situ* con el Digital Arsenator® nos permite determinar la correcta operación de la planta de tratamiento de dicha empresa. Para ello, se realizó una comparación de los resultados obtenidos en la prueba *In-Situ* con los del Laboratorio ACZ, USA.

3. ANTECEDENTES

3.1 Estudios Relacionados

3.1.1 Safarzadeh-Amiri, A. (2010). "VALIDATION OF ANALYSIS OF ARSENIC IN WATER SAMPLES USING WAGTECH DIGITAL ARSENIATOR" Este estudio muestra la importancia de la utilización de pruebas *in-situ* de arsénico en regiones donde las fuentes de agua se encuentran contaminadas por encima de los límites permisibles (≥ 0.05 mg/L) como lo es la región de Bangladesh. La utilización del Digital Arsenator de la marca Wagtech es capaz de generar resultados cuantitativos, precisos y fiables. El instrumento tiene un rango lineal de 0-0.1 mg / L, con una precisión de $\pm 20\%$ para los 0.05 mg / L normas de control de calidad, y un límite de detección de alrededor de 0.0044 mg / L. Todos los Arsenators empleados en esta investigación también muestra un sesgo alto por 0.05 mg / L y la norma de arsénico fueron calibrados con el fin de mejorar la precisión de la medición y confiabilidad. Los análisis de las aguas tratadas y de campo, en dos laboratorios de análisis se encontró que una alta correlación con el coeficiente de correlación de Spearman de ≥ 0.800 , lo que indica que los resultados Arsenator son quizás tan precisos y fiables como los de los laboratorios de análisis.

3.1.2 Pineda Ortiz, J. (2009) "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". Esta investigación 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.

3.1.3 Morand, Enzo (2005) "DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA POR ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA CON GENERACIÓN DE HIDRURO (HG-AAS)". En este estudio se determinó que los mejores resultados en la determinación de arsénico por HG-AAS en continuo, para el sistema estudiado, se logran cuando se trabaja con concentraciones de ácido clorhídrico 2 M, borohidruro de sodio al 1% y con un flujo de gas de arrastre (Argón) de 100 ml min^{-1} , siempre que se mantengan las condiciones operativas del ensayo.

3.1.4 Galetovic A. (2003) "ARSÉNICO EN EL AGUA DE BEBIDA: UN PROBLEMA DE SALUD PÚBLICA". Este estudio determina que el arsénico es un contaminante ambiental grande y que causa grandes problemas a la salud de los seres humanos. En este estudio la *Environmental Protection Agency (EPA)* determina que el contenido de arsénico en agua de bebida debe estar en $50 \mu\text{g/L}$, y que la utilización de biomarcadores permite el desarrollo de la epidemiología molecular que promete ser una herramienta que ayudará a detectar efectos tempranos en poblaciones expuestas, permitiendo la prevención de efectos nocivos considerando las características genéticas de las poblaciones.

4. JUSTIFICACIÓN

El arsénico es un metaloide de alta toxicidad para el medio ambiente y el ser humano, cuando sus concentraciones se encuentran por arriba de los límites permisibles. Este metaloide regularmente se encuentra asociado a minerales en áreas geotermales. Debido a que el proyecto minero Cerro Blanco, se encuentra en una zona geotermal del Departamento de Jutiapa, el agua que aflora naturalmente y que es extraída de los pozos de desagüe de la mina, contiene este metaloide, por lo cual es necesario eliminarlo, llevándolo a una concentración por debajo de las normas nacionales e internacionales, para poder utilizarse este recurso y descargar el excedente.

El control diario de la planta se realiza analizando muestras de salida por medio de prueba *in-situ*, al igual que un monitoreo mensual utilizando un laboratorio internacional certificado. El control *in-situ* de la operación de la planta es realizado por medio de un equipo digital (Digital Arsenator® de la marca Wagtech International) y para los controles mensuales se envían muestras de agua de la entrada y salida de la planta a un laboratorio en el extranjero. En este punto, los resultados de las muestras enviadas demoran de 15 a 20 días en ser recibidos.

Por lo anterior es de suma importancia determinar la certeza o exactitud del equipo utilizado en los análisis *In-Situ* de la planta de tratamiento. Esto se realizó haciendo una curva de calibración del equipo y comparando resultados del mismo con los resultados del laboratorio ACZ, USA.

5. OBJETIVOS

5.1 GENERAL:

- Evaluar la efectividad del Digital Arsenator® (prueba *in-situ* de arsénico) comparada con un método validado de un laboratorio certificado, en la planta de tratamiento de arsénico del Proyecto Minero Cerro Blanco, Asunción Mita, Jutiapa.

5.2 ESPECIFICOS

- Comparar el método de prueba *In-Situ* de arsénico (Digital Arsenator®) con el método analítico validado del laboratorio certificado.
- Determinar la equivalencia entre la prueba *In-situ* de arsénico con la del método analítico validado.

6. HIPÓTESIS

Los resultados obtenidos por el Digital Arsenator® (prueba *In-Situ* de arsénico) en el laboratorio de la Planta de Tratamiento de Arsénico del Proyecto Minero Cerro Blanco, son equivalentes con el método analítico del Laboratorio certificado ACZ, USA.

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Universo de la trabajo:

- El Proyecto Minero Cerro Blanco, Asunción Mita, Jutiapa

7.2 Muestra:

- 30 Muestras de agua de la salida de la planta de tratamiento de arsénico.

7.3 Materiales:

7.3.1 Recursos Humano:

- Tesista: Br. Ángel José Miguel Recinos Carrillo
- Asesor: Licda. Julia Amparo García Bolaños M.A.
- Coasesor: Ing. Qco. Werner O. Valiente Mazariegos
- Revisora: M.Sc. Carolina Guzmán

7.3.2 Recursos Materiales:

- Aparato Digital Arsenator® (prueba in-situ de arsénico)
- Certificación de validación del método, certificación del estándar, certificación de calibración del aparato y los resultados de las pruebas realizadas.
- Equipo de computación
- Software office 2007
- Hojas Papel Bond para la elaboración de los resultados obtenidos.
- Equipo de laboratorio
- Análisis de muestras, Proyecto Minero Cerro Blanco, Asunción Mita, Jutiapa.

7.3.3 Reactivos:

- Estándar de arsénico USP
- Reactivos para uso del Digital Arsenator®

- Agua destilada
- HNO₃ 50% P/P (preservarte de muestras)

7.3.4 Cristalería:

- Balones aforados de 250 y 500 mL
- Beakers de 500mL
- Pipetas volumétricas de 1, 2, 5, 10, 20 Y 50mL

7.3.5 Recursos Institucionales

- Laboratorio ACZ, Estados Unidos
- Laboratorio Químico de la Planta de Tratamiento del Proyecto Minero Cerro Blanco
- Proyecto Minero Cerro Blanco de Asunción Mita, Jutiapa.
- Biblioteca Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Biblioteca de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Biblioteca Departamento de Toxicología, Escuela de Química Farmacéutica, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

7.4 Método:

7.4.1 Procedimiento del análisis:

7.4.1.1. Preparación de Curva de Calibración:

Pesar aproximadamente 0.5 mg de arsénico USP en un balón volumétrico de 500 mL, disolver y aforar con agua destilada. Transferir una alícuota de 20, 20, 5, 5 y 1 mL a balones volumétricos de 250, 500, 500, 1000 y

500 mL respectivamente y aforar con agua destilada, para la realización de la curva de calibración.

7.4.1.2 Condiciones de trabajo:

- Medio de disolución: agua destilada
- Aparato: Digital Arsenator®
- Tiempo: toma de 3 muestras por 10 días.

7.4.1.3 Procedimiento:

Toma de muestras en los puntos críticos (salida de planta de arsénico), para determinar la concentración de arsénico presente, para ello se midió la concentración con el equipo Digital Arsenator® (prueba *in-situ* de arsénico), 3 muestras en 10 días y posteriormente las muestras se sellaron y preservaron con HNO₃, las cuales fueron enviadas al laboratorio certificado en Estados Unidos. A los datos obtenidos se les realizaron los análisis de resultados correspondientes.

Se realizó la curva de calibración para el aparato Digital Arsenator® con la medición de 5 patrones (0.08, 0.04, 0.01, 0.005 y 0.002ppm) por triplicado en cada concentración.

7.4.2 Diseño de la Investigación:

7.4.2.1 Diseño metodológico:

Esta investigación determinó la eficacia y certeza de la prueba *In-Situ* de arsénico comparada con un método analítico validado de un laboratorio

certificado. Esto mediante la toma de un total de 30 muestras de agua en la salida de la planta de tratamiento de arsénico (3 muestras al día por 10 días).

El muestreo estadístico se realizó con una selección por conveniencia, considerando que la misma muestra fue analizada por los dos métodos. En el punto crítico (salida de planta de arsénico) se analizaron 30 muestras a lo largo del estudio. Se analizaron por separado las muestras, así como ambos métodos. Este estudio es un Diseño Pareado y su análisis se realizó por medio de la Prueba de Coeficiente de Correlación de Concordancia además de la Prueba de t Student Pareada con un α del 0.05.

La curva de calibración del Digital Arsenator® se determinó por medio de regresión lineal, evaluación por el coeficiente de determinación (r^2) y análisis de varianza para la regresión. En el cual se evaluaron 5 patrones por triplicado cada uno, con el fin de observar el comportamiento a lo largo de la curva de calibración.

