

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



**Determinación y cuantificación de arsénico, plomo y cadmio en agua de pozo
situado en aldea Boca del Monte, Villa Canales, Guatemala**

Jason Humberto Ruiz Dominguez

Químico Farmacéutico

Guatemala, Marzo 2018

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



**Determinación y cuantificación de arsénico, plomo y cadmio en agua de pozo
situado en aldea Boca del Monte, Villa Canales, Guatemala**

Informe de Tesis

**Presentado por
Jason Humberto Ruiz Dominguez**

Para optar al título de

Químico Farmacéutico

Guatemala, Marzo 2018

JUNTA DIRECTIVA

Dr. Rubén Dariel Velásquez Miranda	Decano
Licda. Elsa Julieta Salazar Meléndez de Ariza, M.A.	Secretaria
MSc. Miriam Carolina Guzmán Quilo	Vocal I
Dr. Juan Francisco Pérez Sabino	Vocal II
Lic. Carlos Manuel Maldonado Aguilera	Vocal III
Br. Andreina Delia Irene López Hernández	Vocal IV
Br. Carol Andrea Betancourt Herrera	Vocal V

ACTO QUE DEDICO

A LA VIDA Por darme la oportunidad de poseer el entendimiento y la salud necesaria para concluir mi carrera, y darme la energía vital para seguir adelante a pesar de las adversidades.

A MI MADRE Ruth de Ruiz, por ser la persona que me ha dado el apoyo y motivación a lo largo de mi carrera, y por ayudarme en la toma de mis decisiones.

AGRADECIMIENTOS

- A MI HERMANA** Por darme soporte económico en la realización de esta investigación.
- A MI ASESORA** Licenciada Julia Amparo García, quien me proporcionó el conocimiento y apoyo necesario para la realización de este estudio.
- A MI REVISORA** MSc. Carolina Guzmán, por brindarme su tiempo para la revisión de cada uno de los documentos para llevar a cabo esta investigación.
- A LAS INSTITUCIONES** Laboratorio de Investigación Química Ambiental (LIQA), por brindarme el apoyo para la realización de los análisis pertinentes a esta investigación; Al Instituto Nacional de Geografía (ING) quién me brindó los archivos para completar los objetivos planteados y al Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrografía por los datos brindados.
- A MIS COMPAÑEROS** Quienes me han brindado apoyo y motivación para seguir adelante.
- A LA USAC** Por brindarme la oportunidad de completar mi carrera en su casa de estudios, principalmente a la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia en donde he obtenido todo el conocimiento para mi formación profesional.
- A MI PERSONA** Por que la realización de esta investigación significa un logro más para mi desarrollo tanto personal como profesional.

ÍNDICE

1. RESUMEN.....	7
2. INTRODUCCIÓN.....	9
3. ANTECEDENTES.....	10
4. JUSTIFICACIÓN.....	45
5. OBJETIVOS.....	46
6. HIPÓTESIS.....	47
7. MATERIALES Y MÉTODOS.....	48
8. RESULTADOS.....	52
9. DISCUSIÓN.....	58
10. CONCLUSIONES.....	62
11. RECOMENDACIONES.....	64
12. REFERENCIAS.....	65
13. ANEXOS.....	69

1. RESUMEN

En la actualidad existen muchas actividades que tienen consecuencias negativas para el medio ambiente, poco control en el manejo de desechos de tipo industrial, deforestación, desplazamiento urbano, vertederos de basura ilegales, mismas que contaminan los recursos naturales, en este caso el líquido esencial para la vida: el agua.

Guatemala posee un abundante recurso hídrico, la mayor parte de su aprovechamiento proviene de las aguas de tipo subterráneo, las cuales además de que puedan ser contaminadas por factores externos, también pueden estar contaminadas de forma natural ya que Guatemala en su mayoría posee suelos de tipo volcánico. Por estas razones, se realizó un estudio en un pozo de agua ubicado en la aldea Boca del Monte, municipio de Villa Canales, mismo que distribuye agua a un aproximado de 30 familias diariamente; el objeto fue evaluar la calidad del agua y determinar si existían contaminantes como: arsénico, plomo y cadmio, que son los más comunes y los que mayor riesgo representan a la salud de las personas. Con el fin de poder determinar el comportamiento de la presencia de dichos contaminantes a lo largo de las épocas que se desarrollan en Guatemala las cuales son: época seca y época lluviosa, el estudio tuvo una duración de 6 meses, cubriendo de esta manera ambas épocas.

En Guatemala actualmente está en vigencia la norma COGUANOR NGO 29 001. *Agua para consumo humano (agua potable)*, la cual establece los valores permitidos de las sustancias presentes en el agua, según los valores encontrados en el agua así se determina si la misma es o no apta para el consumo humano, por lo tanto, se tomó como base dicha norma para concluir según los resultados obtenidos. Ya que, la determinación y cuantificación de este tipo de sustancias requiere de equipo especializado fue necesario recurrir a técnicas analíticas como la espectrofotometría de absorción atómica y voltametría, las cuales debido a la sensibilidad que poseen para medir las concentraciones de estos metales proporcionan datos confiables al investigador. Se midieron otros parámetros fisicoquímicos como el pH, la temperatura, la conductividad eléctrica y los sólidos totales disueltos con el objetivo de dar soporte a los datos de la cuantificación de los metales en estudio, los cuales fueron los esperados en cada uno de los casos.

Tanto en la época seca como en la época lluviosa, los valores de la concentración de arsénico, plomo y cadmio, se mantuvieron por debajo del límite máximo permisible (LMP)

que establece la norma COGUANOR NGO 29 001, los valores de pH, temperatura, conductividad y sólidos totales disueltos fueron los esperados, ya que cada uno de los parámetros se encontró por debajo tanto del LMP como del Límite Máximo Aceptable (LMA) que enuncia la norma. Por lo tanto, con estos resultados obtenidos, se puede dar a conocer que el consumo del agua proveniente del pozo en estudio ya sea para beber o cocinar alimentos no representa riesgo para la salud de las personas en cuanto a los efectos tóxicos que puedan provocar este tipo de contaminantes.

2. INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos más abundantes de la Tierra, pero la proporción disponible con seguridad para el consumo humano no llega al 1% del total. El agua potable es indispensable para la supervivencia humana, sin embargo, enfermedades causadas por la contaminación hídrica constituyen la amenaza más frecuente para la salud en el mundo en desarrollo (Instituto de Agricultura; Recursos Naturales y Ambiente et al, 2014).

“De acuerdo con la FAO (2011b), casi el 40 por ciento de los seres humanos cuenta con problemas de escasez de agua. Se estima que actualmente se consume el 54% del agua dulce disponible. La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera que la cantidad adecuada de agua para consumo humano (beber, cocinar, higiene personal y limpieza en el hogar) es de 50 litros/habitante/día. A estas cantidades debe sumarse el aporte necesario para agricultura, la industria y, por supuesto la conservación de los ecosistemas acuáticos, fluviales y, en general, dependientes de agua dulce. Teniendo en cuenta estos parámetros, se considera una cantidad mínima de 100 litros/habitante/día” (Instituto de Agricultura; Recursos Naturales y Ambiente et al, 2014).

En Guatemala, actualmente el agua proveniente de pozos y fuentes constituye un recurso natural esencial y, a la vez grande de suministro de agua para consumo (MARN, 2012). El agua subterránea, proveniente de pozos es un recurso vital de agua potable; es utilizada para abastecer al sector público y doméstico. Cerca del 95% de la población urbana tiene acceso al de agua. De esta cifra, solo el 75% tiene una conexión domiciliaria, mientras que el resto tiene que llevar el agua de pozos cercanos, ríos u otras fuentes (PDH, 2014).

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la presencia de contaminantes en el agua que distribuye un pozo situado en la aldea Boca del Monte, municipio de Villa Canales, Guatemala, el cual proporciona el servicio a un aproximado de 30 familias. Se determinó la presencia de: arsénico, cadmio y plomo. Para evaluar los límites máximos permitidos se tuvo como referencia la norma COGUANOR NGO 29 001. *Agua para consumo humano (agua potable)*.

Se obtuvieron resultados dentro de los parámetros establecidos dentro de la norma, por lo que no fue necesario tomar medidas correctivas o preventivas al agua de dicho pozo.

3. ANTECEDENTES

3.1. Datos generales sobre la aldea Boca del Monte

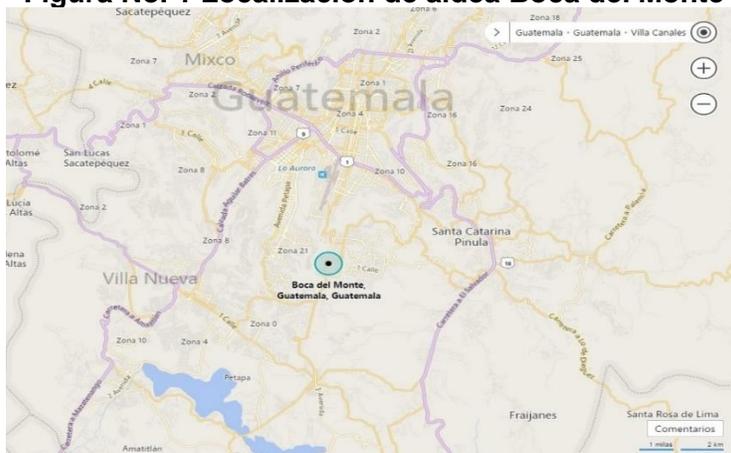
Boca del Monte es una aldea del municipio de Villa Canales, Guatemala. Parte del antiguo acueducto del periodo hispánico al sur de la capital, situada sobre la ruta departamental, Guatemala 1 en dirección sur hay 8 Km. a la aldea. Ésta se encuentra situada al este del río Pinula y sobre la misma ruta en dirección sur, de la aldea al municipio de Villa Canales hay 8 Km de distancia. La aldea se encuentra a 1350 mts SNM (Gall, 1976).

3.1.1. Ubicación geográfica

Se ubica aproximadamente en el kilómetro 12, y es vía de acceso hacia las poblaciones de Villa Canales y colonia Villa Hermosa, tiene una latitud $14^{\circ}32'30''$ y una longitud $90^{\circ}31'44''$. La aldea Boca del Monte se encuentra delimitada dentro del municipio de Villa Canales, Guatemala. Tiene una extensión territorial de 5.18 Km. cuadrados de área total.

Al norte colinda con la zona 13 de la ciudad capital, así como con Santa Catarina Pinula, al sur colinda con la finca San Agustín, y también con Villa Hermosa y Villa Canales. Al este colinda con Santa Catarina Pinula, y al oeste colinda con un barranco y la colonia Justo Rufino Barrios, zona 21 de la capital.

Figura No. 1 Localización de aldea Boca del Monte



Fuente: BingMaps. 2017. Bing. Recuperado de: <https://www.bing.com/maps/>

3.1.2. Datos demográficos de la aldea Boca del Monte

Según estimaciones del INE (Instituto Nacional de Estadística), usando como referencia el último censo oficial realizado en 2002, la población del municipio de Villa Canales al año 2011 se registra de la siguiente manera:

- Población total: 143 258 habitantes
- Población masculina: 71 962 habitantes
- Población femenina: 71 296 habitantes
- Población urbana: 102 997 habitantes
- Población rural: 40 261 habitantes

(INE, 2011)

El desarrollo urbano del sector ha sido lento, se cree que actualmente tiene un crecimiento considerable por migración de habitantes al área metropolitana y la demanda de vivienda y servicios básicos. El crecimiento urbano acelerado en los últimos 40 años en la ciudad, ha provocado su expansión horizontal, superando barreras naturales que hasta entonces habrían delimitado el límite ciudadano (Urizar, 2011).

3.1.3. Hidrografía de Boca del Monte

1. Río Guadrón
2. Río Pínula
3. Río Las Minas
4. Riachuelo Panasequeque
5. Quebrada el Chorro
6. Quebrada Seca
7. Quebrada el Cangrejito

(ING, 2017).

3.2. Sistema Hídrico de Guatemala

“Una de las principales características que definen el paisaje y la productividad de Guatemala, es la abundancia del recurso hídrico que dispone a lo largo y ancho de todo el territorio de la República. Esa misma abundancia ha contribuido desde tiempos ancestrales

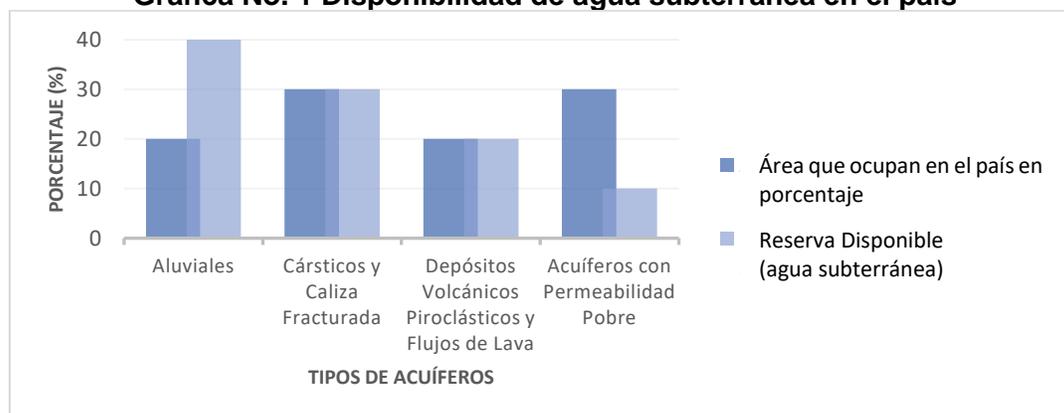
a la vocación agrícola y forestal ya característica del país, el cual con el paso del tiempo, el crecimiento acelerado y desordenado de la población, la ausente gestión integrada, el débil empoderamiento y corresponsabilidad de las comunidades en el uso y protección de sus recursos naturales, ha llevado consigo una serie de impactos negativos al ambiente en especial al recurso hídrico, ello debido a diversos factores como la deforestación, cambios de uso de suelo, ordenamiento territorial inadecuado, insuficientes medidas de migración y adaptación al cambio climático, escasa legislación, limitada capacidad de aplicación de normativas ambientales, entre otros” (MARN, 2012).

3.2.1. Características generales

Por su origen, hay dos grandes zonas de suelos en Guatemala: volcánicos y sedimentarios. En general, el relieve guatemalteco ha ido incrementando en el curso de varios millones de años por emanaciones de material volcánico, producido por las fisuras de placas tectónicas. De esta manera se explica el origen volcánico de la mayoría de suelos en el área central de Guatemala y el poco desarrollo de los suelos ubicados en partes planas del norte, como la región de Petén (MARN, 2012).