7.4.2.2 Muestreo:

Se analizaron las 30 muestras de agua en la salida de la planta de tratamiento de arsénico, las cuales se determinaron con la prueba *In-Situ* de arsénico (Digital Arsenator®), tomando 3 muestras diarias por 10 días. Las mismas muestras se sellaron y se enviaron al laboratorio ACZ, en Estados Unidos, el cual es un laboratorio de referencia. Para comparar estos métodos se efectuó la Prueba de t Student Pareada con un α del 0.05.

8. RESULTADOS

Tabla No.1: Cuantificación de Arsénico por medio del Digital Arsenator® (prueba *in-situ* de Arsénico) comparado con un método validado para cuantificación de arsénico en un laboratorio certificado (ACZ Laboratorios, USA).

Código	Digital Arsenator	Lab. Certificado	STD	Promedio	CV
TFS-01	0,0270	0,0188	0,0058	0,0229	25,3200
TFS-02	0,0215	0,0176	0,0028	0,0196	14,1060
TFS-03	0,0270	0,0205	0,0046	0,0238	19,3524
TFS-04	0,0190	0,0222	0,0023	0,0206	10,9842
TFS-05	0,0207	0,0203	0,0003	0,0205	1,2658
TFS-06	0,0120	0,0187	0,0047	0,0154	30,8639
TFS-07	0,0200	0,0246	0,0033	0,0223	14,5861
TFS-08	0,0270	0,0266	0,0003	0,0268	1,0554
TFS-09	0,0287	0,0315	0,0020	0,0301	6,6597
TFS-10	0,0447	0,0415	0,0022	0,0431	5,1973
TFS-11	0,0650	0,0684	0,0024	0,0667	3,6044
TFS-12	0,0410	0,0491	0,0057	0,0451	12,7138
TFS-13	0,0277	0,0265	0,0008	0,0271	3,0460
TFS-14	0,0370	0,0283	0,0062	0,0327	18,8417
TFS-15	0,0380	0,0312	0,0048	0,0346	13,8969
TFS-16	0,0200	0,0186	0,0010	0,0193	5,1293
TFS-17	0,0190	0,0150	0,0028	0,0170	16,6378
TFS-18	0,0110	0,0178	0,0048	0,0144	33,3912
TFS-19	0,0500	0,0428	0,0051	0,0464	10,9723
TFS-20	0,0400	0,0324	0,0054	0,0362	14,8453
TFS-21	0,0700	0,0544	0,0110	0,0622	17,7345
TFS-22	0,0210	0,0133	0,0054	0,0172	31,7477
TFS-23	0,0240	0,0172	0,0048	0,0206	23,3414
TFS-24	0,0100	0,0065	0,0025	0,0083	29,9985
TFS-25	0,0140	0,0150	0,0007	0,0145	4,8766
TFS-26	0,0190	0,0207	0,0012	0,0199	6,0558
TFS-27	0,0177	0,0213	0,0026	0,0195	13,1864
TFS-28	0,0083	0,0206	0,0087	0,0145	59,9574
TFS-29	0,0153	0,0198	0,0032	0,0176	17,9796
TFS-30	0,0233	0,0213	0,0014	0,0223	6,4426
x	0,0273	0,0261	0,0036	0,0267	15,7930
2STD	0,0303	0,0266	0,0025	STD	
C.V.	55,3226	50,9904	0,2908	T pareada	

Fuente: Datos experimentales.

Tabla No.2: Curva de Calibración para el Digital Arsenator® (prueba in-situ de arsénico)

Solución Patrón	Lecturas			Promedio	STD
	1	2	3		
0,0800	0,0890	0,0880	0,0870	0,0880	0,0010
0,0400	0,0490	0,0480	0,0460	0,0477	0,0015
0,0100	0,0130	0,0110	0,0120	0,0120	0,0010
0,0050	0,0050	0,0040	0,0050	0,0047	0,0006
0,0020	0,0030	0,0020	0,0020	0,0023	0,0006
R ²	0,9971	0,9972	0,9989	0,9979	

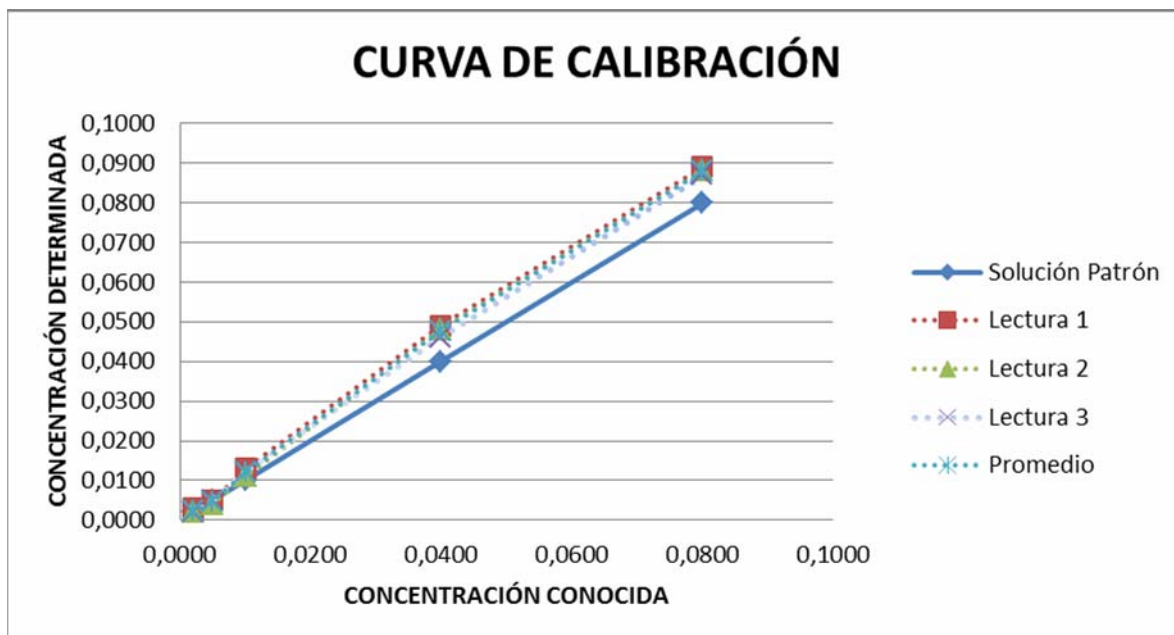
Fuente: Datos experimentales.

Tabla No.3: Límites de Detección para ambos métodos de análisis.

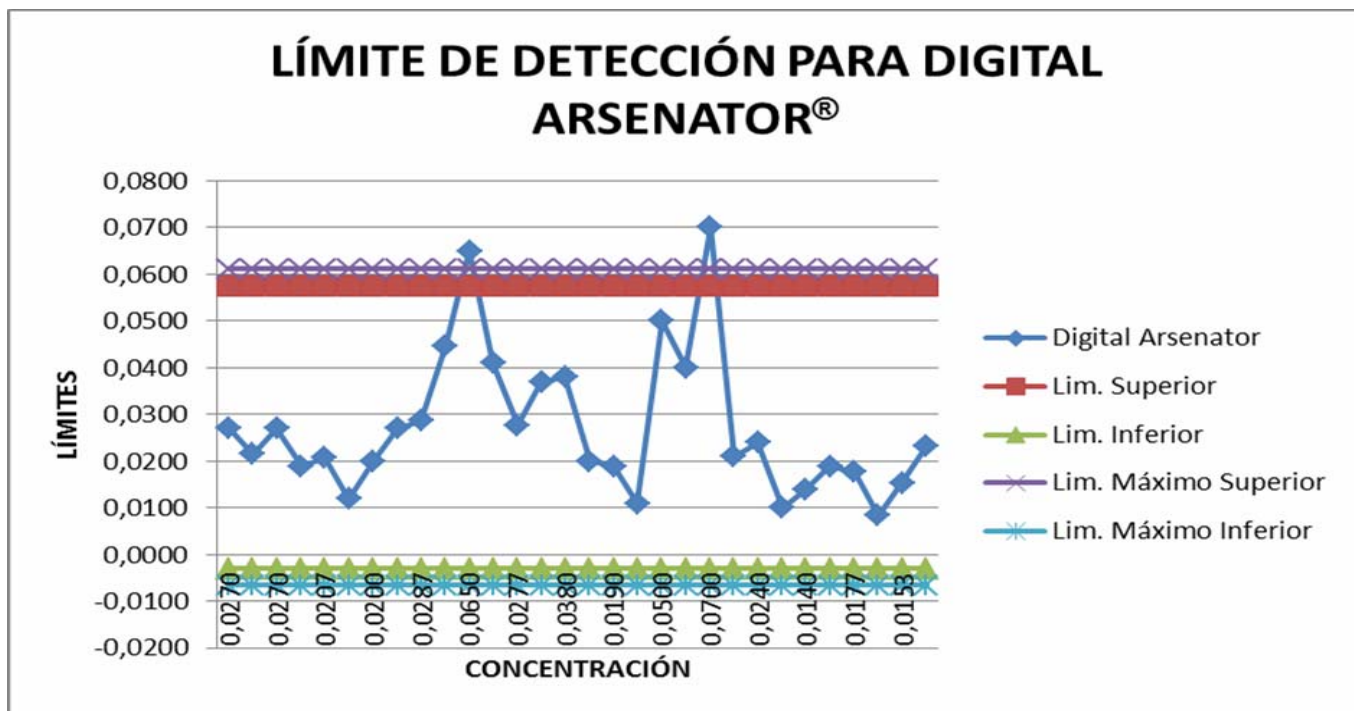
	Digital Arsenator	Laboratorio certificado
Promedio	0,0273	0,0261
2STD	0,0303	0,0266
Incertidumbre del Equipo	0,0036	0,0020
Límite de Detección Superior	0,0576	0,0527
Límite de Detección Inferior	-0,0030	-0,0005
Límite de Detección Máximo Superior	0,0612	0,0547
Límite de Detección Máximo Inferior	-0,0066	-0,0025

Fuente: Datos experimentales.

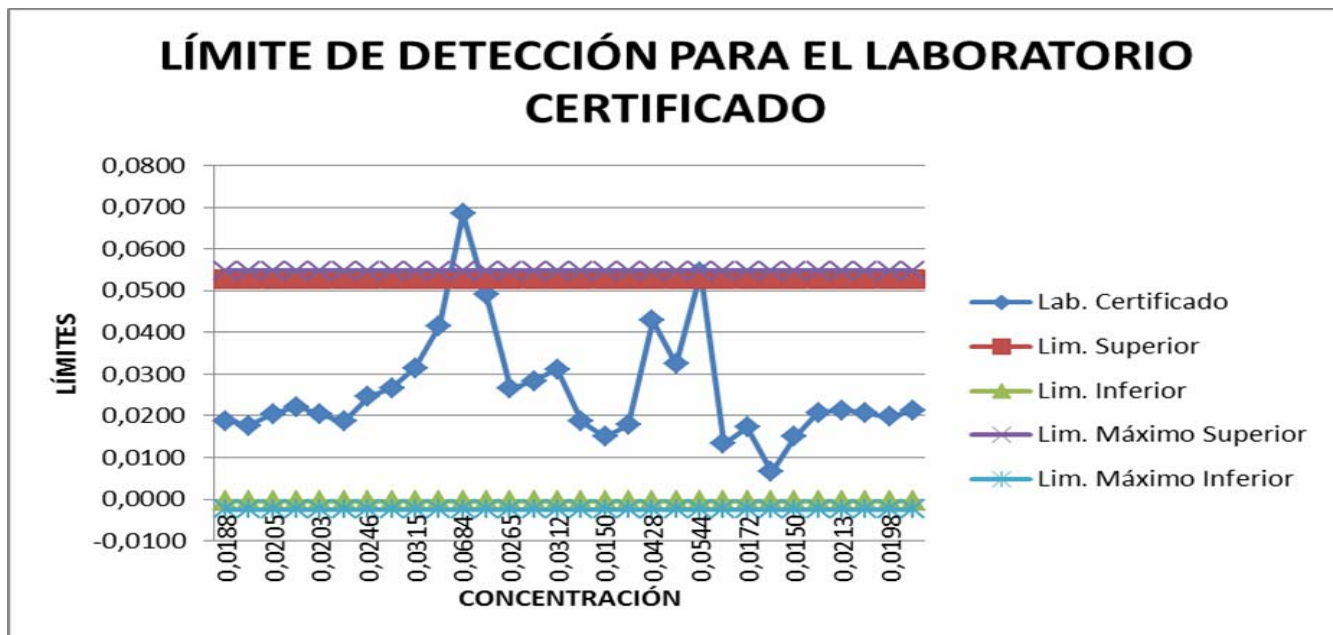
Gráfica No.1: Curva de calibración para el Digital Arsenator®



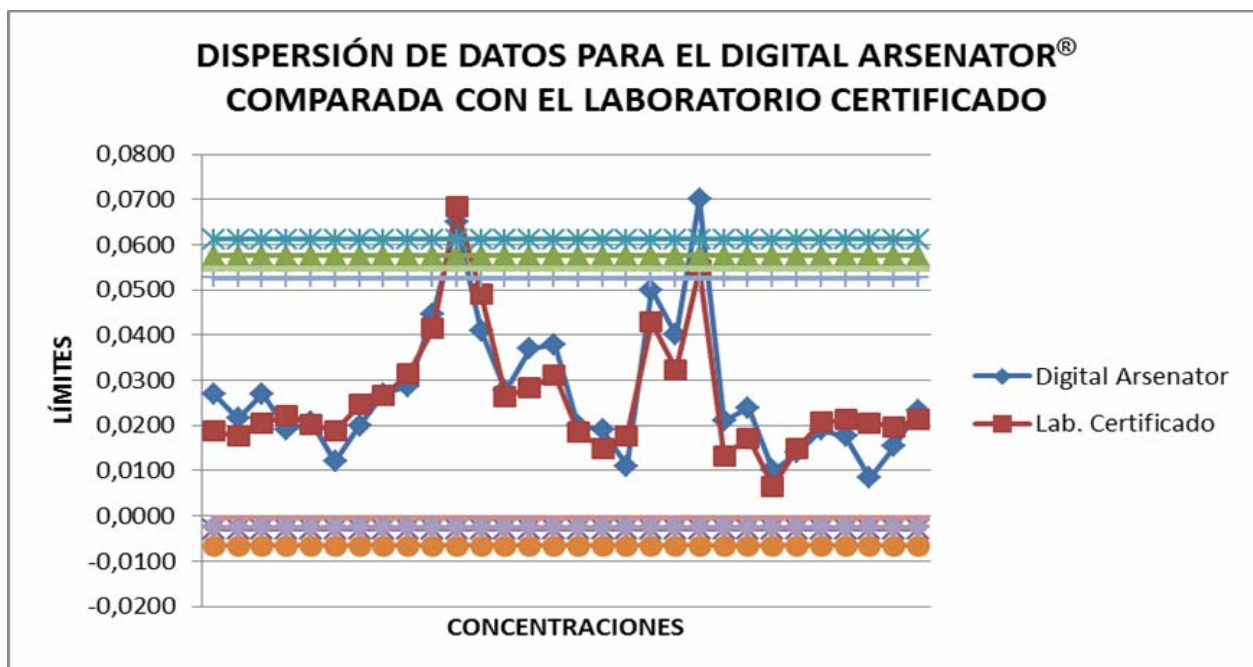
Gráfica No.2: Límite de detección para Digital Arsenator®



Gráfica No.3: Límite de detección para el Laboratorio Certificado ACZ



Gráfica No.4: Dispersión de datos para el Digital Arsenator® comparada con el Laboratorio Certificado



9. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para demostrar la eficiencia del fotómetro Digital Arsenator® (prueba *in-situ* de arsénico) debe calibrarse y comprobar la reproducibilidad, confiabilidad de los datos y procedimientos. Por tal razón, se desarrolló esta técnica en muestras de agua procedentes del afluente natural en la mina del Proyecto Minero Cerro Blanco, tomadas en la salida de la planta, punto localizado posterior al tratamiento del agua procedente de la mina y punto antes de concluir el agua hacia el área de descarga en la jurisdicción de Asunción Mita, Jutiapa; fue evaluada de acuerdo a los aspectos más importantes de validación como precisión, exactitud, selectividad, rango y límites de detección.

En la evaluación de la precisión (Tabla No.1) se obtuvo un coeficiente de variación de 15.79%, lo cual indica que la precisión no es la ideal, pero se encuentra por debajo de otros estudios relacionados (Safarzadeh-Amiri, 2010) en algunos países que indican un valor máximo del 20% de coeficiente de variación para afluentes geotermales. Por lo cual el Digital Arsenator® podrá ser utilizado en pruebas de control en la planta de tratamiento, tomando en cuenta los datos que se observan en Diagrama de control (Gráfico No.3) “Límite de detección para Laboratorio Certificado”.

En cuanto a la evaluación de la exactitud (tabla No.1), puede observarse que el Digital Arsenator® tiene una incertidumbre de 0.0036 comparado con la pruebas realizadas por el laboratorio certificado que cuentan con una incertidumbre de 0.002. La incertidumbre del Digital Arsenator® indica la probabilidad de tener mayor error en la medición, pero al conocer la incertidumbre se puede corregir o minimizar el error para obtener mejores resultados en las determinaciones de arsénico. (Standard Methods, 1995)

La curva de calibración muestra un coeficiente de correlación de 0.9979 que no es el ideal, pero muestra una diferencia comparada con una correlación idónea de 0.9996. Esto se debe a que el

fotómetro Digital Arsenator® pierde exactitud a mayor concentración, tal como lo establece la Ley de Beer. Dado a que es una prueba *in-situ* muestra una desviación comparada con la de un método estandarizado, puesto que pueden existir factores externos que pueden afectar la sensibilidad del equipo, como el ambiente, falta de actualización en la calibración del equipo, deterioro del equipo entre otros, pueden provocar esta variación (Tabla No.2) (Ayres, G, 1970).