“El agua proveniente de pozos y fuentes constituye un recurso esencial y a la vez grande de suministro de agua para el consumo”. El agua subterránea es generalmente abundante en acuíferos sedimentarios a través de las planicies, valles y tierras bajas del país. Sin embargo, en las áreas montañosas la disponibilidad de agua varía considerablemente de localmente abundante a inadecuada para su uso (MARN, 2012).

Gráfica No. 1 Disponibilidad de agua subterránea en el país



Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). 2012. Informe Ambiental del Estado. Guatemala.

La gráfica No. 1 indica que el 70% del territorio de Guatemala tiene una disponibilidad del 90% de los recursos hídricos subterráneos, una de las áreas más importantes son los acuíferos aluviales que ocupan una quinta parte del territorio garantizando una disponibilidad hídrica del 40%, por otro lado, los acuíferos que brindan menos agua subterránea representan el 10% de los recursos hídricos subterráneos (MARN, 2012).

Tabla No. 1 Guatemala: Número de hogares y personas con y sin conexión a red de distribución de agua, 2010

Descripción	Total	%	Urbano metropolitano	Resto urbano	Rural	% Rural
Hogares	2,949,962	100.0	663,435	913,977	1,372,550	100.0
Conectados a red	2,169,247	73.5	629,267	761,981	777,999	56.7
No conectados a una red	780,715	26.5	34,168	151,996	594,551	43.3
Población	14,468,094	100.0	2,716,972	4,317,163	7,433,959	100.0
Conectados a red	10,451,951	72.2	2,558,912	3,598,565	4,294,474	57.8
No conectados a una red	4,016,143	27.8	158,060	718,598	3,139,485	42.2

Fuente: INE, Encuesta Nacional de Empleo e Ingresos, 2010.

Tabla No. 2 Guatemala: Número de hogares y personas con y sin conexión a red de drenajes, 2010

Descripción	Total	%	Urbano metropolitano	Resto urbano	Rural	% Rural
Hogares	2,949,962	100.0	663,435	913,977	1,372,550	100.0
Conectados a red	1,346,346	45.6	584,027	598,629	136,690	11.9
No conectados a una red	1,603,616	54.4	79,408	315,348	1,208,860	88.1
Población	14,468,094	100.0	2,716,972	4,317,163	7,433,959	100.0
Conectados a red	5,993,177	41.4	2,349,500	2,814,582	829,095	11.2
No conectados a una red	8,474,917	58.6	367,472	1,502,581	6,604,864	88.8

Fuente: INE, Encuesta Nacional de Empleo e Ingresos, 2010.

Tabla No. 3 Guatemala: Número de hogares y personas con y sin contador de agua, 2010

Descripción	Total	%	Urbano metropolitano	Resto urbano	Rural	% Rural
Hogares	2,949,962	100.0	663,435	913,977	1,372,550	100.0
Con contador	975,346	33.1	492,114	323,256	159,976	11.7
Sin contador	1,974,616	66.9	171,321	590,721	1,212,574	88.3
Población	14,468,094	100.0	2,716,972	4,317,163	7,433,959	100.0
Con contador	4,297,172	29.7	1,961,419	1,521,874	813,879	10.9
Sin contador	10,170,922	70.3	755,553	2,795,289	6,620,080	89.1

Fuente: INE, Encuesta Nacional de Empleo e Ingresos, 2010.

Tabla No. 4 Guatemala: Número de hogares y personas por medio de obtención de agua, 2010

Descripción	Total	%	Urbano metropolitano	Resto urbano	Rural	% Rural
Hogares	2,949,962	100.0	663,435	913,977	1,372,550	100.0
Tubería (red) dentro de la vivienda	1,871,604	63.4	590,584	661,170	619,850	45.2
Tubería (red) fuera de la vivienda	265,613	9.0	36,540	87,059	142,014	10.3
Chorro público	43,452	1.5	1,108	12,437	29,907	2.2
Pozo perforado público o privado	397,611	13.5	10,763	72,461	314,387	22.9
Río, lago o manantial	208,352	7.1	-	33,611	174,741	12.7
Camión cisterna	18,203	0.6	2,566	1,795	13,842	1.0
Agua de lluvia	41,919	1.4	553	6,953	34,413	2.5
Otro sistema	103,208	3.5	21,321	38,491	43,396	3.2
Población	14,468,094	100.0	2,716,972	4,317,163	7,433,959	100.0
Tubería (red) dentro de la vivienda	8,991,496	62.1	2,396,965	3,135,579	3,458,952	46.5
Tubería (red) fuera de la vivienda	1,308,321	9.0	153,073	399,049	756,202	10.2
Chorro público	219,164	1.5	4,016	54,472	160,676	2.2
Pozo perforado público o privado	2,025,748	14.0	67,930	362,166	1,595,652	21.5
Río, lago o manantial	1,213,264	8.4	-	180,854	1,032,410	13.9
Camión cisterna	82,552	0.6	14,740	5,942	61,870	0.8
Agua de lluvia	236,579	1.6	1,106	36,926	198,547	2.7
Otro sistema	390,970	2.7	79,142	142,178	169,650	2.3

Fuente: INE, Encuesta Nacional de Empleo e Ingresos, 2010.

Tabla No. 5 Guatemala: Número de hogares y personas por tipo de tratamiento que le dan al agua para cocinar, 2010

Descripción	Total	%	Urbano metropolitano	Resto urbano	Rural	% Rural
Hogares	2,949,962	100.0	663,435	913,977	1,372,550	100.0
Ninguno	718,434	24.4	100,936	228,559	388,939	28.3
La hierven	1,057,133	35.8	98,402	317,390	641,641	46.7
La filtran	77,456	2.6	30,136	24,429	22,891	1.7
Le ponen cloro	354,402	12.0	64,833	89,666	199,903	14.6
Compran agua purificada	736,570	25.0	369,128	521,383	116,059	8.5
Otro	5,967	0.2		2,550	3,417	0.2
Población	14,468,094	100.0	2,716,972	4,317,163	7,433,959	100.0
Ninguno	3,686,658	25.5	448,606	1,111,362	2,126,690	28.6
La hierven	5,624,492	38.9	405,918	1,590,847	3,627,727	48.8
La filtran	351,827	2.4	119,647	122,866	109,314	1.5
Le ponen cloro	1,760,260	12.2	300,598	434,824	1,024,838	13.8
Compran agua purificada	3,013,778	20.8	1,442,203	1,047,849	523,726	7.0
Otro	31,079	0.2		9,415	21,664	0.3

Fuente: INE, Encuesta Nacional de Empleo e Ingresos, 2010.

En la tabla No. 1 se muestra que al año 2010 únicamente un 56.7 de los hogares se encuentran conectados a una red de distribución de agua, la tabla No. 2 detalla el porcentaje de población que no cuenta con una conexión a drenaje del cual corresponde a 88.1% al año 2010. En la tabla No. 3 se ve reflejado de igual manera el porcentaje de las personas que no cuentan con drenajes en sus hogares tampoco cuentan con contador de agua ya que no poseen el servicio municipal (INE, 2011).

En la tabla No. 4 se observa que un 22.9% de los hogares obtienen el agua de un pozo público o ya sea privado, aprovechando el agua subterránea. Asimismo, en la tabla No. 5 se detalla la información recopilada por parte del INE del tipo de tratamiento que le dan las personas al agua para cocinar, en donde un 46.7% recurre a hervirla antes de consumir (INE, 2011).

3.3. Metales presentes en afluentes naturales

Muchos productos químicos que se presentan naturalmente son tóxicos para las personas. En la mayoría de los casos, tienen un origen inespecífico. Los productos químicos que se presentan naturalmente en la tierra y en las rocas, por ejemplo, pueden extenderse fácilmente en la tierra o en las aguas superficiales y subterráneas. Por lo tanto, el agua puede ser enriquecida naturalmente por fluoruro, selenio, arsénico, plomo y gran variedad de productos químicos (OPS, 2010).

La industrialización ha dejado un enorme legado de contaminación. Las aguas superficiales y subterráneas han sido contaminadas como resultado de la explotación de los recursos de la Tierra, con metales pesados e hidrocarburos. Las descargas industriales no controladas, actividades militares, vertederos de basura, filtración de tanques de almacenamiento subterráneo, actividades agrícolas y otras actividades humanas han contaminado las aguas superficiales y subterráneas y lo siguen haciendo (OPS, 2010).

Algunos de los contaminantes presentes en el agua se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro No. 1 Clases de contaminantes en el agua

	Clases	Ejemplos
Petróleo e hidrocarburos de carbón	Petróleo crudo Petróleo refinado Productos de combustión o conversión	Alcanos, compuestos heterocíclicos, aromáticos Gasolina, diésel, combustibles de calefacción
Metales	Cadmio, mercurio, plomo, plata, zinc, cobre, cromo, níquel, arsénico	
Desperdicios industriales	Subproductos de proceso, provenientes de minería, dragado y otros procesos de extracción de recursos	Metales, ácidos, ceniza, desalinización del agua, calor (al refrescar el agua), productos químicos anticorrosivos, cianuro, etcétera
Desperdicios municipales y agrícolas (no incluye patógenos)	Nutrientes, variedad productos químicos domésticos y agrícolas, incluyendo los que podrían causar alteraciones endocrinas	Fósforo, nitrógeno, carbón, silicio, antibióticos, desinfectantes, pesticidas, fluoruro, nonilfenol etoxilado, etcétera

Fuente: Organización Panamericana de la Salud (OPS). 2010. Salud Ambiental. De lo Global a lo Local. Editorial: McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V. México.

3.3.1. Arsénico

El arsénico se encuentra presente de forma natural en altos niveles en aguas subterráneas de varios países, el arsénico es un metal muy tóxico en su forma inorgánica, y la mayor amenaza para la salud pública consiste en utilizar agua contaminada para beber, cocinar y riego de cultivos (OMS, 2016).

Aparece en la naturaleza fundamentalmente en dos estados de oxidación: As(III) y As(V), esto es, arsénico trivalente y pentavalente, formando parte de una variedad de compuestos, entre los que podemos citar el trióxido de arsénico y el arsénico sódico (formas de arsénico trivalente) y el peróxido de arsénico y los arseniados de plomo o calcio (arsénico pentavalente) (Moreno, 2003).

Cuadro No. 2 Compuestos del arsénico

Forma/Tipo	Trivalente (As ³)	Pentavalente (As ⁵)
Inorgánico	<ul style="list-style-type: none">• Trióxido de arsénico• Ácido arsenioso• Arsenito sódico• Tricloruro de arsénico	<ul style="list-style-type: none">• Pentóxido de arsénico• Ácido arsénico• Arseniato de plomo• Arseniato de calcio
Orgánico	<ul style="list-style-type: none">• Arsfenamina	<ul style="list-style-type: none">• Arsanilato de sodio

Fuente: Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). 2016. Resúmenes de Salud Pública – Arsénico. Recuperado de: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs2.html

En el cuadro No. 6 se enlistan las dos formas de arsénico que existen, el arsénico inorgánico ocurre naturalmente en el suelo y en muchos tipos de rocas, en mayor cantidad en minerales que contienen cobre o plomo. Cuando estos minerales se calientan en hornos, la mayor parte del arsénico se libera a través de la chimenea en forma de polvo fino que entra a la atmósfera: con el aire el arsénico se convierte en ácido arsenioso, muy tóxico cuando es impuro. Las fundiciones pueden recuperar este polvo y remover el arsénico en la forma del compuesto llamado trióxido de arsénico (Córdoba, 2006).

“En el pasado, los compuestos inorgánicos de arsénico se usaron como plaguicidas, principalmente en cosechas de algodón y huertos frutales. Actualmente, los compuestos inorgánicos de arsénico no se pueden usar en la agricultura. Sin embargo, los compuestos orgánicos de arsénico, específicamente el ácido cacodílico, el arseniato de metilo bisódico (DSMA) y el arseniato de metilo

monosódico (MSMA), aún se usan como plaguicidas, principalmente en algodón. Algunos compuestos orgánicos de arsénico se usan como suplementos en alimentos para animales” (ATSDR, 2016).

3.3.1.1. Usos

1. Fabricación de vidrios, esmaltes, pinturas, extracción de salitre, manipulación de aleaciones de metales, fundiciones y otras industrias.
2. Germicida y conservador en viñedos y cultivos de algodón, cereales, papa, soya, tabaco, etc. Como pesticida en baños de animales, conservación de maderas, etc.
3. Rodenticida y en exterminio de distintos animales dañinos y gérmenes.
4. Actualmente en desuso; medicina humana y veterinaria (Córdoba, 2006)

3.3.1.2. Fuentes de exposición

El arsénico es un elemento natural de la corteza terrestre; distribuido ampliamente en todo el ambiente: aire, agua y tierra. Una exposición a altos niveles de arsénico inorgánico puede ser ocasionada por varias causas, como el consumo de agua contaminada, riego de cultivos alimentarios y para procesos industriales, así como al consumo de tabaco y de alimentos contaminados (OMS, 2016).

El arsénico inorgánico tiende a adsorberse en la materia en suspensión, sedimentos y fracción sólida del suelo, especialmente a las arcillas, óxidos de hierro, hidróxidos de aluminio, compuestos de manganeso y materia orgánica, en aguas superficiales y subterráneas (Moreno, 2003). El estado de oxidación, tanto en suelos como en aguas, depende del potencial redox del medio. En medios oxidantes, con altas concentraciones de oxígeno, predomina el As(V), mientras que el As(III) es la forma más abundante en ambientes reductores. En aguas naturales bien oxigenadas la forma más abundante de arsénico es el arseniato soluble, más estable termodinámicamente en medio acuoso que el arseniato. Es importante mencionar, que tanto la reducción de As(V) a As(III) como la oxidación contraria son procesos que ocurren lentamente, por lo que es posible detectar As(V) en medios poco oxigenados y As(III) en medios oxidantes (Moreno, 2003).

3.3.1.3. Mecanismo de toxicidad

El arsénico no se considera un precipitante activo de proteínas. Esto sugirió que su efecto ocurre sobre sistemas de enzimas, más que sobre factores estructurales de las células vivas. Cuando se produce una inhibición de la respiración mitocondrial, existe una reducción en la producción de Adenosina Trifosfato (ATP) en la célula, aumentando la formación de peróxido de hidrógeno, el cual puede causar estrés oxidativo a través de la producción de especies reactivas de oxígeno. El arsénico tiene acción directa sobre arteriolas y capilares produciendo vasodilatación paralítica, esto explica los signos y síntomas característicos de la intoxicación (Klaassen y Watkins, 2005) (Córdoba, 2006).

“Se ha explicado como el arseniato desacopla la fosforilación oxidativa mitocondrial, sustituyendo competitivamente el ión fosfato por arseniato. Los arsenicales trivalentes tienen gran afinidad por radicales sulfhidrilos enzimáticos especialmente con aquellos que presentan en su estructura dos radicales contiguos, formando estructuras cíclicas en ángulos de 45 grados. El sistema piruvato deshidrogenasa es especialmente sensible a los arsenicales trivalentes por su interacción con dos grupos sulfhidrilos del ácido lipóico, para formar un anillo estable de seis miembros (Córdoba, 2006).

3.3.1.4. Toxicocinética

Cualquiera que sea la forma de un arsenical, todas sus acciones importantes se pueden atribuir a su forma trivalente. *In vivo* los arsenicales pentavalentes son reducidos parcialmente a la forma trivalente (Córdoba, 2006).

- **Absorción:** El arsénico inorgánico se absorbe en gran medida en contacto con la piel. Cuando se aplican unturas lipídicas se aumenta su absorción. La solubilidad juega un papel importante en la absorción digestiva. Los compuestos solubles se absorben bien a través del tracto digestivo y en todas las superficies de la mucosa incluyendo el pulmón. Por vía respiratoria se absorbe bien la arsina (AsH_3) mientras que los demás compuestos son de baja absorción (Córdoba, 2006).

- **Distribución:** Posee una vida media de 10 horas en el organismo. Después de la absorción por cualquier medio, del 95 al 99% del arsénico se localiza en los glóbulos rojos en combinación con la globina de la hemoglobina. Se fija en el hígado, riñón, pared gastrointestinal y el bazo; en la piel se fija mediante grupos -SH unidos a queratina. Atraviesa la placenta (y se fija a ella), por lo que puede perjudicar al feto (Organización Panamericana de la Salud, 1987) (Córdoba, 2006).
- **Metabolismo:** El arsénico causa varios daños al combinarse con los grupos sulfhidrilos de las proteínas celulares. Los compuestos tioarsenicales son relativamente estables, pero pueden ser metabolizados a arsenióxidos activos seguidos de una oxidación. Se metila a monometilarsínico y dimetilarsínico. Su acción resulta en la inhibición del dihidrolipoato que es un cofactor de la piruvato deshidrogenasa, produciendo así un bloqueo del ciclo de Krebs y por consiguiente al bloqueo de la fosforilación oxidativa. También inhibe la transformación de la acetil-CoA y succinil-CoA (Organización Panamericana de la Salud, 1987) (Córdoba, 2006).
- **Excreción:** Se elimina principalmente por orina, heces, sudor, piel descamada, pelo, uñas y leche materna. Del 50 al 80% es excretado en tres días. (Organización Panamericana de la Salud, 1987) (Córdoba, 2006).

3.3.1.5. Toxicidad

La dosis letal del trióxido de arsénico se encuentra entre 2 a 3 mg/Kg, pero la inhalación de arsenamina puede causar la muerte en pocos minutos, si se encuentra en cantidades de 5mg/m³ de aire. La cantidad límite tolerable en ambientes industriales es de 0.05 partes por millón (ppm). En los alimentos se admite hasta 3.5 ppm (Córdoba, 2006).

3.3.1.6. Efectos agudos de intoxicación por arsénico

Tras doce horas de ingerida una dosis de arsénico es posible observar un cuadro gastrointestinal caracterizado por vómitos en proyectil (expulsados con fuerza) y diarrea severa de olor aliáceo y apariencia de “agua de arroz”. Seguidamente aparecen otros efectos: entumecimiento u hormigueo en las manos y los pies o

calambres musculares y, en casos extremos, la muerte (Córdoba, 2006) (OMS, 2016).

El arsénico en su acción directa sobre los capilares y arteriolas afecta especialmente el área esplácnica (sistema vascular responsable de la irrigación del sistema digestivo); se presenta trasudación del plasma y disminución aguda del torrente sanguíneo; luego se presenta lesión miocárdica. La muerte se presenta en la intoxicación aguda por arsénico entre el primero y el decimocuarto día, por la deshidratación, el desequilibrio electrolítico y una gradual caída de la presión arterial (Córdoba, 2006).

La diarrea se caracteriza inicialmente por ser una diarrea entérica, es decir, con contenido intestinal metabolizado, luego una diarrea disentérica de contenido intestinal procedente del intestino delgado, seguida de una diarrea en agua de arroz, es decir, diarrea líquida opalescente, seguida de diarrea mucosa y luego sanguinolenta que avanza hasta una diarrea con colgajos de mucosa debido a los desprendimientos de la misma, esto da paso a la perforación, a la peritonitis y a por ultimo a la muerte (Córdoba, 2006).

3.3.1.7. Efectos crónicos de intoxicación por arsénico

Una exposición prolongada a altos niveles de arsénico inorgánico (por ejemplo, a través del consumo de agua y alimentos contaminados) se observan generalmente en la piel e incluyen cambios en la pigmentación, lesiones cutáneas, durezas y callosidades en las palmas de las manos y las plantas de los pies (hiperqueratosis). Estos efectos se observan tras una exposición mínima aproximadamente de cinco años y pueden desencadenar cáncer de piel (OMS, 2016).

Lo más característico de las intoxicaciones crónicas arsenicales son las alteraciones cutáneas las cuales se caracterizan por las queratodermias y las melanodermias, que se acompañan en su mayoría de carcinomas. La queratodermia, o sea, el espesamiento córneo palmo-plantar, puede ser difusa, pero comúnmente es punteada similar a las verrugas. La melanodermia, es decir, el aumento del pigmento melánico de la piel, puede tener aspecto reticulado difuso o punteado (Córdoba, 2006).

Además de cáncer de piel, la intoxicación crónica por arsénico también puede causar cáncer de vejiga y de pulmón. El Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC) ha clasificado el arsénico y los compuestos de arsénico como cancerígenos para los seres humanos; el arsénico presente en el agua de bebida también ha sido incluido en esa categoría por el CIIC (OMS, 2016).

Otros efectos perjudiciales para la salud asociados a la exposición a largo plazo de arsénico son: problemas relacionados con el desarrollo, neurotoxicidad, diabetes y enfermedades pulmonares y cardiovasculares. Los infartos de miocardio inducidos por el arsénico pueden ser una causa del incremento de la mortalidad. “En China (Provincia de Taiwán), la exposición al arsénico se ha vinculado a la «enfermedad del pie negro», una afección grave de los vasos sanguíneos que causa gangrena. Sin embargo, esta enfermedad no se ha observado en otras partes del mundo; es posible que la malnutrición contribuya a su desarrollo” (Córdoba, 2006) (Peña et al, 2010) (OMS, 2016).

“El arsénico también se asocia a desenlaces adversos del embarazo y mortalidad infantil, repercute en la salud de los niños, y existen pruebas que puede tener una influencia negativa en el desarrollo cognitivo” (OMS, 2016).

3.3.2. Plomo

El Plomo es un metal tóxico sin función conocida en el cuerpo, se encuentra presente de forma natural en la corteza terrestre. Su amplio uso en muchas partes del mundo ha provocado una importante fuente de contaminación al medio ambiente, un nivel alto de exposición humana y problemas a la salud pública (Córdoba, 2006) (OMS, 2016).

Este metal ocupa un 13% del contenido total de la corteza terrestre. Hablando en términos de extracción, el mineral de mayor importancia es la galena, la cual posee un 85% de metal de plomo. Pertenece al grupo IV-B de la tabla periódica y es posible encontrarlo en su estado elemental o en sus dos estados de oxidación, Pb (II) y Pb (IV). Debido a su gran resistencia a la corrosión posee un amplio uso, por lo que el metal y algunos de sus compuestos químicos son ubicuos en el medio ambiente encontrándose en los suelos, ríos, agua y aire (Peña et al, 2010).

3.3.2.1. Compuestos de plomo

- **Plomo metal:** Cuando este se funde a temperaturas cercanas a los 500°C, emite vapores tóxicos y al entrar en las vías respiratorias logran alcanzar con facilidad los alveolos. Según su peso y contenido de agua, quedarán en suspensión en el aire y finalmente caerán al suelo o a las fuentes de agua. Esta es una importante fuente de contaminación ambiental.
- **Plomo inorgánico:** Formado por un grupo muy numeroso, poco soluble y relativamente poco tóxico.
- **Plomo orgánico:** Sus derivados tienen amplio uso industrial.

(Peña et al, 2010).

Cuadro No. 3 Formas de plomo

Forma	Compuesto	Formula	Usos	Comentarios
Inorgánico	Sulfuro de plomo "galena"	PbS		Forma principal de presentación en la naturaleza.
	Monóxido de Plomo	PbO	Insecticida, desecante de aceites y barnices.	Litargio.
	Trióxido de plomo	Pb3O4	Pinturas anticorrosivas.	Minio "rojo de plomo".
	Cromato de plomo	Pb CrO4	Preparación de pigmentos amarillos.	Cromato de plomo.
	Arseniato de plomo	Pb (As3O3)	Insecticida.	
	Carbonato de plomo	Pb (OH)2(CO3)2	Colorantes.	Blanco de plomo.
Orgánico	Tetraetilo de plomo	Pb (C2H5)4	Aditivo gasolina.	Antidetonante.
	Acetato de plomo	Pb (C2H3O2)2	Tintes para cabello, desecante de pinturas y barnices.	Sal de Saturno azúcar de plomo.

Fuente: Peña, L., Arroyave, C., Aristizábal, J y Gómez, U. 2010. Toxicología clínica. Editorial: Corporación para investigaciones biológicas. Colombia.

En la actualidad, aproximadamente el 35% del plomo se utiliza para fabricación de baterías de automóviles y carretillas de carga industrial. Estas baterías poseen un ánodo de plomo y cátodo de óxido de plomo y aleación del mismo metal (Moreno, 2003).

Por su importancia cuantitativa, el segundo uso del plomo es su incorporación a los cristales de monitores de ordenadores y pantallas de televisión, con el fin de absorber radiaciones perjudiciales. También se utiliza en instalaciones químicas como revestimiento protector contra la corrosión por ácido sulfúrico y fosfórico, como material de soldadura, munición, cable, vidrio y en material aislante acústico (Moreno, 2003).

3.3.2.2. Fuentes de exposición

En el medio ambiente el plomo puede provenir de fuentes naturales y humanas. Las fuentes naturales abarcan el desgaste geológico y las emisiones volcánicas, y las humanas están relacionadas con los diversos usos industriales del plomo (Peña et al, 2010). Las personas pueden verse expuestas al plomo en el trabajo o en su entorno, principalmente a través de:

- Inhalación de partículas de plomo resultado de la combustión de materiales que contienen el metal (por ejemplo, actividades de fundición, reciclaje en condiciones no seguras o decapado de pintura con plomo, o al utilizar gasolina con plomo)
- Ingesta de polvo, agua o alimentos contaminados (por ejemplo, agua canalizada a través de tuberías de plomo o alimentos envasados en recipientes con esmalte de plomo)

Otra fuente de exposición al plomo es el uso de algunos productos cosméticos y medicamentos tradicionales (OMS, 2016).

- **Ambientales:** La combustión de motores y la utilización de gasolinas adicionadas de plomo provoca que la concentración de este metal aumente en los humanos, animales o plantas que prueban las cercanías de las grandes vías, concentraciones que decrecen proporcionalmente con la

distancia al tráfico. En la atmósfera la descomposición fotoquímica de los compuestos orgánicos de plomo, como, el tetrametilo y tetraetilo de plomo, se puede transformar a plomo elemental el cual posteriormente es oxidado a sulfato de plomo y carbonato de plomo en presencia de dióxido de azufre y dióxido de carbono en la atmósfera (Córdoba, 2006) (United States Environmental Protection Agency, 2016).

- **Contaminación por alimentos:** El parámetro positivo de plomo en el organismo empieza tras una ingestión superior a 200 µg/día. Una ingesta de 2.5 mg/día requiere aproximadamente cuatro años para la acumulación de una carga tóxica, sin embargo, una ingesta de 3.5 mg/día requiere de pocos meses para acumular una carga tóxica. Un cigarrillo puede contener hasta 12 µg de plomo y la absorción puede ser de 12% (Córdoba, 2006).
- **Ocupacionales:** La utilización de tuberías metálicas como antenas de tierra, que conducen agua, así como las descargas eléctricas pueden desprender iones plúmbicos. Es importante mencionar a las fábricas acumuladoras de energía o baterías, pues estas en el medio generan un problema de mucha importancia en cuanto a la contaminación por plomo se refiere. Es común el saturnismo (intoxicación por plomo) en obreros de fábricas por falta de ambiente adecuado y de higiene. Igualmente es frecuente encontrar contaminación de otras personas por elementos relacionados con recipientes para agua o alimentos, y la falta de precaución con los desechos de baterías, los cuales son arrojados a lugares inadecuados (Córdoba, 2006).

3.3.2.3. Toxicocinética

- **Absorción:** Se absorbe por inhalación, ingestión y a través de la piel. La vía de ingreso, el tamaño de la partícula y el tipo de compuesto de plomo (orgánico o inorgánico), determinan la concentración y la posibilidad de difusión del plomo hacia el organismo. La absorción también puede depender de factores propios del organismo como: edad, estado fisiológico e integridad de los tejidos. Se estima que la absorción diaria de plomo en la población no ocupacionalmente expuesta varía de 150 a 300 µg, de esto un

bajo porcentaje corresponde al aire inhalado y el resto a los alimentos. El plomo inorgánico (agua, pinturas, juguetes, plástico) es absorbido por el tracto respiratorio y gastrointestinal y en menor proporción por la piel (Moreno, 2003) (Peña et al, 2010).

La proporción que se absorbe por vía gastrointestinal depende del estado nutricional y de la edad de la persona expuesta. Es decir, en adultos el promedio de absorción de plomo ingerido es de un 10 a 15%, mientras que en los niños puede alcanzar hasta un 50%. La absorción se incrementa con la presencia de dietas bajas en hierro, calcio, fósforo y zinc. Por la piel se absorbe en su mayoría el plomo orgánico (OPS, 1997) (Moreno, 2003) (Peña et al, 2010).

- **Distribución:** Es distribuido en compartimientos, en primer lugar, circula en sangre unido a glóbulos rojos, el 95% del plomo se encuentra unido al eritrocito, luego se distribuye a los tejidos blandos como hígado, riñón, médula ósea y sistema nervioso central que son los órganos blanco de toxicidad, pasados de 1 a 2 meses el plomo difunde a los huesos donde es inerte y no tóxico (Valdivia, 2005).