La dispersión para ambos métodos muestra una secuencia similar entre las muestras analizadas (Gráfica No.2 y 3). Se determinó los límites de detección para cada método; obteniéndose resultados para el Digital Arsenator® con un límite máximo superior de 0.0612 y un límite máximo inferior de -0.0066 dando poca dispersión en la mayoría de los datos ya que se encuentran dentro de los límites de detección con excepción de dos datos. Además, se determinó para el laboratorio certificado un límite máximo superior del 0.0547 y un límite máximo Inferior del -0.0025 obteniéndose poca dispersión de los datos ya que se encuentran dentro de los límites de detección a diferencia de uno de los datos. El comportamiento de los datos que se encuentran por afuera de los límites de detección es debido a que se realizó un muestreo durante diez días los cuales podría variar ya que no existe un parámetro establecido en la determinación de la concentración de arsénico, por ello pueden existir mínimas variaciones ya que las concentraciones de arsénico pueden variar entre un día a otro. (Skoog Douglas 2001)

En el estudio comparativo (Tabla No.1) se utilizó “t” pareada con un α de 0.05 y la obtenida fue 0.2908, y como la “t” pareada no es igual a cero se concluye que ambos métodos son diferentes con respecto a la cuantificación de arsénico. En el método de la prueba *in-situ* del Digital Arsenator® se obtuvo una variación de 0.0025 con respecto a los resultados del Laboratorio Certificado, el Digital Arsenator® muestra una variación en el determinación de arsénico, porque existe una interferencia en la

cuantificación sobre agua de afluentes geotermales por su alto contenido de minerales (Cl, Co, Cu, Hg, Mo, Pt, Ag, Se) los cuales evitan la reducción de As^{+5} a As^{+3} , puesto que el Digital Arsenator® determina únicamente arsénico en su valencia As^{+3} (Standard Methods, 1995).

La evaluación de este método permite establecer indicadores de referencia para posteriores estudios relacionados con el tema. Así mismo, el método propuesto permite observar la similitud con el método estandarizado, lo cual permite controles diarios eficaces en la Planta de Tratamiento de Agua del Proyecto Minero Cerro Blanco.

Este estudio demuestra la eficacia de la planta de tratamiento de agua en Proyecto Minero Cerro Blanco, ya que las concentraciones de arsénico se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles (MARN, 2007) (BM, 2005), obteniéndose un beneficio para el medio ambiente y la población de Asunción Mita, Jutiapa. De tal manera, la implementación de este tipo de proyectos en el interior de la República de Guatemala, trae beneficios de gran importancia para la población, con el aumento de fuentes de trabajo y así lograr una mayor estabilidad económica de muchas familias cómo también de la región.

La industria minera ha logrado efectos benéficos para la población, porque es una fuente de trabajo, desempeña labores sociales a la población, apoyo a la educación con becas estudiantiles y concientización por el medio ambiente, todo esto se logra porque es una industria comprometida con el medio ambiente y la población. La regalías obtenidas de la industria minera, sirve para lograr una fuente económica para República de Guatemala que pueden ser invertidos en proyectos de beneficio para la población guatemalteca.

10. CONCLUSIONES

- 10.1 El Digital Arsenator® tiene una precisión y exactitud menor comparada con la del Laboratorio certificado (Laboratorios ACZ, USA)
- 10.2 El Digital Arsenator® permite la cuantificación de arsénico en agua, con una precisión (C.V.) menor del 20% dato aceptado para afluentes geotermales.
- 10.3 El Digital Arsenator® representa una opción de análisis en controles diarios *in-situ* de arsénico en agua para laboratorios que no cuentan con equipo instrumental certificado.
- 10.4 La cuantificación de arsénico por medio de Digital Arsenator® puede ser afectada en afluentes de aguas geotermales debido a la presencia de minerales (Cl, Co, Cu, Hg, Mo, Pt, Ag, Se) los cuales evitan la reducción de As^{+5} a As^{+3} , puesto que esta prueba *in-situ* determina As^{+3} .
- 10.5 El Digital Arsenator® presenta una desviación estándar comparada con el Laboratorio certificado (Laboratorios ACZ, USA) del ± 0.0036 .
- 10.5 El Digital Arsenator® no es equivalente comparado con el Laboratorio Certificado (Laboratorio ACZ, USA); pero permite la obtención de datos confiables en la cuantificación de arsénico en agua, para los análisis en los controles diarios en la planta de tratamiento de arsénico del Proyecto Minero Cerro Blanco, Asunción Mita Jutiapa.
- 10.6 La utilización del Digital Arsenator® en la operación de la planta de tratamiento de arsénico del Proyecto Minero Cerro Blanco, garantiza el cumplimiento del estándar de descarga de arsénico total en agua del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala MARN (< 0.10 mg/L).

11. RECOMENDACIONES

- 11.1 Realizar tratamiento de agua para evitar interferencias provocadas por minerales provenientes del afluyente geotermal, para disminuir el coeficiente de variación en los resultados.
- 11.2 Implementación de la estandarización de procedimientos de lectura y calibración del equipo para lograr mayor precisión y exactitud.
- 11.3 Realizar estudios para la implementación de equipo instrumental para obtener mayor precisión y exactitud en la determinación de arsénico en el futuro.
- 11.4 Realizar capacitaciones regulares con el personal para lograr una mayor efectividad en la determinación de arsénico.
- 11.5 Realizar controles periódicos con el laboratorio certificado cada 3 meses, luego cada 6 meses según sea la madurez del sistema de gestión y la estandarización del Digital Arsenator®; como la toma de muestras al azar una vez al mes para tener más controles en los procesos.
- 11.6 Implementación de un programa de calibración para el fotómetro Digital Arsenator®.
- 11.7 El Digital Arsenator® se recomienda en la utilización de análisis *In-Situ* de arsénico para obtener datos confiables en las muestras analizadas en agua.

12. REFERENCIAS

- Alexéiev, V. (1988). *Análisis Cuantitativo*. Moscú, Rusia: MIR MOSCÚ.
- Ayres, G., et al., (1970). *Análisis Químico Cuantitativo*. México. HARLA S.A. DE C.V.
- Banco Mundial. (2005) *Norma de arsénico en afluentes naturales*.
- Bev-Lorraine, T. (2003). *Manual de Toxicología Clínica de Dreisbach: prevención, diagnóstico y tratamiento*. Estados Unidos: El Manual Moderno S.A. de C.V.
- Brantes R., (2008) *Análisis Comparativo de Normativas de Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales*. Chile: Comisión Chilena del cobre.
- Cacao, L. (2008). *Contaminación Natural de Arsenico Derivado de el Pluton de Chiquimula (Noreste de la Ciudad de Chiquimula, Guatemala, C.A.)*. (Tesis de maestría)Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. Guatemala.
- Catálogo de Digital Arsenator, (2006). Recuperado el 2011, de http://www.ansam.com.mx/ansam_stuff/5%20Arsenator.pdf
- Comisión Guatemalteca de Normas, (2003) *COGUANOR, NGO 29-001: ISO 2000*, Guatemala: Ministerio de Economía. Pág. 14
- Crubellati, R. (2007). *Análisis de Agua: Capacidades Instaladas en Iberoamérica*. Buenos Aires, Argentina: programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.
- Environment Canada. (1993). *Canadian environmental protection act priority substances list assessment report: Arsenic and its compounds*. Ottawa, Canada: Canada Communication Group.
- EPA. (1979) *Water-related environmental fate of 129 priority pollutants: Vol. I. Introduction and technical background, metals and inorganics, pesticides and PCBs*. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water Planning and Standard.

- EPA. (1980). *Ambient water quality criteria for arsenic*. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water Regulations and Standards.
- EPA. (1982). *Exposure and risk assessment for arsenic*. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water Regulations and Standards. 1.1- 4.68.
- EPA. (1982). *Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometric method for trace element analysis of water and wastes - method 200.7*. Cincinnati, OH: U.S. Environmental Protection Agency, Environmental Monitoring and Support Laboratory.
- EPA. (1983). *Method 206.5 (sample digestion prior to total arsenic analysis by silverdiethyldithiocarbamate or hydride procedures)*. In: *Methods for chemical analysis of water and wastes*. Cincinnati, OH: U.S. Environmental Protection Agency, Environmental Monitoring and Support Laboratory.
- EPA. (1984). *Health Assessment Document for Arsenic*. Research Triangle Park, NC: U.S. Environmental Protection Agency.
- EPA. (1993). *Standards for the management of hazardous waste and specific types of hazardous waste facilities. Health-based limits for exclusion of waste-derived residues*. U.S. Environmental Protection Agency. Code of Federal Regulations. 40 CFR 266; Subpart H; Appendix VII.
- EPA. (2001). U.S. Environmental Protection Agency.
- EPA. (2004). *Primer Proyecto para la eliminación de Arsénico por en Anthony, Nuevo Mexico*.
Recuperado de:
- EPA. (2005). STORET data warehouse. U.S. Environmental Protection Agency.
- Galetovic A., (2003) *Arsénico en el Agua de Bebida: un problema de salud pública*. Brasil: Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences vol. 39.

Departamento de Toxicología e Análises Toxicológicas, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo.

Galindo G. *et al.* (2005) *Arsénico en agua: origen y movilidad y tratamiento*. IV Congreso Hidrogeológico Argentino, Río Cuarto. Pág. 1-15

Hernández , C., Machin , S., & Gomez, M. (2007). *Uso del trióxido de arsénico (Arsenin ®) en el tratamiento de la leucemia promielocítica en recaída* . Revista Cubana de Hematología, Inmunología y Hemoterapia.

<http://www.epa.gov/&ei=I01oTozQOKbx0gHDytTICw&sa=X&oi=translate&ct=result&resnum=1&ved=0CCQQ7gEwAA&prev=/search%3Fq%3Ddepa%26hl%3Des%26biw%3D1229%26bih%3D809%26prmd%3Divns>

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, (2007) *Reporte calidad del agua de los ríos de la República de Guatemala*. Guatemala: Departamento de Investigación y servicios Hídricos.