En la sangre, aproximadamente el 99% del plomo se encuentra en los eritrocitos, y únicamente el 1% se encuentra en el plasma (Peña et al, 2010). Tiene gran afinidad por los grupos sulfhidrilos, en especial por las enzimas dependientes de zinc. Interfiere con el metabolismo del calcio. El metal es capaz de movilizarse del hueso en situaciones como inmovilidad, embarazo, hipertiroidismo, medicaciones y edad avanzada. El plomo cruza la placenta y la barrera hematoencefálica (Valdivia, 2005).

- **Metabolismo:** El plomo inorgánico es metabolizado. El plomo orgánico, posee metabolismo hepático por el citocromo P450 transformándolo a metabolitos altamente neurotóxicos como el plomo trietil y trimetil (Peña et al, 2010). “Las enzimas que metabolizan los aminoácidos azufrados lo transforman en sulfuro de plomo” (Valdivia, 2005).

- **Excreción:** Se excreta en orina en una proporción del 90% y en menor cantidad por la bilis, piel, cabello, uñas, sudor y leche materna. El plomo atraviesa la placenta, produciendo acumulación en los tejidos fetales proporcionalmente al nivel de plomo en sangre materna. Hay que recordar que, en el hueso está depositado el 90% del plomo y que una disminución de la plumbemia sin quelación indica esta distribución a tejido blando y hueso (OPS, 1997) (Moreno, 2003) (Valdivia, 2005).

3.3.2.4. Intoxicación por plomo

A la intoxicación por plomo también se le conoce con el nombre de saturnismo. Se denomina así debido a que los alquimistas de la antigüedad le llamaban Saturno a dicho elemento. La intoxicación por plomo proveniente del agua ingerida se le denomina saturnismo hídrico, pues el plomo, muy maleable, no interfiere en el sabor del agua ni de los alimentos (Klaasen y Watkins, 2005).

Tabla No. 6 Resumen de los niveles mínimos de efecto observable para las consecuencias del plomo sobre la salud

Efectos	Concentración sanguínea de plomo µg/dL	
	Adulto	Niño
Neurológicos		
Encefalopatía (manifiesta)	80 – 100	100 – 120
Defectos auditivos	20	-
Déficit de CI (Coeficiente Intelectual)	10 – 15	-
Efectos intrauterinos		
Disminuye velocidad de conducción nerviosa	40	40
Hematológicos		
Anemia	80 – 100	80 – 100
Inhibición del Ácido delta aminolevulínico	10	10
Renales		
Nefropatía	40	40 – 60
Metabolismo de la vitamina D	< 30	-
Presión arterial	-	30
Reproducción		
Varones	-	40

Fuente: Klaassen, C y Watkins, J. 2005. Fundamentos de Toxicología. Editorial: Mc-GrawHill/Interamericana de España, S.A. U. España.

3.3.2.5. Efectos agudos de intoxicación por plomo

La toxicidad aguda se observa luego de una exposición respiratoria a altas concentraciones, con encefalopatía, insuficiencia renal y síntomas gastrointestinales (Valdivia, 2005). Es poco frecuente y los síntomas abarcan en primer lugar, sequedad de boca, sed y gusto metálico, seguidos por náusea, dolores abdominales y vómitos (Moreno, 2003).

Los efectos agudos sobre el sistema nervioso central se caracterizan por parestesia, dolor y debilidad muscular. También puede presentarse una crisis hemolítica aguda, acompañada por anemia grave y hemoglobinuria. Los riñones también pueden resultar afectados, con oliguria y albuminuria. Aunque la intoxicación aguda puede causar la muerte, es más frecuente la recuperación, durante la cual pueden presentarse síntomas similares a la intoxicación crónica (Moreno, 2003).

3.3.2.6. Efectos crónicos de intoxicación por plomo

La toxicidad crónica es la más frecuente y se caracteriza por compromiso multisistémico: hematopoyético, sistema nervioso, gastrointestinal, riñón y sistema reproductor (Valdivia, 2005).

- **Sistema nervioso:** De los múltiples órganos afectados por la exposición a plomo, el más importante es el sistema nervioso central. El plomo es capaz de dañar los receptores de N-metil-D-aspartato (NMDA) y la óxido nítrico sintasa, interfiriendo con la unión de calcio a la fosfocinasa C del cerebro (afectando la señalización neuronal), también deteriora el funcionamiento del sistema de péptidos opioides endógenos e incrementa la liberación espontánea de neurotransmisores y su liberación ante los estímulos. Disminuye la formación de mielina, deteriora la integridad de la barrera hematoencefálica, la síntesis de colágeno y la permeabilidad vascular, favoreciendo el edema cerebral (Peña et al, 2010).

El aumento en los niveles de ácido delta-aminolevulínico (ALA), inhibe la liberación de ácido aminobutírico (GABA), esto explica algunos de los

trastornos neurológicos. En los axones periféricos, existe destrucción de las células de Schwann con desmielinización segmental y degeneración axonal, que afecta en mayor medida los nervios motores y en menor proporción los sensitivos (Peña et al, 2010). La alteración de la homeostasis y la captación normal de calcio por los canales de calcio de la membrana, y la sustitución del calcio en las bombas de ATP de calcio y sodio, es otro mecanismo. El plomo también bloquea la entrada de calcio en las terminales cerebrales y disminuye la producción de energía para llevar a cabo funciones cerebrales (Klaassen y Watkins, 2005).

- **Riñón:** Puede inducir estrés oxidativo, con peroxidación lipídica, apoptosis y necrosis, con inhibición o pérdida de los transportadores de membrana, incremento de la conductancia al calcio y aumento en sus niveles citoplasmáticos, también degeneración del ácido desoxirribonucleico (ADN) genómico y mitocondrial y daño al citoesqueleto, resultando en la disfunción de los procesos de exocitosis, edema y fragmentación mitocondrial, que llevan a la disminución del ATP y de la fosforilación oxidativa (Peña et al, 2010).

Es posible observar también fibrosis intersticial asociada a la azotemia renal asintomática y reducción de la velocidad de filtración glomerular. En fases tempranas de la disfunción renal, es posible observar macroscópicamente la formación de células tubulares de cuerpos de inclusión constituidos por un complejo proteína-plomo (Klaassen y Watkins, 2005).

- **Sistema hematopoyético:** “Tiene alta afinidad por las cadenas laterales de aminoácidos, lo que le permite unirse a numerosas proteínas cruciales para la captación, transporte y utilización de hierro, como la transferrina, la mucina, la mobilferritina, la DMT1 (del inglés, *Divalent Metal Transporter 1*) y la hemoglobina, así como cuatro de las enzimas para la síntesis del grupo hemo” (Peña et al, 2010).

- **Sistema óseo:** La formación de trifosfato plúmbico en cambio de trifosfato cálcico, determinan la contextura de los huesos, además la característica de radiopacidad del plomo permite apreciar imágenes radiológicas con aumento de densidad en la metafisis de los huesos largos, especialmente en los intoxicados a edad temprana, en quienes existe un mayor metabolismo a este nivel. De los depósitos óseos, el plomo puede ser incorporado al torrente sanguíneo nuevamente, tras cambios en el equilibrio acidobásico, con tendencia a acidificación (Córdoba, 2006).
- **Sistema cardiovascular:** “La exposición crónica al plomo se ha correlacionado con aumento en la incidencia de hipertensión, accidente cerebrovascular y enfermedad cardiovascular, posiblemente relacionados con el incremento en la producción de radicales libres de oxígeno y la destrucción del óxido nítrico, con daño endotelial secundario” (Peña et al, 2010).

3.3.2.7. Efectos de la intoxicación por plomo en la salud de los niños

El plomo es uno de los metales que puede causar graves consecuencias en la salud de los niños. Si el grado de exposición es alto, ataca al cerebro y al sistema nervioso central, pudiendo provocar coma, convulsiones e incluso la muerte en algunos casos. Los niños que logran sobrevivir una intoxicación grave pueden presentar secuelas, como retraso mental o trastornos de comportamiento.

En los niños afecta el desarrollo del cerebro principalmente, lo que a su vez produce una reducción del cociente intelectual, cambios de comportamiento (por ejemplo, disminución de capacidad de concentración y aumento de conductas antisociales) así como un menor rendimiento escolar. La exposición a plomo además puede ocasionar anemia, hipertensión, disfunción renal, inmunotoxicidad y toxicidad reproductiva. Se cree que los efectos neurológicos y conductuales asociados al plomo son irreversibles (OMS, 2016).

“Las secuelas neurológicas como retardo mental, desórdenes convulsivos, ceguera o hemiparesia, se presentan hasta en el 30% de los pacientes que padecen encefalopatía” (Peña et al, 2010).

La exposición al plomo también se ha asociado a la esterilidad y la muerte neonatal en personas. Se han realizado estudios en animales en donde se ha demostrado el efecto tóxico del plomo sobre los gametos. El aumento de la concentración de plomo en sangre materna parece relacionarse con una reducción de la duración de la gestación y del peso al nacer (Moreno, 2003) (Córdoba, 2006).

3.3.2.8. Carga de morbilidad debida a la exposición al plomo

“El Instituto de Sanimetría y Evaluación Sanitaria ha estimado que en 2013 la exposición al plomo causó 853 000 muertes debido a sus efectos a largo plazo en la salud, y que la mayor carga correspondió a los países de ingresos bajos y medianos. El Instituto estimó asimismo que la exposición al plomo fue responsable del 9,3% de la carga mundial de discapacidad intelectual idiopática, del 4% de la carga mundial de cardiopatía isquémica, y del 6,6% de la carga mundial de accidentes cerebrovasculares” (OMS, 2016).

El plomo y sus compuestos están clasificados por la IARC en el grupo 2B de agentes cancerígenos, posiblemente cancerígenos para el hombre (Moreno, 2003).

3.3.3. Cadmio

El cadmio es conocido como una impureza habitual en las menas de zinc, tanto así, que su propio nombre deriva del término latino para la calamina (*cadmia*, carbonato de zinc). Se encuentra distribuido en toda la corteza terrestre en una concentración de 0.15 a 0.2 ppm. No existe en su estado puro, sino asociado a otros minerales como los de plomo, cobre y zinc. La extensa utilización del cadmio en la industria ha provocado que sea uno de los contaminantes más frecuentes en el medio ambiente (OPS, 1987) (Moreno, 2003)

Es posible encontrar cadmio en todo tipo de terrenos y rocas, incluso minerales de carbón y abonos minerales. La mayor parte del cadmio que se usa en los Estados

Unidos se extrae durante la producción de otros metales. El cadmio no se oxida fácilmente, y posee varios usos (ATSDR, 1999) (Moreno, 2003).

Entre los principales usos y aplicaciones del cadmio o sus compuestos son: fabricación de baterías, como catalizador y para recubrimientos electrolíticos; en forma de sulfuro como pigmento amarillo; en forma de sulfato para recubrimientos electrolíticos y como intermediario en procesos químicos. También se utiliza el cadmio en las barras de control de los reactores nucleares. En todos sus compuestos el estado de oxidación del cadmio es +2 (Moreno, 2003).

3.3.3.1. Fuentes de exposición

Una de las principales fuentes de cadmio para la población general la constituyen los alimentos. Las plantas pueden captar rápidamente el cadmio del suelo, el agua y los fertilizantes contaminados. La exposición laboral a humos de cadmio y al cadmio aerotransportado resulta muy peligroso. Entre las industrias de riesgo se pueden mencionar: refinería electrolítica de plomo y del zinc y otras industrias que utilizan procesos térmicos. Los cigarrillos son una fuente importante de cadmio respirable (Klaassen y Watkins, 2005).

La solubilidad del cadmio en agua se ve afectada por el pH. En medios reductores se puede formar sulfuro de cadmio, un compuesto muy insoluble, que precipita acumulándose en los sedimentos. En suelos ácidos el cadmio puede lixiviarse y desplazarse hacia las aguas subterráneas. El agua en áreas no contaminadas presenta concentraciones muy bajas de cadmio: 0.04 – 0.3 µg/L en océanos y alrededor de 1 µg/L en ríos. En regiones en donde existe contaminación por cadmio estas concentraciones pueden aumentar: así, se han encontrado niveles de 0.001 hasta 0.115 mg/L. La importancia de estas concentraciones en el agua varía según la utilización que se le dé, para consumo humano u otros usos (OPS, 1987) (Moreno, 2003).

3.3.3.2. Toxicocinética

- **Absorción:** Puede ser por inhalación o ingestión. El tamaño y la solubilidad de las partículas inhaladas, determinan la concentración y la posibilidad de difusión del cadmio de los pulmones a la sangre. La

absorción resulta más eficaz por vía inhalatoria y se ve favorecida por dietas reducidas en calcio y hierro, así como por el consumo de dietas bajas en proteínas. El consumo de dietas bajas en calcio estimula la absorción de este ión por síntesis de proteínas ligantes del calcio, lo que a su vez favorece la absorción de cadmio (OPS, 1987) (Moreno, 2003).

- **Distribución:** Cuando alcanza el torrente sanguíneo, el cadmio se transporta ligado a proteínas plasmáticas de alto peso molecular, como la albumina, así como los hematíes. Se cree que parte del transporte de cadmio en la sangre se realiza mediante formación de complejos con la metalotioneína, una proteína de bajo peso molecular (aproximadamente 6.000). “La metalotioneína interviene en el transporte y detoxificación de metales mediante la formación de complejos estables entre los iones metálicos y los grupos sulfhidrilo de dicha proteína, compuesta en aproximadamente un 30% por el aminoácido cisteína. La metalotioneína se encuentra en la placenta, en la que ejerce un papel protector impidiendo el acceso de metales, como el cadmio, a la sangre fetal” (Ramirez, 2002) (Moreno, 2003).

El cadmio se concentra principalmente en riñones e hígado, en los que se calcula que se encuentra entre un 50 y 75% de la carga corporal total. En estos órganos se almacena en forma de complejo con metalotioneína (Moreno, 2003). “El descubrimiento, aislamiento y purificación de la metalotioneína se llevó a cabo precisamente en el curso de investigaciones sobre las funciones biológicas del cadmio. La síntesis de metalotioneína se induce por exposición a ciertos metales, especialmente el propio cadmio o el zinc” (Moreno, 2003).

- **Metabolismo:** No sufre transformación metabólica (Ramirez, 2002).
- **Excreción:** Se produce principalmente a través de la orina y por las heces. La vida media del cadmio en el organismo es bastante larga y se estima entre 10 y 30 años, periodo en el cual permanece almacenado en varios órganos (Moreno, 2003).

3.3.3.3. Intoxicación por cadmio

Las manifestaciones clínicas más importantes de las intoxicaciones con este metal pueden ser agudas o crónicas, generalmente de carácter sistémico. Las intoxicaciones pueden presentarse en la población general, excepto en situaciones de accidentes o contaminaciones masivas, por ejemplo, de alimentos, las que en general suelen ser de carácter crónico (Moreno, 2003).

3.3.3.4. Efectos agudos de intoxicación por cadmio

Los efectos agudos más importantes son los provocados por la inhalación de humos y materia particulada con cadmio, que produce neumonitis, edema pulmonar e incluso la muerte, tanto animales de ensayo como personas expuestas. La solubilidad del compuesto de cadmio inhalado influye en su toxicidad. Entre sus formas más solubles el sulfuro de cadmio, es menos tóxico que otros compuestos como el óxido, sulfato o cloruro (Moreno, 2003). La inhalación de altas cantidades de cadmio puede provocar la aparición de síntomas inespecíficos al principio, que posteriormente se manifiestan como “fiebre de los metales”, alteraciones digestivas, dolor torácico, disnea y edema agudo de pulmón, pudiendo provocar la muerte por insuficiencia respiratoria (Peña et al, 2010).

“La ingestión puede provocar náuseas, vómitos, dolores abdominales y cefalea. Estos síntomas aparecen con la presencia de cadmio en agua o en alimentos en concentraciones de alrededor 15 ppm” (Peña et al, 2010).

3.3.3.5. Efectos crónicos de intoxicación por cadmio

La exposición crónica a bajas concentraciones de cadmio causa diversos efectos tóxicos, entre los que es importante mencionar las enfermedades obstructivas pulmonares crónicas, la degeneración de los túbulos renales, la hipertensión y las alteraciones óseas. Los efectos pulmonares del cadmio suelen comportarse de manera dosis-dependiente y consisten en bronquitis crónica, fibrosis pulmonar y destrucción del tejido alveolar, con la correspondiente aparición de enfisema. Los efectos renales del cadmio se caracterizan por la degeneración de las células de los túbulos, aunque también aparecen cambios en los glomérulos, produciendo así

pérdida de funcionalidad de los riñones. En los casos más avanzados se observan reacciones inflamatorias y fibrosis renal. También se han observado efectos asociados a la anemia, alteraciones hepáticas y cambios en el metabolismo de los minerales. “El ejemplo más conocido es el de Japón, donde se observó una grave enfermedad ósea, problemas gastrointestinales, anemia, daño renal y trastornos hepáticos (enfermedad itai-itai)” (OPS, 1987) (Moreno, 2003).

Los efectos de la exposición crónica al cadmio sobre el esqueleto son producto de las interferencias de este metal en el metabolismo del calcio, así como a la nefropatía asociada, que da lugar al aumento en la excreción de calcio en la orina. Los cambios en los huesos provocados por el cadmio parecen estar asociados a la pérdida de calcio (Moreno, 2003).

Los efectos tóxicos del cadmio sobre el esqueleto consisten en osteomalacia, osteoporosis y dolores óseos. Se ha propuesto un mecanismo para explicar los efectos del cadmio sobre los huesos, según el cual este metal inhibe la activación de la vitamina D en la corteza renal, lo que se traduce en un descenso en la absorción de calcio y en la mineralización ósea (Moreno, 2003) (Peña et al, 2010).

“El cadmio está clasificado como agente cancerígeno del grupo I por la IARC (1993). Esta clasificación se basa fundamentalmente en la asociación entre exposición por inhalación a cadmio y la aparición de cáncer de pulmón en estudios epidemiológicos realizados en trabajadores expuestos por vía inhalación en su centro de trabajo” (Moreno, 2003).

3.4. Estudios realizados en Guatemala haciendo referencia al arsénico, plomo y cadmio

En el año 2015 se publicó el artículo científico: Determinación de arsénico y mercurio en agua superficial del lago de Atitlán, por la Revista Ciencia, Tecnología y Salud; en dicha investigación se determinó que los niveles de arsénico se encontraban por los 20 µg/litro, por lo que el agua del lago de Atitlán no se considera apta para el consumo humano (Sabino, et al, 2015).

En 2013 en el municipio de Chiquimula, Guatemala, se realizó una investigación que consistió en la determinación y evaluación de la calidad de agua en las zonas de recarga hídrica del municipio de Chiquimula, tomando en cuenta las concentraciones de metales pesados asociados a la presencia de oro, siendo estos: arsénico, plata, plomo y antimonio. Se concluyó que el agua de dichas zonas no era apta para el consumo humano ya que poseía presencia de metales (arsénico, plata, plomo y antimonio), en valores arriba del valor recomendado por la Organización Mundial de la Salud (CONCyT, 2013).

En 2009, un equipo multidisciplinario de investigadores formado por Physicians for Human Rights (PHR) se desplazó por una semana en Guatemala para investigar sobre los reclamos hechos sobre el abuso a los derechos humanos debido a la exposición de niveles tóxicos de metales (arsénico, manganeso, cobalto, cadmio, plomo entre otros), sobre pobladores indígenas y los trabajadores de la mina, que vivían cerca de la mina Marlin. El foco de exposición del biomarcador fue el nivel de los metales en sangre y orina. Se encontró que a pesar que el arsénico y otros metales se detectaron en cada uno de los trabajadores de la mina, aquellos que vivían más cerca de la misma presentan un nivel mayor de arsénico inorgánico en orina. Asimismo, en dicho estudio se realizaron muestreos en el agua de 4 ríos cercanos a la mina; en cada uno de los ríos se encontró que el nivel de la concentración de metales pesados aumentaba según la cercanía a la mina (Basu y Hu, 2010).

En el año 2007 se presentó un problema con el recurso hídrico el cual provenía de pozos principalmente contaminado con arsénico en los municipios de Mixco y Chinautla durante muestreos realizados, en donde se comprobó que los niveles de dicho metal se encontraban por arriba del límite aceptado por la OMS, con valores de hasta 0.06 µg/litro (ACL/CAR, 2007).

En el año 2003, se realizó una investigación para determinar la presencia de plomo, cadmio y cobre en fuentes de agua de la República de Guatemala por voltamperometría diferencial de redisolución anódica, en esta investigación se concluyó que las mayores concentraciones del metal plomo se encontraron en los departamentos de San Marcos, Baja Verapaz y Suchitupéquez en ríos que se encuentran muy cercanos a poblaciones, asimismo se menciona que las concentraciones de los metales encontrados (cobre y plomo), en las fuentes de agua de la República de Guatemala analizadas son mayores a la

máxima concentración recomendada por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) (Fuentes, 2003).

3.5. La importancia de la normalización en Guatemala

La normalización es un proceso que tiende a englobar aspectos técnicos inherentes a productos, procesos y servicios, que cobra importancia en el ámbito internacional con la actual globalización de la economía. Actualmente, los países utilizan el cumplimiento normativo como una herramienta estratégica para acceder a nuevos mercados y/o consolidarse en otros, demostrando su competitividad en las áreas de su interés (COGUANOR, 2017).

“En las negociaciones comerciales internacionales, la inclusión del tema de normalización es obligado, para que las empresas puedan competir en igualdad de condiciones. Los tratados de libre comercio son acuerdos entre Estados, cuyo objetivo principal es establecer reglas comunes para normar las relaciones comerciales entre ellos” (COGUANOR, 2017).

3.5.1. COGUANOR NGO NTG 29001 *Agua para consumo humano (agua potable)*.

La Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) es el Organismo Nacional de Normalización, creada por el Decreto No. 1523 del Congreso de la República del 05 de mayo de 1962. El estudio de la norma COGUANOR NGO 29 001. *Agua para consumo humano (agua potable)*. Especificaciones, estuvo a cargo del Comité Técnico de Normalización de Metodologías Microbiológicas (COGUANOR, 2017).

Esta norma es aplicable a toda agua para consumo humano, preparación de alimentos y uso doméstico. Proveniente de fuentes como pozos, nacimientos, ríos, entre otras y que pueda estar asociada a una red de distribución, en reservorios o depósitos. En este normativo se excluyen el agua purificada envasada y el agua carbonatada, las cuales son cubiertas por otras normas específicas (COGUANOR, 2017).

Cuadro No. 4 Características y especificaciones del agua para consumo humano

Relación de las sustancias inorgánicas cuya presencia en el agua es significativa para la salud		
Substancia	Límite Máximo Permitido (mg/L)	
Arsénico (As)	0.010	
Cadmio (Cd)	0.003	
Plomo (Pb)	0.010	
Características físicas y organolépticas que debe tener el agua para consumo humano		
Características	LMA (mg/L)	LMP (mg/L)
Potencial de Hidrogeno	7.0 - 7.5	6.5 – 8.5 ^{(a) (b)}
Sólidos totales disueltos	500.00	1000.0
a) En unidades de pH		
b) Límites establecidos a una temperatura de 25°C		

LMA: Límite máximo aceptable

LMP: Límite máximo permisible

Fuente: COGUANOR. 2013. Norma Técnica Guatemalteca 29001. Guatemala

3.6. Espectroscopía atómica

Actualmente, los métodos de espectroscopía atómica son utilizados para la determinación cualitativa y cuantitativa de más de 70 elementos. Normalmente estos métodos son capaces de detectar cantidades entre partes por millón y partes por billón, e incluso, en algunos casos, concentraciones aún menores. Los métodos de espectroscopía atómica además son rápidos, convenientes y generalmente de alta selectividad (Skoog et al, 2014).

La determinación espectroscópica de especies atómicas solo puede realizarse en un medio gaseoso el cual los átomos individuales o iones elementales, como Fe⁺, Mg⁺ o Al⁺, se encuentran separados uno de otro. Por lo tanto, el primer paso de todos los procedimientos de espectroscopía consiste en la atomización, un proceso en el cual la muestra es volatilizada y descompuesta de tal manera que se producen átomos y iones en fase gaseosa. La eficiencia y reproducibilidad del paso de atomización puede tener una gran influencia sobre la sensibilidad, precisión y exactitud del método (Skoog et al, 2014).

3.6.1. Fundamentos teóricos

La espectroscopía de absorción atómica se basa en la medición de la cantidad de luz que es absorbida por los átomos del analito a la longitud de onda resonante.

La luz que se absorbe sigue la ley de Lambert-Beer. La luz incidente (de las longitudes de onda específicas a las cuales absorben los átomos del analito) es emitida por una lámpara de cátodo hueco o de descarga sin electrodo y es absorbida por la solución que es interceptada por la luz.

- **Lámpara de cátodo hueco:** La fuente de luz se llena generalmente con un gas inerte como Ne o Ar a baja presión (10 – 15 torr), el cual es ionizado en el ánodo. Los iones de Ne cargados positivamente son atraídos por las cargas negativas del cátodo, el cual está formado por el elemento de interés y, al chocar con el mismo, expulsan a los átomos y los excitan.
- **Lámpara de descarga sin electrodo:** Esta lámpara se caracteriza por producir líneas espectrales por excitación de radiofrecuencia del gas inerte que ioniza el metal. Este tipo de lámparas se utiliza para compuestos más volátiles o materiales no conductores. La intensidad de la luz emitida por esta lámpara es de 10 a 100 veces mayor que la lámpara de cátodo hueco, pero es menos estable.

(Armienta et al, 2009)

3.6.2. Generación de Hidruros

“La técnica de absorción atómica con generación de hidruros permite cuantificar en el orden de partes por billón (ppb) o ultratrazas elementos como As, Se, Hg, Sn, Ge, Bi y Te, que tienen la propiedad de formar el hidruro correspondiente. La muestra disuelta en ácido diluido se mezcla con un agente reductor, tal como una solución de zinc y ácido clorhídrico, cloruro de estaño (SnCl_2), o borohidruro de sodio (NaBH_4). Esta reacción produce H atómico que reacciona con los metales antes mencionados en la solución para formar hidruros volátiles” (Armienta et al, 2009).

La reacción de varios oxianiones metaloides con borohidruro de sodio y ácido clorhídrico produce hidruros volátiles: H_2Te , H_2Se , H_3As , H_3Sb , etc. (Chasteen, 2009).

Los hidruros volátiles como la arsina (AsH_3) son arrastrados comúnmente por un gas portador como nitrógeno a una celda de cuarzo, que es calentada por una llama de aire-acetileno a una temperatura optimizada para producir la atomización del analito. Cuando los gases pasan a través de este tubo calentado, se produce una descomposición térmica, y de esta manera se liberan los átomos del elemento (Armienta et al, 2009) (Chasteen, 2009).

La mayoría de los reactivos introducidos en el sistema fluyen a un contenedor de desechos, y ya que el contenido de ácido es muy alto, a menudo se acerca a 50%, el contenedor de residuos debe ser manipulado cuidadosamente y estar bien identificado. La separación del hidruro de la matriz permite un alto rendimiento en la inyección del analito en el espectrofotómetro (Chasteen, 2009).

“La cuantificación de las diferentes especies de As puede realizarse separándolas antes de la formación del hidruro mediante procedimientos de cromatografía, o bien a través del cambio de condiciones de formación de los hidruros como tiempos de reacción y reactivos específicos” (Armienta et al, 2009).

3.6.2.1. Espectroscopía de absorción atómica con generación de hidruros y sistema de inyección en flujo (FIAS)

Consiste en un procedimiento muy utilizado para la cuantificación del arsénico, ya que presenta la particularidad del análisis de menor cantidad de muestra, reduce la producción de residuos y de arsina (cuya toxicidad es elevada) y permite también la automatización de la técnica.

“Se ha definido el sistema FIAS como una técnica analítica para la automatización de los análisis por vía húmeda. Se basa en la manipulación física y química de una zona que contiene la muestra dispersa formada por la inyección de la misma en un fluido portador. Un arreglo de FIAS típico consta de una bomba, una válvula de inyección y un sistema de tuberías o mangueras” (ver Figura No. 2) (Armienta et al, 2009).