Jenkins, D. (2002). *Química del Agua*. 1ª México. LIMUSA, S.A. de C.V.

Kreshkov, A. (1985). *Curso de Química Analítica: Análisis Cuantitativo* . Moscú, Rusia: MIR MOSCÚ.

Leikin, J. (2002). *Poisoning & Toxicology Handbook*. Estados Unidos: Lexi-comp.INC.

Medline Plus. (2008). *Trióxido de arsénico inyectable*. Recuperado, de:

<http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/druginfo/meds/a608017-es.html>

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales., (2007) *Parámetros de arsénico en afluentes naturales*. Guatemala.

Morand, Enzo., (2005) *Determinación de arsénico en agua por espectrometría de absorción atómica con generación de hidruro (HG-AAS)*. Argentina: Facultad de Agroindustrias - UNNE.

Pineda, J. (2009). *Evaluacion del Metodo de la Farmacopea Estadounidense USP Edicion 30 NF 25 como Metodo Presuntivo para la Determinación de Arsénico en las Aguas Superficiales de Guatemala.*

Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería.

Safarzadeh-Amiri, A. (2010). *Validation of analysis of arsenic in water samples using Wagtech Digital*

Arsenator. Recuperado el 2011, de

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969711002695>

Skoog Douglas *et al.* (2001) *Química Analítica.* 7ª. Edición. México McGraw-Hill Interamericana Editores,

S.A. Pág. 51

Standard Methods for the Examintion of Water and Wastewater. (1995). Estados Unidos: American

Public Helth Association.

The United States Pharmacopeia USP Edición 30 NF 25. (2004) United States Pharmacopeia Convention,

Inc. Pág. 1856

13. ANEXOS

13.1 ANEXOS I: MARCO TEORICO

El arsénico es un elemento natural que se comporta como un metaloide. 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 varios tipos de arsénico y otros permiten medir de forma precisa cantidades muy pequeñas de arsénico. (Galindo, 2005)

13.1.1 Arsénico

El arsénico es un elemento químico natural de la tabla periódica ampliamente distribuido en la corteza terrestre (cerca de 5 x 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. (Galindo, 2005)

13.1.1.1 Propiedades Químicas

Las propiedades químicas más importantes del arsénico se muestran en la tabla I (ver anexos II).

13.1.1.2 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 (As₂O₃) 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. (Galindo, 2005)

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, $\text{Cu}_3(\text{AsO}_4)_2$), que representa, 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

(As₂O₃) para el tratamiento de pacientes con leucemia promielocítica aguda (Trisenox[®], Arsenin[®]). (Hernández, 2007)

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

13.1.1.3 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. (Galindo, 2005)

13.1.1.4 Obtención del arsénico

Es el 52º elemento en abundancia de la corteza terrestre con 2 ppm 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, 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 (calentamiento a altas temperaturas) 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. (Galindo, 2005)

13.1.1.5 Toxicidad del Arsénico

La dosis letal de trióxido de arsénico es de alrededor de 120mg. En EUA los residuos permisibles en alimentos están limitados a 1.4mg/Kg en la ley federal. El límite de exposición para la arsina es de 0.05ppm; para el arsénico, ácido arsénico, arsenato, arsenitos y otros compuestos derivados del arsénico, es de 0.5mg/m³. Los arsenicales orgánicos, como la arsfenamina, acetarsona, ácido metanoarsónico y ácido dimetilarsínico libera arsénico lentamente y, por tanto, no causan intoxicación aguda,

aunque ha ocurrido al menos una muerte por el uso vaginal de supositorios de acetarsona. La dosis letal para estos compuestos se calcula en 0.1 a 0.5 g/Kg.

El arsénico causa toxicidad al combinarse con enzimas de sulfhidrico (-SH) e interfiere con el mecanismo celular.

Si la muerte ocurre en el lapso de algunas horas, la mucosa gástrica muestra inflamación sin otros cambios histopatológicos. Si la muerte ocurre después de varias horas de la intoxicación, el examen histopatológico muestra cambios inflamatorios y descamación parcia de la mucosa intestinal. Los capilares del tubo digestivo se encuentran distendidos y existe equimosis. En las muertes inmediatas por intoxicación con arsinas se encuentra hemolisis intravascular. Si la muerte se retrasa por varios días posteriores a la intoxicación con arsénico en cualquier forma, el hígado y los riñones muestran cambios degenerativos. (Bev-Lorraine, 2003)

13.1.1.5.1 Datos Clínicos

Las principales manifestaciones de intoxicación con arsénico son molestias gastrointestinales. La principal manifestación de intoxicación con arsina es la hemolisis. (Bev-Lorraine, 2003)

13.1.1.5.1.1 Intoxicación Aguda

- Ingestión: grandes cantidades de arsénico (10 veces la dosis letal media), los síntomas iniciales son como de gastroenteritis intensa: dolor esofágico urente, vómito, diarrea, abundante, acuosa o sanguinolenta que contiene

restos de mucosa. Posteriormente, la piel se torna fría y pegajosa, la presión arterial disminuye y la astenia es notable. La muerte ocurre por falla circulatoria. Las convulsiones y coma son los signos terminales. Si la muerte no es inmediata ocurre ictericia y oliguria después de 1 a 3 días.

Las dosis cercanas a la dosis letal media causan inquietud, náuseas, vómitos, cefalea, mareos, escalofríos, parálisis variable y arritmias ventriculares.

- Inhalación: la inhalación de polvos de arsénico causan edema pulmonar agudo, inquietud, disnea, cianosis, tos con esputo espumoso y estertores.

13.1.1.5.1.1 Intoxicación Crónica (por ingestión o inhalación)

Se presentan las siguientes afecciones en forma variable:

- SNC: polineuritis, neuritis óptica, hipersensibilidad, paréntesis.
- Piel: color bronceado, alopecia, edema, dermatitis.
- Tubo digestivo: cirrosis hepática, náuseas, vomito, dolor abdominal, sialorrea.
- Efectos generales: anemia, anemia aplásica, leucopenia y pérdida de peso.

- Sistema cardiovascular y renal: nefritis crónica, insuficiencia cardíaca.
- El arsénico y sus compuestos son carcinogénicos para la piel, pulmones e hígado, así como para otros sistemas orgánicos.

13.1.1.5.2. Prevención

Almacenar de forma segura el arsénico. Observar en todo momento el límite de exposición a la arsina en el aire. (Bev-Lorraine, 2003)

13.1.1.5.3. Tratamiento

13.1.1.5.3.1. Intoxicación Aguda

- Tratamiento de urgencia: eliminar el arsénico ingerido mediante lavado gástrico o induciendo vómito, continuando con catárticos salinos.
- Antídotos: administrar dimercaprol por dos días y después penicilamina o succímero. Interrumpir la administración del antídoto cuando las concentraciones de arsénico se encuentren por debajo de $500\mu\text{g}/24\text{h}$.
- Intoxicaciones graves utilizar hemodiálisis después del tratamiento con dimercaprol para eliminar la combinación de dimercaprol y arsénico.

13.1.1.5.3.2. Intoxicación Crónica

Se evita la exposición adicional y se administra dimercaprol o penicilamina. Los signos de intoxicación con arsénico desaparecen con lentitud.

13.1.1.5.4. Pronostico

En intoxicaciones agudas con arsénico la supervivencia por más de una semana continua con recuperación completa; en casos de intoxicación crónica por arsénico ésta requiere de seis meses a un año. (Bev-Lorraine, 2003)

13.1.2 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. (COGUANOR, 2003)

13.1.2.1 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. (COGUANOR, 2003)

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:

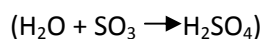
- Presenta un punto de ebullición de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (373 K) a presión de 1 atm .
- Tiene un punto de fusión de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (273 K) a presión de 1 atm .
- El agua destilada no conduce la electricidad (agua pura es el agua destilada libre de sales y minerales)
- Es un líquido 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 °C: 80 cal/g (ó 335 J/g)
- Calor latente de evaporación del agua a 100 °C: 540 cal/g (ó 2260 J/g)
- Tiene un estado de sobreenfriado, es decir, líquido a -25 °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.

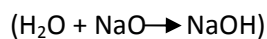
13.1.2.2 Propiedades Químicas

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.

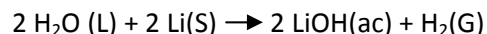
- No posee propiedades ácidas ni básicas.
- Con ciertas sales forma hidratos.
- Es catalizador en muchas reacciones químicas.
- Presenta un equilibrio de autoionización, en el cual hay iones H₃O⁺ y OH⁻
- Reacciona con los óxidos ácidos para formar ácidos.



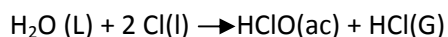
- Reacciona con los óxidos básicos para formar hidróxidos.



- 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 delicuesce, tal es el caso del cloruro cálcico. (COGUANOR, 2003)

13.1.2.3 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 Brönsted-Lowry, los 2 pares de electrones no compartidos del oxígeno en la molécula H_2O le proporcionan características alcalinas. Los 2 enlaces covalentes de la molécula H_2O 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 H_2O 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. (COGUANOR, 2003)

13.1.2.4 Tipos de Agua

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

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

13.1.2.4.1 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. (COGUANOR, 2003)

13.1.2.4.2 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 está 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. (COGUANOR, 2003)

13.1.2.4.3 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. (COGUANOR, 2003)

13.1.2.4.4 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:

13.1.2.4.4.1 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.

13.1.2.4.4.2 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. (COGUANOR, 2003)

13.1.2.5 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.

13.1.2.6 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 H_2AsO_4 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. (Pineda, 2009)

13.1.2.6.1 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. (Pineda, 2009)

13.1.2.7 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. (Pineda, 2009)

13.1.2.8 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: (ver Anexos II)

13.1.2.8.1 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. (COGUANOR, 2003)

13.1.2.8.1.1. 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. (COGUANOR, 2003)(Ver Anexos II)

13.1.3 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. (INSIVUME, 2007)

13.1.3.1 Análisis realizados en el laboratorio de hidrología (INSIVUMEH)

13.1.3.1.1 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. (INSIVUME, 2007)(Ver anexos II)

13.1.3.1.2 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. (INSIVUME, 2007) (ver anexos II)

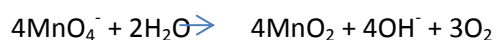
13.1.4. Determinación de arsénico

13.1.4.1. Métodos gravimétricos

13.1.4.1.1. Determinación de Oxido de Arsénico (III) con permanganato

El permanganato es un oxidante muy fuerte y autoindicador. La mayor parte de sus aplicaciones, se utiliza en disolución acida, dando Mn^{++} como producto de su reducción. No obstante, en algunas aplicaciones se utiliza en medio casi neutro o incluso alcalino, dando MnO_2 como producto de reducción. (Ayres, 1970)

En disolución neutra, el permanganato se descompone lentamente:



Y las disoluciones acidas son aún menos estables. Las reacciones están autocatalizada por el bióxido de manganeso.

13.1.4.1.1.2 Normalización:

El óxido de arsénico (III), AsO_2 , se disuelve poco en agua, pero lo hace, pero lo hace con facilidad en hidróxido sódico 2N:



La disolución de Arsenito se valora después de acidificada.

El óxido de arsénico (III) son los patrones primarios más adecuados para uso general. (Ayres, 1970)

13.1.4.1.2. Determinación de Arsenito sódico con Iodo

La disolución reactivo se prepara disolviendo óxido de arsénico (III) en un exceso de hidróxido de sódico:



El exceso de álcali se neutraliza con ácido clorhídrico y la disolución se tampona después con bicarbonato sódico. Generalmente, esta disolución se prepara directamente a partir de As_2O_3 patrón primario. La valoración del yodo con esta disolución debe realizarse en un intervalo de pH entre 5 y 9. (Ayres, 1970)

13.1.4.1.2.1 Normalización de la disolución de yodo

El único patrón primario adecuado para el yodo es el óxido de arsénico (III) As_2O_3 . Una cantidad pesada de esta se disuelve y se tampona con bicarbonato, posteriormente valorándose con yodo, utilizando como indicador almidón, hasta aparición de la primera tonalidad azul:



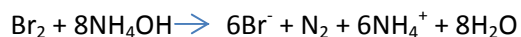
13.1.4.1.3. Determinación de arsénico en compuestos minerales

Los minerales contienen normalmente cantidades más o menos elevadas de arsénico y de otros metales (hierro, cobre, etc.) y los métodos de análisis están elaborados con vistas a evitar las interferencias de estos elementos.

El mineral se disuelve en ácido nítrico. El arsénico del mineral quedara en la disolución en sus estados de oxidación más elevados, aunque puede no haberse logrado la oxidación completa del arsénico. Si aparece sílice, se separa por filtración y el filtrado se evapora con ácido sulfúrico hasta humos, para desplazar el exceso de ácido nítrico. Para completar la oxidación de arsénico (III) la disolución sulfúrica se trata con agua de bromo. (Ayres, 1970)



Por adición de hidróxido amónico se destruye el exceso de bromo y de H^+ :



Se añade bifluoruro amónico para complejar el hierro (III):



13.1.4.1.3.1. Normalización:

Para evitar que el hierro (III) libere yodo del yoduro.

Se añade ftalato ácido de potasio para tamponar la disolución a pH 3.5 y conseguir así que el arsénico (V) no oxiden al yoduro. Se trata la disolución con yoduro potásico en exceso y el yodo liberado se valora con tiosulfato. (Ayres, 1970)

13.1.4.2. Métodos instrumentales

13.1.4.2.1 Espectrometría de Absorción Atómica con atomización Electrotermia (ETAAS)

Esta técnica es una de las aceptadas para la determinación de trazas de arsénico en sistemas acuosos. De hecho el método 200.9 de la EPA para la determinación de As se basa en este método con el empleo de plataforma de temperatura estabilizada y modificadora de matriz en base a Mg y Pd.

El ETAAS se utiliza en una metodología que se basa en la formación de complejos de arsénico (III) con pirrolidinditiocarbamato de amonio (APDC) el cual puede ser retenido en una resina de intercambio aniónico. Este método se emplea para determinación de As (III), mientras el arsénico total (III, V) se le determina de forma similar, pero previamente reducido el As (V) al estado III con tiosulfato de sodio. (Galindo, 2005)

13.1.4.2.2. Pruebas In-Situ de arsénico

13.1.4.2.2.1 Digital Arsenator®

El Digital Arsenator® es un fotómetro digital portátil para realizar pruebas In-Situ de arsénico en agua, tanto en campo como en laboratorio. (Catalogo Digital Arsenator, 2006)

13.1.4.2.2.1.1 Características

- Rango de medición: 0.0002 ppm a 0.1 ppm
- Utilizado en campo por la UNICEF y la OMS
- Pantalla LDC digital
- Alimentación: batería de 9V
- Duración aproximada de la prueba 20 min.
- Marca: Wagtech International
- Origen: Inglaterra

9.2 ANEXOS II:

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]3d104s24p3
Potencial primero de ionización (eV)	10,08
Masa atómica (g/mol)	74,922
Densidad (g/ml)	5,72
Punto de ebullición (°C)	817
Punto de fusión (°C)	613

Tabla I Fuente: tabla periódica.

Tabla II Límites internacionales y valores guía de arsénico

Valores Internacionales		
OMS (Organización Mundial de la Salud)	Valor Guía Provisional	0.01ppm
USEPA (Agencia de Protección Ambiental de U.S.)	Nivel Máximo de Contaminación (MCL)	0.05ppm
CEE (Comunidad Económica Europea)	Concentración Máxima Admisible (MAC)	0.05ppm

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

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

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.

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 V: Fuente: Normas COGUANOR, Norma NGO 29001.

Tabla V Propiedades químicas del agua

Propiedades Físicas	LMA Límite Máximo Aceptable	LMP Límite Máximo Permisible
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.

9.3 ANEXOS III: Resultados obtenidos por el Laboratorio Certificado (Laboratorio ACZ, USA)

ACZ Laboratories, Inc.
2773 Downhill Drive Steamboat Springs, CO 80487 (800) 334-5493

**Inorganic Analytical
Results**

Entre Mares de Guatemala SA
Project ID: CERRO BLANCO
Sample ID: TFS-01

ACZ Sample ID: **L90176-11**
Date Sampled: 08/16/11 07:10
Date Received: 08/31/11
Sample Matrix: Surface Water

Inorganic Prep

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Total Hot Plate Digestion	M200.2 ICP-MS							09/06/11 16:01	mfm

Metals Analysis

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Arsenic, total	M200.8 ICP-MS	0.0188			mg/L	0.0005	0.002	09/09/11 1:57	pmc

ACZ Laboratories, Inc.
2773 Downhill Drive Steamboat Springs, CO 80487 (800) 334-5493

**Inorganic Analytical
Results**

Entre Mares de Guatemala SA
Project ID: CERRO BLANCO
Sample ID: TFS-02

ACZ Sample ID: **L90176-12**
Date Sampled: 08/16/11 10:05
Date Received: 08/31/11
Sample Matrix: Surface Water

Inorganic Prep

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Total Hot Plate Digestion	M200.2 ICP-MS							09/06/11 16:03	mfm

Metals Analysis

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Arsenic, total	M200.8 ICP-MS	0.0176			mg/L	0.0005	0.002	09/09/11 1:59	pmc

ACZ Laboratories, Inc.
2773 Downhill Drive Steamboat Springs, CO 80487 (800) 334-5493

**Inorganic Analytical
Results**

Entre Mares de Guatemala SA
Project ID: CERRO BLANCO
Sample ID: TFS-03

ACZ Sample ID: **L90176-13**
Date Sampled: 08/16/11 13:05
Date Received: 08/31/11
Sample Matrix: Surface Water

Inorganic Prep

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Total Hot Plate Digestion	M200.2 ICP-MS							09/06/11 16:04	mfm

Metals Analysis

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Arsenic, total	M200.8 ICP-MS	0.0205			mg/L	0.0005	0.002	09/09/11 2:01	pmc

ACZ Laboratories, Inc.

2773 Downhill Drive Steamboat Springs, CO 80487 (800) 334-5493

**Inorganic Analytical
Results**

Entre Mares de Guatemala SA
 Project ID: CERRO BLANCO
 Sample ID: TFS-04

ACZ Sample ID: **L90176-14**
 Date Sampled: 08/17/11 07:20
 Date Received: 08/31/11
 Sample Matrix: Surface Water

Inorganic Prep

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Total Hot Plate Digestion	M200.2 ICP-MS							09/06/11 16:05	mfm

Metals Analysis

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Arsenic, total	M200.8 ICP-MS	0.0222			mg/L	0.0005	0.002	09/09/11 2:03	pmc

ACZ Laboratories, Inc.