Figura No. 2 Esquema de un arreglo de FIA típico

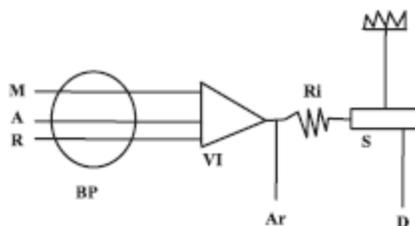


Figura 4.2. Esquema de un arreglo de FIA típico. M: muestra, R: reductor (NaBH₄), A: portador (HCl), BP: sistema de bombas peristálticas, VI: válvula de inyección, Ar: argón, Ri: rizo de reacción, S: separador gas-líquido, At: atomización, D: desecho

Fuente: Armienta, M., Castro, M., Lopez, C., Piñero, A y Sassone A. 2009. Metodologías analíticas para la determinación y especificación de arsénico en aguas y suelos. Capítulo 4: Determinación de Arsénico por el método: absorción atómica-generación de hidruros-FIAS. CYTED. Argentina

La bomba se utiliza para impulsar una o más corrientes al detector por una manguera. Estas corrientes pueden contener los solventes, reactivos o soluciones reguladoras. “Cabe señalar que en el momento de la detección no se alcanza ni el equilibrio físico ni químico. Las características del pico dependen de la hidrodinámica del sistema. Al trabajar en condiciones óptimas, la altura y el área de los picos son proporcionales a la concentración y se usan para la determinación de la misma en la solución problema al compararlas con las de los patrones. Al utilizar el sistema FIAS es muy importante tener en cuenta que la sensibilidad depende de la cantidad de muestra inyectada, del tiempo permitido para la reacción, de la cantidad que se desecha en el separador gas-líquido, del flujo de argón y de las condiciones de la superficie de la celda de cuarzo” (Armienta et al, 2009).

3.6.3. Voltimetría

El término voltimetría se aplica a un grupo de métodos electroanalíticos que registran información acerca del analito, al medir la corriente eléctrica en una celda electroquímica en función del potencial aplicado (Skoog et al, 2014).

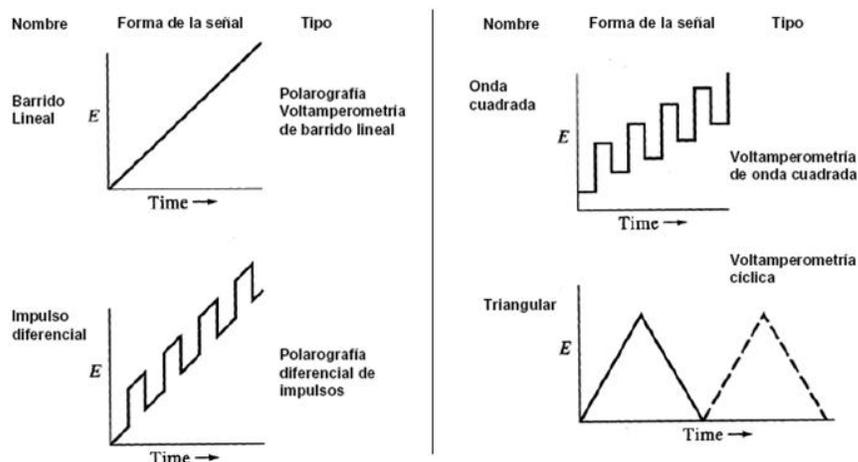
En la voltimetría, la corriente se produce en una celda electroquímica la cual se mide bajo condiciones de polarización por concentración completa.

3.6.3.1. Señales de excitación en voltimetría

“En voltimetría se imprime una señal de excitación de potencial variable a un electrodo de trabajo de una celda electroquímica. Esta señal de excitación produce

una respuesta de corriente característica, la cual es la magnitud que se mide” (Harris, 2010). Las formas de las ondas de las cuatro señales de excitación utilizadas en voltametría se muestran en la siguiente figura:

Figura No. 3 Señales de excitación de voltaje contra tiempo utilizadas en voltametría



Fuente: Skoog, D., West, D., Holler, F y Crouch, S. 2014. Fundamentos de Química Analítica. (9a edición). Editorial: Impresos Vacha. México.

La señal de excitación voltamétrica clásica es el barrido lineal mostrado en la figura No. 3 en el cual el voltaje aplicado a la celda aumenta en forma lineal (usualmente en un intervalo de 2 a 3 V) en función del tiempo. La corriente en la celda se mide en función del tiempo y, por lo tanto, en función del voltaje aplicado (Skoog et al, 2014).

3.6.3.2. Métodos de Redisolución

Los métodos de redisolución abarcan una variedad de procedimientos electroquímicos que poseen una etapa inicial característica común. En todos los procedimientos se comienza por depositar el analito sobre un electrodo de trabajo, normalmente a partir de una solución previamente agitada. Después de un tiempo medido exactamente, se suspende la electrólisis y la agitación, y se determina el analito depositado con uno de los procedimientos voltamétricos que existen (Ver Figura No. 3). Durante esta segunda etapa del análisis, el analito depositado en el

electrodo de trabajo se retira de este redisolviéndolo, lo que da nombre a estos métodos (Skoog et al, 2008).

En los métodos de redisolución anódica el electrodo de trabajo se comporta como un cátodo durante la etapa de depósito y como un ánodo durante la etapa de redisolución, etapa en la que el analito se reoxida regresando a su estado original.

En un método de redisolución catódica, el electrodo de trabajo se comporta como un ánodo durante la etapa de depósito y como un cátodo durante la etapa de disolución.

3.6.3.3. Aplicaciones de la Voltametría

“En general, las aplicaciones cuantitativas se basan en las curvas de calibración en que las alturas de los picos se representan en función de las concentraciones de analito. En algunos casos se utiliza el método de adición estándar. En ambos casos es esencial que la composición de los patrones sea lo más parecida posible a la de la muestra, tanto en las concentraciones de electrolitos como en el pH” (Skoog et al, 2008).

- **Aplicaciones inorgánicas:** Una gran parte de cationes metálicos se reducen en los electrodos de trabajo comunes. Incluso metales alcalinos y alcalinotérreos se reducen. Asimismo, la voltametría se puede aplicar al análisis de aniones inorgánicos (Skoog et al, 2008).
- **Análisis voltamétrico orgánico:** Una gran variedad de grupos funcionales orgánicos se reducen en los electrodos comunes de trabajo, lo que permite la determinación de una amplia variedad de compuestos orgánicos (grupos funcionales oxidables con electrodos de trabajo de platino, oro o carbono) (Skoog et al, 2008).

3.6.4. Interferencias en absorción atómica

Las interferencias se agrupan en tres clases: espectrales, químicas y físicas.

3.6.4.1. Interferencias espectrales

Existen diversas causas como la dispersión o absorción de la luz por partículas sólidas, gotitas de disolvente no vaporizadas o especies moleculares en la flama que pueden ocasionar una interferencia positiva en espectrofotometría de absorción atómica. Este problema se observa especialmente a longitudes de onda menores a 300 nm cuando se aspiran soluciones salinas de alta concentración, ya que se cree que puede ser que la sal no se haya desolvatado por completo o que sus moléculas no se hayan disociado en átomos (Harris, 2010).

3.6.4.2. Interferencias por ionización

En flamas de temperaturas muy elevadas se pueden ionizar fracciones apreciables de elementos alcalinos y alcalinotérreos y otros más. Ya que se están midiendo átomos no ionizados, estos pueden ser capaces de disminuir las señales de emisión o de absorción. En sí, no es necesariamente grave, excepto que puede disminuir la sensibilidad y linealidad del análisis. Cabe mencionar que, la presencia de otros elementos fácilmente ionizables en la muestra adicionará electrones libres a la flama y de esta manera limitará la ionización del elemento que se analiza, lo que causará mayor emisión o absorción e interferencia positiva (Harris, 2010).

3.6.4.3. Interferencias físicas

La mayoría de los parámetros que afectan la rapidez de flujo de la muestra al quemador y la eficiencia de atomización se clasifican como interferencias físicas. Esto incluye aspectos como variaciones en la rapidez del flujo de gases, en la viscosidad de la muestra debido a la temperatura o en el disolvente, un alto contenido de sólidos y cambios en la temperatura de la flama. En general, estas interferencias se pueden evitar al calibrar el equipo con frecuencia y usando estándares internos (Harris, 2010).

4. JUSTIFICACIÓN

El presente estudio tiene como objetivo la evaluación de la presencia de contaminantes en agua que se distribuye en un pozo situado en la aldea Boca del Monte, municipio de Villa Canales, Guatemala, mismo que brinda el servicio a un aproximado de 30 familias. Este pozo posee ya varios años en funcionamiento y no se ha realizado ningún tipo de tratamiento al agua más que cloración, razón por la cual se considera que dicha agua podría no cumplir con los parámetros permitidos, resultando en riesgo a la salud de las personas que la consumen.

El agua es de uso diario, y entre algunos de sus usos es el cocinar con la misma, razón por la cual, la presencia de contaminantes tales como: arsénico, cadmio y plomo, son de gran importancia toxicológica ya que pueden ocasionar efectos dañinos a la salud tras exposiciones prolongadas.

Un aseguramiento de la calidad del agua de este pozo garantizará que las personas que la consuman no presenten ningún tipo de riesgo a la salud, asimismo se podrá respaldar la calidad del servicio prestado a dichas familias.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Evaluar si el agua de un pozo identificado como LA-1, situado en la aldea Boca del Monte, municipio de Villa Canales, departamento de Guatemala, mismo que distribuye a un aproximado de 30 familias, cumple con los parámetros establecidos para la presencia de los contaminantes arsénico, plomo y cadmio según la norma guatemalteca COGUANOR NGO 29 001. *Agua para consumo humano (agua potable)*.

5.2. Objetivos específicos

- 5.2.1. Obtener información de los recursos hídricos cercanos a la zona.
- 5.2.2. Ubicar geo-referencialmente el pozo LA-1 con sus respectivos resultados, para futuros estudios en el área.
- 5.2.3. Medir las concentraciones de arsénico por medio de espectrofotometría de absorción atómica.
- 5.2.4. Medir las concentraciones de cadmio y plomo por medio de voltimetría de redisolución anódica.
- 5.2.5. Determinar el cumplimiento de los parámetros establecidos en agua potable para arsénico, plomo y cadmio; según la norma COGUANOR NGO 29 001. *Agua para consumo humano (agua potable)*.
- 5.2.6. Determinar el cumplimiento de los parámetros: temperatura, pH y concentración de sólidos totales a las muestras, según la norma COGUANOR NGO 29 001. *Agua para consumo humano (agua potable)*.
- 5.2.7. Difundir al área administrativa del pozo LA-1, los resultados obtenidos para que se puedan tomar acciones preventivas o correctivas de ser necesarias.

6. HIPÓTESIS

El agua que distribuye el pozo LA-1 situado en la aldea de Boca del Monte, municipio de Villa Canales, departamento de Guatemala, cumple con los parámetros establecidos para la presencia de contaminantes; arsénico, plomo y cadmio, según la norma guatemalteca COGUANOR NGO 29 001. *Agua para consumo humano (agua potable).*

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1. Universo de trabajo

El agua proveniente del pozo LA-1, situado en la aldea Boca del Monte, municipio de Villa Canales, departamento de Guatemala.

7.2. Muestra

Las muestras de agua obtenidas del pozo LA-1, situado en la localidad antes mencionada, se tomaron 3 muestras en época seca y 3 muestras en época lluviosa.

7.3. Material y Equipo

- Botellas de polietileno de alta densidad de 1000 mL.
- Potenciómetro.
- Termómetro.
- Cápsula de porcelana.
- Horno de calor seco.
- Baño de María.
- Estufa.
- Espectrofotómetro de absorción y emisión atómica marca Thermo modelo S4
- Bomba peristáltica VP100
- Celda de Atomización de calentamiento eléctrico EC90
- Lámparas de arsénico de cátodo hueco.
- Voltamperómetro de redisolución anódica Methrom 797
- Electrodo auxiliar de Platino
- Electrodo de referencia de AgCl/KCl/ 3M
- Electrodo de trabajo de mercurio

7.3.1. Reactivos

- Ácido ascórbico
- Ácido clorhídrico 50%.
- Ácido nítrico 6N.
- Agua desionizada.
- Borohidruro de Sodio.
- Buffer de Acetatos
- Solución estándar de arsénico.
- Solución estándar de cadmio.
- Solución estándar de plomo.
- Yoduro de Potasio

7.4. MÉTODO

7.4.1. Toma de muestras

Las muestras a analizar se tomaron del pozo LA-1, que distribuye el agua, se tomaron 3 muestras en época seca y 3 muestras en época lluviosa: se tomó una muestra cada mes durante cada época. Según datos proporcionados por el INSIVUMEH en el año 2017 la época seca abarcó los meses de marzo hasta mediados de mayo, y la época lluviosa de junio a julio y de agosto a octubre por interrupción de la canícula (INSIVUMEH, 2017). Las muestras se transportaron en botellas de polietileno de alta densidad previamente tratadas para eliminar cualquier contaminante.

La técnica para la toma de muestras será:

- Se enjuagaron las botellas destinadas a las muestras 3 veces con el agua del pozo LA-1.
- Se midió la temperatura y el pH del agua a muestrear en un lapso no mayor a 15 minutos.
- Se tomó el volumen total de la botella de polietileno de alta densidad, que corresponde a 1L. Se llenaron dos botellas: una destinada al análisis de los metales, y otra para la determinación de sólidos totales.
- Para la botella utilizada en la toma de muestra de metales se agregaron 4 mL de ácido nítrico 50% según metodología estandarizada.
- Se identificó cada botella con una etiqueta con los siguientes datos: lugar, fecha, hora, día, recolectado por, tipo de análisis.

7.4.1.1. Número de muestras

En época seca se tomaron 3 muestras: una en cada mes, y en época lluviosa de igual manera, para un total de 6 muestras.

7.5. Medición de temperatura

Debido a que la temperatura afecta la medición del pH esta se determinó a cada una de las muestras a analizar (World Health Organization, 2007).

7.6. Medición de pH

Se midió el pH en los primeros 15 minutos de tomada la muestra con un potenciómetro, esto con el objetivo de poder respaldar la presencia o ausencia de los metales, ya que, si el pH es básico, estos tienden a precipitar como hidróxidos (World Health Organization, 2007).

7.7. Determinación de sólidos totales (Método 2540B)

Se utilizó una cápsula de porcelana previamente seca, para esto se empleó un horno precalentado a 105°C durante 2 horas, posteriormente se dejó enfriar en una desecadora por 2 horas. Se registró el peso de dicha cápsula. Se midió un volumen de 100 mL de agua volumétricamente, se transfirió a la cápsula de porcelana. Posteriormente se introdujo la cápsula en un baño de maría precalentado a temperatura de ebullición del agua, y se retiró cuando se secó totalmente. Se introdujo la cápsula en un horno a 103 – 105°C durante 2 horas. Se llevó la cápsula a una desecadora y se dejó enfriar aproximadamente 2 horas hasta temperatura ambiente. A continuación, se registró el peso de la cápsula y se realizaron los cálculos correspondientes (APHA, 2011).

7.8. Determinación de arsénico (Método 3114C)

Se pre-trataron las muestras con ácido ascórbico y yoduro de potasio 10% a manera de reducir el As^{+5} a As^{+3} . Se puso en funcionamiento el equipo según procedimientos estandarizados de operación, se prepararon las soluciones del estándar de arsénico, se realizó una curva de calibración con concentraciones conocidas que se encontraron dentro de los rangos a evaluar, posteriormente se realizó el análisis de las muestras y se obtuvieron los resultados directamente del software del equipo (APHA, 1998) (ThermoScientific, 2016)

7.9. Determinación de cadmio y plomo (Método 3130B)

Se prepararon las condiciones necesarias de trabajo según el método validado para la determinación, se preparó la celda del equipo con los electrodos de trabajo, auxiliar y referencia, posteriormente se pipeteó la muestra en la celda. Cuando se llegó al periodo de equilibrio, se monitoreó la corriente y se realizaron las mediciones según los datos proporcionados por el software del equipo. (APHA, 2004).

7.10. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

7.10.1. Número de réplicas y diseño de muestreo:

Las muestras se tomaron del pozo, por conveniencia y a manera de cubrir las épocas climáticas de Guatemala durante el año, se realizaron 3 réplicas por época: 3 para época seca y 3 para época lluviosa. Cada muestra se analizó para la identificación y cuantificación de arsénico, plomo y cadmio. Además, se determinaron los siguientes parámetros: pH, temperatura y sólidos totales.

7.10.2. Análisis de resultados:

Los resultados obtenidos se analizaron de la siguiente manera:

- Descripción general de los resultados obtenidos para cada análisis, representando los análisis por medio de media aritmética \pm desviación estándar.
- Cada análisis se clasificó según el cumplimiento de la norma COGUANOR NGO 29 001. *Agua para consumo humano (agua potable)*, y a través de ello, se determinó si es apta o no para consumo humano. Se aplicó prueba de hipótesis binomial, a un nivel de significancia α de 0.05.

Ho: $p = 0.5$ no cumple con la COGUANOR NGO 29 001. *Agua para consumo humano (agua potable)*.

Ha: $p > 0.5$ si cumple con la COGUANOR NGO 29 001. *Agua para consumo humano (agua potable)*.

Para rechazar Ho con 3 réplicas, todas las muestras debieron cumplir con los parámetros de la norma COGUANOR NGO 29 001. *Agua para consumo humano (agua potable)*.

8. RESULTADOS

Los resultados mostrados a continuación, se obtuvieron durante un periodo de 6 meses, en los cuales se cubrió la época seca y época lluviosa del país de Guatemala.

Tabla No. 1 Determinación y cuantificación de arsénico (mg/L)*

Muestra	Época seca	Época lluviosa	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Muestra 1 y 4	0.0028	0.0014	0.010
Muestra 2 y 5	0.0027	0.0016	
Muestra 3 y 6	0.0028	0.0014	

* mg/L: Miligramos por litro

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Investigación y Química Ambiental (LIQA), Zona 12, Guatemala

Gráfica No. 1 Cuantificación de arsénico del agua del pozo LA-1



* mg/L: Miligramos por litro

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Investigación y Química Ambiental (LIQA), Zona 12, Guatemala

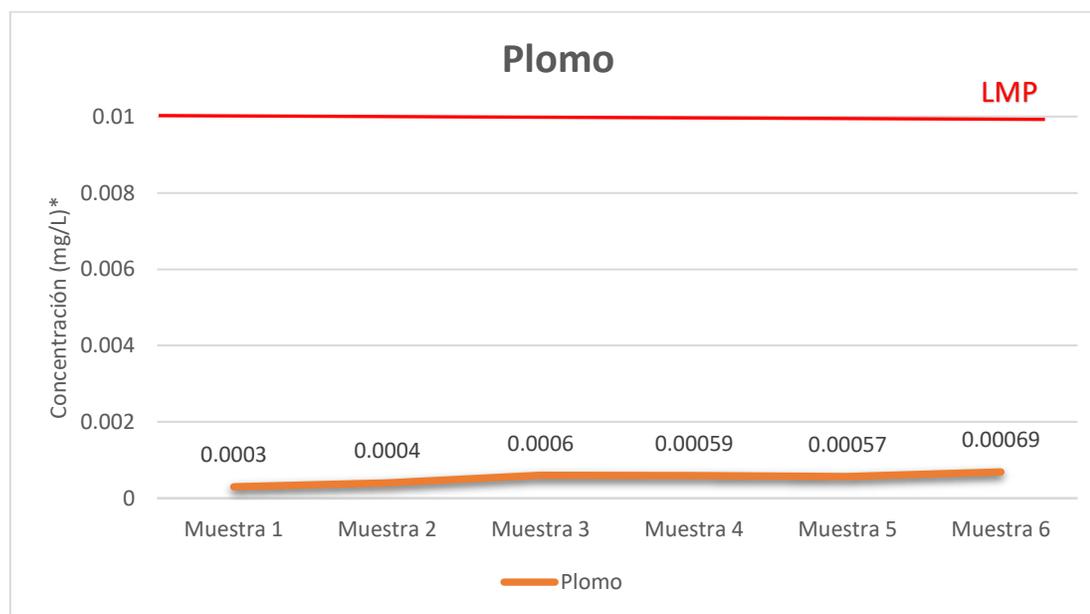
Tabla No. 2 Determinación y cuantificación de plomo (mg/L)*

Muestra	Época seca	Época lluviosa	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Muestra 1 y 4	0.0003	0.00059	0.010
Muestra 2 y 5	0.0004	0.00057	
Muestra 3 y 6	0.0006	0.00069	

* mg/L: Miligramos por litro

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Investigación y Química Ambiental (LIQA), Zona 12, Guatemala

Gráfica No. 2 Cuantificación de plomo del agua del pozo LA-1



* mg/L: Miligramos por litro

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Investigación y Química Ambiental (LIQA), Zona 12, Guatemala

Tabla No. 3 Determinación y cuantificación de cadmio (mg/L)*

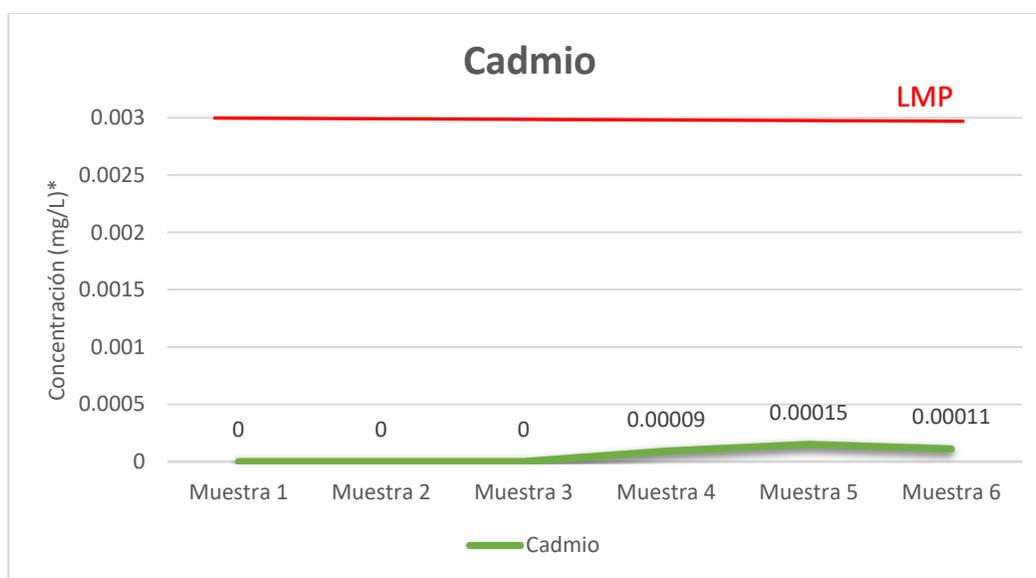
Muestra	Época seca	Época lluviosa	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Muestra 1 y 4	ND*	0.00009	0.003
Muestra 2 y 5	ND*	0.00015	
Muestra 3 y 6	ND*	0.00011	

* mg/L: Miligramos por litro

*ND: La muestra no tuvo valores por ser una concentración mínima

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Investigación y Química Ambiental (LIQA), Zona 12, Guatemala

Gráfica No. 3 Cuantificación de cadmio del agua del pozo LA-1



* mg/L: Miligramos por litro

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Investigación y Química Ambiental (LIQA), Zona 12, Guatemala

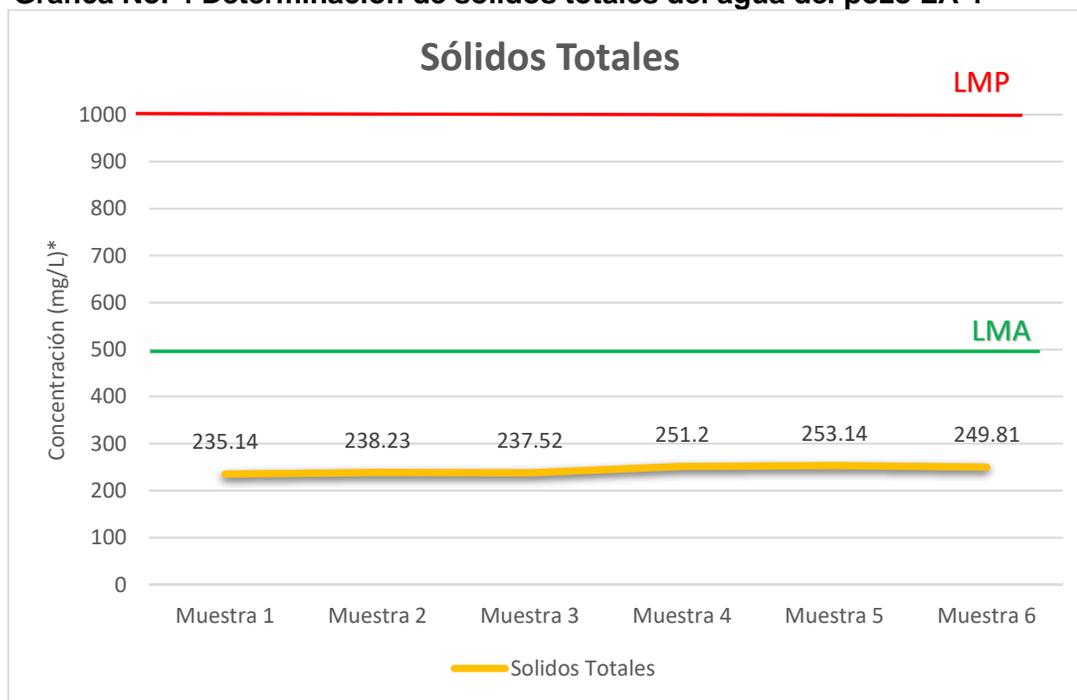
Tabla No. 4 Determinación de sólidos totales del agua del pozo LA-1 (mg/L)

Muestra	Época seca	Época lluviosa	LÍMITE MÁXIMO ACEPTABLE	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Muestra 1 y 4	235.14	251.20	500	1000
Muestra 2 y 5	238.23	253.14		
Muestra 3 y 6	237.52	249.81		

* mg/L: Miligramos por litro

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Análisis Aplicado, Zona 12, Guatemala

Gráfica No. 4 Determinación de sólidos totales del agua del pozo LA-1



* mg/L: Miligramos por litro

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Investigación y Química Ambiental (LIQA), Zona 12, Guatemala

**Tabla No. 5 Determinación de potencial de hidrógeno del agua del pozo LA-1
(Unidades de pH)**

Muestra	Época seca	Época lluviosa	LÍMITE MÁXIMO ACEPTABLE	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Muestra 1 y 4	6.5	6.6	7.0 – 7.5	6.5 – 8.5
Muestra 2 y 5	6.5	6.5		
Muestra 3 y 6	6.6	6.6		

Fuente: Datos experimentales obtenidos en la ubicación del pozo LA-1

Tabla No. 6 Determinación de temperatura del agua del pozo LA-1 (°C)*

Muestra	Época seca	Época lluviosa	LÍMITE MÁXIMO ACEPTABLE	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Muestra 1 y 4	25.0	25.1	-	-
Muestra 2 y 5	25.0	25.0		
Muestra 3 y 6	24.9	25.0		

* °C: Grados Celsius

Fuente: Datos experimentales obtenidos en la ubicación del pozo LA-1

Tabla No. 7 Determinación de la conductividad eléctrica del agua del pozo LA-1 (µS/cm)*

Muestra	Época seca	Época lluviosa	LÍMITE MÁXIMO ACEPTABLE	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Muestra 1 y 6	360	365	750	1500

* µS/cm: Micro siemens por centímetro

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Investigación y Química Ambiental (LIQA), Zona 12, Guatemala

Tabla No. 8 Datos estadísticos de los análisis realizados

No.	Parámetro	Norma COGUANOR NGO 29001 (LMA – LMP)	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar (σ)	Probabilidad	Cumple/No Cumple
1	Arsénico	0 – 0.010 mg/L	0.0014	0.0028	0.002117	0.000717	1.00	CUMPLE
2	Plomo	0 – 0.010 mg/L	0.0003	0.00069	0.000525	0.000145	1.00	CUMPLE
3	Cadmio	0 – 0.003 mg/L	0	0.00015	5.83E-05	6.68E-05	1.00	CUMPLE
4	Sólidos Totales	500 – 1000 mg/L	235.14	253.14	244.1733	8.034156	1.00	CUMPLE
5	Potencial de Hidrógeno (pH)	7.0 – 7.5 – 6.5 8.5	6.5	6.6	6.55	0.054772	1.00	CUMPLE
6	Conductividad eléctrica	750 – 1500 μ S/cm	360	365	362.5	3.535534	1.00	CUMPLE

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Investigación Química Ambiental (LIQA), Laboratorio de Análisis Aplicado, USAC, zona 12 y en la ubicación del pozo LA-1.

9. DISCUSIÓN

En el pozo de agua identificado como LA-1, el cual se ubica en la aldea Boca del Monte, Villa Canales, se realizó la determinación y la cuantificación de los metales: arsénico, plomo y cadmio con la finalidad de evaluar si estos se encontraban presentes dentro de los parámetros permitidos por la norma COGUANOR NGO 29 001. *Agua para consumo humano (agua potable)* (Anexo 1), esta norma tiene por objeto establecer los valores de las características que definen la calidad del agua apta para consumo humano. Ya que, en la actualidad en Guatemala se ha producido un crecimiento acelerado y desordenado de la población, falta de coordinación en gestiones integrales, falta de responsabilidad social, entre otros, no es difícil suponer que los recursos naturales han sufrido impactos negativos a lo largo del tiempo. Guatemala es un país con abundancia en el recurso hídrico, y el mayor porcentaje lo ocupan los recursos hídricos de tipo subterráneos, siendo los más importantes los acuíferos aluviales (MARN, 2012).