2773 Downhill Drive Steamboat Springs, CO 80487 (800) 334-5493

**Inorganic Analytical
Results**

Entre Mares de Guatemala SA
 Project ID: CERRO BLANCO
 Sample ID: TFS-05

ACZ Sample ID: **L90176-15**
 Date Sampled: 08/17/11 10:05
 Date Received: 08/31/11
 Sample Matrix: Surface Water

Inorganic Prep

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Total Hot Plate Digestion	M200.2 ICP-MS							09/06/11 16:06	mfm

Metals Analysis

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Arsenic, total	M200.8 ICP-MS	0.0203			mg/L	0.0005	0.002	09/09/11 2:05	pmc

ACZ Laboratories, Inc.

2773 Downhill Drive Steamboat Springs, CO 80487 (800) 334-5493

**Inorganic Analytical
Results**

Entre Mares de Guatemala SA
 Project ID: CERRO BLANCO
 Sample ID: TFS-06

ACZ Sample ID: **L90176-16**
 Date Sampled: 08/17/11 13:05
 Date Received: 08/31/11
 Sample Matrix: Surface Water

Inorganic Prep

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Total Hot Plate Digestion	M200.2 ICP-MS							09/06/11 16:10	mfm

Metals Analysis

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Arsenic, total	M200.8 ICP-MS	0.0187			mg/L	0.0005	0.002	09/09/11 2:14	pmc

ACZ Laboratories, Inc.

2773 Downhill Drive Steamboat Springs, CO 80487 (800) 334-5493

**Inorganic Analytical
Results**

Entre Mares de Guatemala SA
 Project ID: CERRO BLANCO
 Sample ID: TFS-07

ACZ Sample ID: **L90176-17**
 Date Sampled: 08/18/11 07:20
 Date Received: 08/31/11
 Sample Matrix: Surface Water

Inorganic Prep

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Total Hot Plate Digestion	M200.2 ICP-MS							09/06/11 16:11	mfm

Metals Analysis

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Arsenic, total	M200.8 ICP-MS	0.0246			mg/L	0.0005	0.002	09/09/11 2:16	pmc

ACZ Laboratories, Inc.

2773 Downhill Drive Steamboat Springs, CO 80487 (800) 334-5493

**Inorganic Analytical
Results****Entre Mares de Guatemala SA**

Project ID: CERRO BLANCO

Sample ID: TFS-08

ACZ Sample ID: **L90176-18**

Date Sampled: 08/18/11 10:05

Date Received: 08/31/11

Sample Matrix: Surface Water

Inorganic Prep

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Total Hot Plate Digestion	M200.2 ICP-MS							09/06/11 16:12	mfm

Metals Analysis

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Arsenic, total	M200.8 ICP-MS	0.0266			mg/L	0.0005	0.002	09/09/11 2:18	pmc

ACZ Laboratories, Inc.

2773 Downhill Drive Steamboat Springs, CO 80487 (800) 334-5493

**Inorganic Analytical
Results****Entre Mares de Guatemala SA**

Project ID: CERRO BLANCO

Sample ID: TFS-09

ACZ Sample ID: **L90176-19**

Date Sampled: 08/18/11 13:05

Date Received: 08/31/11

Sample Matrix: Surface Water

Inorganic Prep

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Total Hot Plate Digestion	M200.2 ICP-MS							09/06/11 16:13	mfm

Metals Analysis

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Arsenic, total	M200.8 ICP-MS	0.0315			mg/L	0.0005	0.002	09/09/11 2:20	pmc

ACZ Laboratories, Inc.

2773 Downhill Drive Steamboat Springs, CO 80487 (800) 334-5493

**Inorganic Analytical
Results****Entre Mares de Guatemala SA**

Project ID: CERRO BLANCO

Sample ID: TFS-10

ACZ Sample ID: **L90176-20**

Date Sampled: 08/19/11 07:25

Date Received: 08/31/11

Sample Matrix: Surface Water

Inorganic Prep

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Total Hot Plate Digestion	M200.2 ICP-MS							09/06/11 16:15	mfm

Metals Analysis

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Arsenic, total	M200.8 ICP-MS	0.0415			mg/L	0.0005	0.002	09/09/11 2:22	pmc

ACZ Laboratories, Inc.

2773 Downhill Drive Steamboat Springs, CO 80487 (800) 334-5493

**Inorganic Analytical
Results****Entre Mares de Guatemala SA**

Project ID: CERRO BLANCO

Sample ID: TFS-11

ACZ Sample ID: **L90177-01**

Date Sampled: 08/19/11 10:10

Date Received: 08/31/11

Sample Matrix: Surface Water

Inorganic Prep

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Total Hot Plate Digestion	M200.2 ICP-MS							09/06/11 15:47	mfm

Metals Analysis

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Arsenic, total	M200.8 ICP-MS	0.0684			mg/L	0.0005	0.002	09/09/11 2:49	pmc

ACZ Laboratories, Inc.
2773 Downhill Drive Steamboat Springs, CO 80487 (800) 334-5493

**Inorganic Analytical
Results**

Entre Mares de Guatemala SA
Project ID: CERRO BLANCO
Sample ID: TFS-12

ACZ Sample ID: **L90177-02**
Date Sampled: 08/19/11 13:05
Date Received: 08/31/11
Sample Matrix: Surface Water

Inorganic Prep

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Total Hot Plate Digestion	M200.2 ICP-MS							09/06/11 15:48	mfm

Metals Analysis

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Arsenic, total	M200.8 ICP-MS	0.0491			mg/L	0.0005	0.002	09/09/11 2:51	pmc

ACZ Laboratories, Inc.
2773 Downhill Drive Steamboat Springs, CO 80487 (800) 334-5493

**Inorganic Analytical
Results**

Entre Mares de Guatemala SA
Project ID: CERRO BLANCO
Sample ID: TFS-13

ACZ Sample ID: **L90177-03**
Date Sampled: 08/22/11 07:20
Date Received: 08/31/11
Sample Matrix: Surface Water

Inorganic Prep

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Total Hot Plate Digestion	M200.2 ICP-MS							09/06/11 15:49	mfm

Metals Analysis

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Arsenic, total	M200.8 ICP-MS	0.0265			mg/L	0.0005	0.002	09/09/11 2:52	pmc

ACZ Laboratories, Inc.
2773 Downhill Drive Steamboat Springs, CO 80487 (800) 334-5493

**Inorganic Analytical
Results**

Entre Mares de Guatemala SA
Project ID: CERRO BLANCO
Sample ID: TFS-14

ACZ Sample ID: **L90177-04**
Date Sampled: 08/22/11 10:05
Date Received: 08/31/11
Sample Matrix: Surface Water

Inorganic Prep

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Total Hot Plate Digestion	M200.2 ICP-MS							09/06/11 15:53	mfm

Metals Analysis

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Arsenic, total	M200.8 ICP-MS	0.0283			mg/L	0.0005	0.002	09/09/11 2:58	pmc

ACZ Laboratories, Inc.
2773 Downhill Drive Steamboat Springs, CO 80487 (800) 334-5493

**Inorganic Analytical
Results**

Entre Mares de Guatemala SA
Project ID: CERRO BLANCO
Sample ID: TFS-15

ACZ Sample ID: **L90177-05**
Date Sampled: 08/22/11 13:10
Date Received: 08/31/11
Sample Matrix: Surface Water

Inorganic Prep

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Total Hot Plate Digestion	M200.2 ICP-MS							09/06/11 15:54	mfm

Metals Analysis

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Arsenic, total	M200.8 ICP-MS	0.0312			mg/L	0.0005	0.002	09/09/11 3:00	pmc

ACZ Laboratories, Inc.

2773 Downhill Drive Steamboat Springs, CO 80487 (800) 334-5493

**Inorganic Analytical
Results**

Entre Mares de Guatemala SA
 Project ID: CERRO BLANCO
 Sample ID: TFS-16

ACZ Sample ID: **L90177-06**
 Date Sampled: 08/23/11 07:20
 Date Received: 08/31/11
 Sample Matrix: Surface Water

Inorganic Prep

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Total Hot Plate Digestion	M200.2 ICP-MS							09/06/11 15:55	mfm

Metals Analysis

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Arsenic, total	M200.8 ICP-MS	0.0186			mg/L	0.0005	0.002	09/09/11 3:05	pmc

ACZ Laboratories, Inc.

2773 Downhill Drive Steamboat Springs, CO 80487 (800) 334-5493

**Inorganic Analytical
Results**

Entre Mares de Guatemala SA
 Project ID: CERRO BLANCO
 Sample ID: TFS-17

ACZ Sample ID: **L90177-07**
 Date Sampled: 08/23/11 10:05
 Date Received: 08/31/11
 Sample Matrix: Surface Water

Inorganic Prep

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Total Hot Plate Digestion	M200.2 ICP-MS							09/06/11 15:57	mfm

Metals Analysis

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Arsenic, total	M200.8 ICP-MS	0.0150			mg/L	0.0005	0.002	09/09/11 3:07	pmc

ACZ Laboratories, Inc.

2773 Downhill Drive Steamboat Springs, CO 80487 (800) 334-5493

**Inorganic Analytical
Results**

Entre Mares de Guatemala SA
 Project ID: CERRO BLANCO
 Sample ID: TFS-18

ACZ Sample ID: **L90177-08**
 Date Sampled: 08/23/11 13:10
 Date Received: 08/31/11
 Sample Matrix: Surface Water

Inorganic Prep

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Total Hot Plate Digestion	M200.2 ICP-MS							09/06/11 15:58	mfm

Metals Analysis

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Arsenic, total	M200.8 ICP-MS	0.0178			mg/L	0.0005	0.002	09/09/11 3:09	pmc

ACZ Laboratories, Inc.

2773 Downhill Drive Steamboat Springs, CO 80487 (800) 334-5493

**Inorganic Analytical
Results**

Entre Mares de Guatemala SA
 Project ID: CERRO BLANCO
 Sample ID: TFS-19

ACZ Sample ID: **L90177-09**
 Date Sampled: 08/24/11 11:05
 Date Received: 08/31/11
 Sample Matrix: Surface Water

Inorganic Prep

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Total Hot Plate Digestion	M200.2 ICP-MS							09/06/11 15:59	mfm

Metals Analysis

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Arsenic, total	M200.8 ICP-MS	0.0428			mg/L	0.0005	0.002	09/09/11 3:11	pmc

ACZ Laboratories, Inc.
2773 Downhill Drive Steamboat Springs, CO 80487 (800) 334-5493

**Inorganic Analytical
Results**

Entre Mares de Guatemala SA
Project ID: CERRO BLANCO
Sample ID: TFS-20

ACZ Sample ID: **L90177-10**
Date Sampled: 08/24/11 13:05
Date Received: 08/31/11
Sample Matrix: Surface Water

Inorganic Prep

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Total Hot Plate Digestion	M200.2 ICP-MS							09/06/11 16:00	mfm

Metals Analysis

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Arsenic, total	M200.8 ICP-MS	0.0324			mg/L	0.0005	0.002	09/09/11 3:13	pmc

ACZ Laboratories, Inc.
2773 Downhill Drive Steamboat Springs, CO 80487 (800) 334-5493

**Inorganic Analytical
Results**

Entre Mares de Guatemala SA
Project ID: CERRO BLANCO
Sample ID: TFS-21

ACZ Sample ID: **L90177-11**
Date Sampled: 08/24/11 15:10
Date Received: 08/31/11
Sample Matrix: Surface Water

Inorganic Prep

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Total Hot Plate Digestion	M200.2 ICP-MS							09/06/11 16:01	mfm

Metals Analysis

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Arsenic, total	M200.8 ICP-MS	0.0544			mg/L	0.0005	0.002	09/09/11 3:15	pmc

ACZ Laboratories, Inc.
2773 Downhill Drive Steamboat Springs, CO 80487 (800) 334-5493

**Inorganic Analytical
Results**

Entre Mares de Guatemala SA
Project ID: CERRO BLANCO
Sample ID: TFS-22

ACZ Sample ID: **L90177-12**
Date Sampled: 08/25/11 07:55
Date Received: 08/31/11
Sample Matrix: Surface Water

Inorganic Prep

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Total Hot Plate Digestion	M200.2 ICP-MS							09/06/11 16:03	mfm

Metals Analysis

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Arsenic, total	M200.8 ICP-MS	0.0133			mg/L	0.0005	0.002	09/09/11 3:17	pmc

ACZ Laboratories, Inc.
2773 Downhill Drive Steamboat Springs, CO 80487 (800) 334-5493

**Inorganic Analytical
Results**

Entre Mares de Guatemala SA
Project ID: CERRO BLANCO
Sample ID: TFS-23

ACZ Sample ID: **L90177-13**
Date Sampled: 08/25/11 10:05
Date Received: 08/31/11
Sample Matrix: Surface Water

Inorganic Prep

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Total Hot Plate Digestion	M200.2 ICP-MS							09/06/11 16:04	mfm

Metals Analysis

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Arsenic, total	M200.8 ICP-MS	0.0172			mg/L	0.0005	0.002	09/09/11 3:19	pmc

ACZ Laboratories, Inc.
2773 Downhill Drive Steamboat Springs, CO 80487 (800) 334-5493

**Inorganic Analytical
Results**

Entre Mares de Guatemala SA
Project ID: CERRO BLANCO
Sample ID: TFS-24

ACZ Sample ID: **L90177-14**
Date Sampled: 08/25/11 13:05
Date Received: 08/31/11
Sample Matrix: Surface Water

Inorganic Prep

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Total Hot Plate Digestion	M200.2 ICP-MS							09/06/11 16:05	mfm

Metals Analysis

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Arsenic, total	M200.8 ICP-MS	0.0065			mg/L	0.0005	0.002	09/09/11 3:21	pmc

ACZ Laboratories, Inc.
2773 Downhill Drive Steamboat Springs, CO 80487 (800) 334-5493

**Inorganic Analytical
Results**

Entre Mares de Guatemala SA
Project ID: CERRO BLANCO
Sample ID: TFS-25

ACZ Sample ID: **L90177-15**
Date Sampled: 08/26/11 07:35
Date Received: 08/31/11
Sample Matrix: Surface Water

Inorganic Prep

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Total Hot Plate Digestion	M200.2 ICP-MS							09/06/11 16:09	mfm

Metals Analysis

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Arsenic, total	M200.8 ICP-MS	0.0150			mg/L	0.0005	0.002	09/09/11 3:30	pmc

ACZ Laboratories, Inc.
2773 Downhill Drive Steamboat Springs, CO 80487 (800) 334-5493

**Inorganic Analytical
Results**

Entre Mares de Guatemala SA
Project ID: CERRO BLANCO
Sample ID: TFS-26

ACZ Sample ID: **L90177-16**
Date Sampled: 08/26/11 10:05
Date Received: 08/31/11
Sample Matrix: Surface Water

Inorganic Prep

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Total Hot Plate Digestion	M200.2 ICP-MS							09/06/11 16:10	mfm

Metals Analysis

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Arsenic, total	M200.8 ICP-MS	0.0207			mg/L	0.0005	0.002	09/09/11 3:32	pmc

ACZ Laboratories, Inc.
2773 Downhill Drive Steamboat Springs, CO 80487 (800) 334-5493

**Inorganic Analytical
Results**

Entre Mares de Guatemala SA
Project ID: CERRO BLANCO
Sample ID: TFS-27

ACZ Sample ID: **L90177-17**
Date Sampled: 08/26/11 13:10
Date Received: 08/31/11
Sample Matrix: Surface Water

Inorganic Prep

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Total Hot Plate Digestion	M200.2 ICP-MS							09/06/11 16:11	mfm

Metals Analysis

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Arsenic, total	M200.8 ICP-MS	0.0213			mg/L	0.0005	0.002	09/09/11 3:34	pmc

ACZ Laboratories, Inc.

2773 Downhill Drive Steamboat Springs, CO 80487 (800) 334-5493

**Inorganic Analytical
Results****Entre Mares de Guatemala SA**

Project ID: CERRO BLANCO

Sample ID: TFS-28

ACZ Sample ID: **L90177-18**

Date Sampled: 08/28/11 07:25

Date Received: 08/31/11

Sample Matrix: Surface Water

Inorganic Prep

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Total Hot Plate Digestion	M200.2 ICP-MS							09/06/11 16:12	mfm

Metals Analysis

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Arsenic, total	M200.8 ICP-MS	0.0206			mg/L	0.0005	0.002	09/09/11 3:36	pmc

ACZ Laboratories, Inc.

2773 Downhill Drive Steamboat Springs, CO 80487 (800) 334-5493

**Inorganic Analytical
Results****Entre Mares de Guatemala SA**

Project ID: CERRO BLANCO

Sample ID: TFS-29

ACZ Sample ID: **L90177-19**

Date Sampled: 08/28/11 10:10

Date Received: 08/31/11

Sample Matrix: Surface Water

Inorganic Prep

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Total Hot Plate Digestion	M200.2 ICP-MS							09/06/11 16:13	mfm

Metals Analysis

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Arsenic, total	M200.8 ICP-MS	0.0198			mg/L	0.0005	0.002	09/09/11 3:38	pmc

ACZ Laboratories, Inc.

2773 Downhill Drive Steamboat Springs, CO 80487 (800) 334-5493

**Inorganic Analytical
Results****Entre Mares de Guatemala SA**

Project ID: CERRO BLANCO

Sample ID: TFS-30

ACZ Sample ID: **L90177-20**

Date Sampled: 08/28/11 13:10

Date Received: 08/31/11

Sample Matrix: Surface Water

Inorganic Prep

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Total Hot Plate Digestion	M200.2 ICP-MS							09/06/11 16:15	mfm

Metals Analysis

Parameter	EPA Method	Result	Qual	XQ	Units	MDL	PQL	Date	Analyst
Arsenic, total	M200.8 ICP-MS	0.0213			mg/L	0.0005	0.002	09/09/11 3:40	pmc

Ángel José Miguel Recinos Carrillo

Autor

Licda. Julia Amparo García Bolaños M.A.

Asesora

MSc. Carolina Guzmán Quilo

Revisora

Licda. Lucrecia Martínez de Haase

Directora de Escuela

Oscar Cóbar Pinto, Ph.D.

Decano