Las actividades de tipo industrial no controladas, deforestación, vertederos de basura, actividades agrícolas son unas de las principales razones de la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas; las aguas subterráneas ocupan la mayor parte del recurso hídrico disponible en Guatemala, además el relieve guatemalteco está conformado en su mayoría por suelos de tipo volcánico, lo cual facilita la presencia de contaminantes químicos que pueden resultar perjudiciales para la salud de las personas que los ingieran ya sea a corto o a largo plazo. En el Anexo No. 2 es posible observar la cantidad de recursos hídricos disponibles en el área donde fue realizado el estudio; río Pinula, quebrada El Chorro, riachuelo Panasequeque, siendo estos los más cercanos al área. Así mismo, en el Anexo No. 3 se muestra la topografía de la aldea boca del monte, y en ambos anexos se ilustró con un punto rojo la ubicación exacta del pozo LA-1. La ubicación georeferencial (14°33'28.2"N 90°31'09.9"W) de esta área proporciona un mayor conocimiento de la situación actual para futuros estudios relacionados con contaminación ambiental.

Al año 2010 solamente 56.7% de los hogares guatemaltecos se encontraban conectados a una red de distribución de agua municipal, mientras que el resto lo obtenían de fuentes como: pozos públicos o privados, chorros públicos, ríos, lagos o manantiales entre otros (INE, 2010). Por tales razones, se realizaron muestreos del agua en el pozo antes mencionado abarcando las épocas climáticas que se presentan en el país. En el año

2017 debido al cambio climático, la época seca se desarrolla durante los meses de marzo hasta mediados de mayo, y la época lluviosa de junio a julio y de agosto a octubre interrumpida por los fenómenos de canícula (INSIVUMEH, 2017). Las muestras colectadas durante este tiempo se sometieron a análisis fisicoquímicos con metodologías validadas con el objetivo de evaluar su calidad para el consumo humano sin presentar riesgos en la salud.

En la Tabla No. 1 se muestran los resultados obtenidos para la determinación y cuantificación de arsénico, para obtener los resultados se utilizó la técnica de espectrofotometría de absorción atómica por generación de hidruros. Este metal se encuentra de forma natural en altos niveles en aguas subterráneas, siendo su forma inorgánica la más tóxica representando una amenaza para la salud pública al utilizar agua contaminada para beber, cocinar o regar cultivos (OMS, 2016). Sin embargo, en los análisis realizados tanto en la época seca como en la época lluviosa los valores presentes se encontraron por debajo del Límite Máximo Permisible (LMP), que establece la norma COGUANOR NGO 29 001. *Agua para consumo humano (agua potable)*, el cual corresponde a 0.010 mg/L. En la Gráfica No. 1 se observa el comportamiento a lo largo de los meses que duró el estudio, siendo en la época seca cuando se presentaron los valores máximos (0.0028 mg/L) y en la época lluviosa los valores mínimos (0.0014 mg/L), obteniéndose una media de 0.0021 mg/L.

En la tabla No. 2 se detallan los resultados obtenidos para la determinación y cuantificación de plomo en el agua del pozo LA-1. Para la determinación de este metal se utilizó la técnica de voltametría la cual posee la sensibilidad necesaria para la cuantificación del mismo. El plomo se encuentra de forma natural en la corteza terrestre. Los diversos usos que se le dan al plomo en la actualidad han provocado contaminaciones al medio ambiente, lo cual ha resultado en efectos negativos en la salud de las personas. Existen diversas formas de exposición a este metal tóxico y una de ellas es a través del consumo de agua. Los niños sufren un mayor riesgo al ser expuestos a este contaminante, debido a sus múltiples efectos que van desde disfunciones a nivel cerebral como a nivel cardiovascular (OMS, 2016). Durante el tiempo que duró el estudio los valores obtenidos de este metal en el agua del pozo LA-1, se encontraron por debajo del LMP (0.010 mg/L) establecido por la norma, observándose en la Gráfica No. 2 cómo los valores máximos alcanzaron los 0.00069 mg/L en la época lluviosa y los valores mínimos se obtuvieron en la

época seca con 0.0003 mg/L. Se identifica un aumento leve durante la época lluviosa, esto pudo deberse al arrastre que la lluvia hubiese provocado, sin embargo, la concentración es considerablemente baja como para presentar riesgo a la salud de las personas tras su exposición.

El cadmio es un metal que se encuentra al igual que el plomo distribuido en toda la corteza terrestre. Existe asociado a otros minerales como plomo, cobre y zinc (Moreno, 2003). Existen diferentes formas de exposición al cadmio, entre las cuales se puede mencionar el agua y los alimentos, el cadmio posee propiedades que le permiten lixiviar fácilmente en suelos subterráneos, lo cual resulta en la contaminación del agua allí presente. Los efectos por exposición al cadmio incluyen cefalea, náuseas, obstrucciones pulmonares, entre otras. En la tabla No. 3 se muestran los resultados obtenidos para la determinación y cuantificación de este metal en el agua del pozo LA-1, la técnica utilizada para su cuantificación fue voltametría al igual que el plomo. En época seca la cantidad de cadmio presente en el agua fue tan escasa que no fue detectable por el equipo, mientras que en la época lluviosa se obtuvieron valores máximos de 0.00015 mg/L y valores mínimos de 0.0009 mg/L, en ambos casos dichos valores se encuentran muy por debajo del LMP el que establece la norma de 0.003 mg/L. En la gráfica No. 3 se observan los valores obtenidos durante los seis meses de la investigación, mostrando únicamente valores enteros en los últimos 3 meses, con una media de 0.00005 mg/L, los cuales no representan riesgo para la salud de las personas que consuman el agua del pozo.

A manera de complementar el estudio se determinaron otros parámetros fisicoquímicos en las muestras de agua del pozo LA-1. En la tabla No. 4 se muestran los resultados obtenidos para la determinación de sólidos totales disueltos, la presencia de sólidos totales disueltos por encima de los valores máximos permisibles establecidos por la norma COGUANOR NGO 29 001. *Agua para consumo humano (agua potable)*, permite conocer la presencia de un mayor número de contaminantes en el agua del pozo en estudio, sin embargo, los resultados obtenidos se encuentran por debajo del LMP (1500 mg/L) y el Límite Máximo Aceptable (LMA) de 500 mg/L, observándose el comportamiento en la gráfica No. 4 en donde el máximo fue durante la época lluviosa con un valor de 253.14 mg/L y el mínimo de 235.14 mg/L en la época seca, obteniendo de esta manera una media de 244.17 mg/L, durante los 6 meses. Otro parámetro determinado fue el pH, el cual juega un papel importante ya que, condiciones ácidas favorecen la presencia de metales disueltos

en sus formas catiónicas, mientras que condiciones de pH básicas provocaría que los metales precipiten. En los resultados obtenidos (Tabla No. 5), los valores de pH se encontraron dentro de los límites establecidos por la norma, siendo el LMA de 7.0 – 7.5 y el LMP de 6.5 8.5, cabe resaltar que todos los valores se encuentran muy cercanos al límite inferior del LMP, sin embargo, al ser un agua de tipo subterráneo es muy común que los valores se encuentren dentro del rango de pH ligeramente ácido. Paralelo a la determinación de pH también se realizó la determinación de temperatura del agua del pozo LA-1. Los resultados se muestran en la tabla No. 6 en donde se obtuvieron resultados bastante similares en la determinación de las 6 muestras (25°C). La temperatura se determinó con el fin de verificar que no existieran variaciones en los valores de la determinación de pH. Por último, en la duración del estudio se realizaron dos determinaciones de la conductividad eléctrica del agua del pozo LA-1 (Tabla No. 7), dicha determinación se realizó con el objetivo de complementar el resultado de la presencia o ausencia de los metales cuantificados en la investigación, ya que una alta conductividad puede significar la presencia de metales, los resultados fueron los esperados manteniéndose por debajo del LMP (1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y del LMA (750 $\mu\text{S}/\text{cm}$), con una media de 362.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Todos los parámetros antes mencionados demuestran y dan soporte a los resultados obtenidos en las cuantificaciones de los metales en estudio, con valores por debajo de los límites establecidos por la norma.

Durante la época seca fue posible determinar por medio de la técnica de voltametría los valores de la concentración de los metales Zinc y Cobre obteniéndose una media de 0.009 mg/L y 0.001 mg/L respectivamente (Ver Anexo No. 4, p. 93), a pesar que estos metales no eran objeto del estudio de igual manera se encontraron dentro de los límites establecidos por la norma COGUANOR NGO 29 001. *Agua para consumo humano (agua potable)*.

En la tabla No. 8 se muestran los datos estadísticos de los resultados obtenidos (media y desviación estándar), para las 6 muestras estudiadas en esta investigación, de los cuales todos cumplen con los valores establecidos por la norma, pudiendo de esta manera aceptar la hipótesis planteada en la investigación en donde el agua que distribuye el pozo LA-1 situado en la aldea de Boca del Monte, municipio de Villa Canales, departamento de Guatemala, cumple con los parámetros establecidos para la presencia de contaminantes; arsénico, plomo y cadmio, según la norma guatemalteca COGUANOR NGO 29 001. *Agua para consumo humano (agua potable)*.

10. CONCLUSIONES

- 10.1. Los recursos hídricos identificados más cercanos a la ubicación del pozo LA-1 fueron: el río Pinula, quebrada El Chorro y el riachuelo Panasequeque.
- 10.2. Se logró obtener la ubicación georeferencial (14°33'28.2"N 90°31'09.9"W), así como la información topográfica de la zona cercana al pozo LA-1 gracias al Instituto Nacional de Geografía.
- 10.3. Los resultados obtenidos para la cuantificación de arsénico por medio de la técnica de espectrofotometría de absorción atómica se mantuvieron por debajo del límite máximo permisible establecido por la norma COGUANOR NGO 29001 "*Agua para consumo humano*" con una media de 0.002 mg/L, durante el periodo del estudio.
- 10.4. Los resultados obtenidos para la cuantificación de plomo y cadmio por la técnica de voltametría se encontraron por debajo del límite máximo permisible establecido por la norma COGUANOR NGO 29001 "*Agua para consumo humano*" con una media de 0.0005 mg/L y 0.00005 mg/L respectivamente, en los 6 meses que duró la investigación.
- 10.5. Tanto el arsénico, como el plomo y el cadmio se cuantificaron en valores por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por la norma COGUANOR NGO 29 001. *Agua para consumo humano (agua potable)*, cumpliendo de esta manera con los parámetros establecidos por dicha norma.
- 10.6. La media de los valores obtenidos para los parámetros complementarios en la determinación de los metales fue: temperatura (25°C), pH (6.55), conductividad eléctrica (362.5 µS/cm) y solidos totales (244.17 mg/L) cumpliendo de esta manera con los límites máximos permisibles establecidos por la norma COGUANOR NGO 29 001. *Agua para consumo humano (agua potable)*.

- 10.7.** Los valores obtenidos para la determinación de pH se encontraron muy cercanos al límite inferior permisible.
- 10.8.** Debido a que todos los parámetros evaluados del agua del pozo LA-1 cumplen, no fue necesario tomar ningún tipo de acción preventiva o correctiva a nivel administrativo, únicamente se elaboró un informe con los resultados obtenidos para dar garantía de la calidad del agua suministrada por dicho pozo (Anexo No. 5).

11. RECOMENDACIONES

- 11.1.** De ser posible realizar estudios fisicoquímicos de este tipo al menos una vez al año al agua del pozo LA-1, en donde, además, se midan los niveles de pH con el fin de verificar que dicha agua cumpla con los parámetros establecidos por la norma COGUANOR NGO 29 001. *Agua para consumo humano (agua potable)*. Posterior, se recomienda realizar un reporte en donde se registren los resultados de los análisis practicados y difundirlos a la alcaldía municipal de la región para dar a conocer la calidad del agua distribuida para el consumo humano en dicho pozo.
- 11.2.** Evitar que se desarrollen actividades de tipo industrial o agrícola cercanos a la ubicación del pozo LA-1, ya que puede contaminar la capa freática y por lo tanto el agua que distribuya a futuro.
- 11.3.** Realizar la limpieza del tanque que almacena el agua proveniente del pozo LA-1 de forma periódica y de acuerdo a un procedimiento ya establecido.

12. REFERENCIAS

- ACL/CAR. 2007. "Piden explicación por contaminación de agua potable". Revista electrónica de discusión y propuesta social. Recuperado de: <http://www.albedrio.org/htm/noticias/platina250607.htm>
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). 2016. Resúmenes de Salud Pública – Arsénico. Recuperado de: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs2.html
- American Public Health Association (APHA). 1998. Arsenic and Selenium by Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometry. <http://www.standardmethods.org/store/ProductView.cfm?ProductID=209>
- American Public Health Association (APHA). 2010. Metals by Electrothermal Atomic Absorption Spectrometry. <http://www.standardmethods.org/store/ProductView.cfm?ProductID=206>
- American Public Health Association (APHA). 2011. Total solids dried at 103 – 105°C. <http://www.standardmethods.org/store/ProductView.cfm?ProductID=446>
- Armienta, M., Castro, M., López, C., Piñero, A y Sassone A. 2009. Absorción atómica con horno de grafito. Capítulo 5. CYTED. Argentina
- Armienta, M., Castro, M., López, C., Piñero, A y Sassone A. 2009. Metodologías analíticas para la determinación y especificación de arsénico en aguas y suelos. Capítulo 4: Determinación de Arsénico por el método: absorción atómica-generación de hidruros-FIAS. CYTED. Argentina
- Basu, N. y Hu, H. 2010. Toxic metals and indigenous peoples near the Marlin mine in western Guatemala. Physicians for Human Rights (PHR).
- Chasteen, D. 2009. Hydride Generation Atomic Absorption Spectroscopy. Department of Chemistry. Sam Houston State University. Texas. Recuperado de: http://www.shsu.edu/~chm_tgc/primers/HGAAS.html
- Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR). 2017. Catálogo. Ministerio de Economía. Guatemala.
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCyT). 2013. Calidad del agua del departamento de Chiquimula, Guatemala. Recuperado de: <http://glifos.concyt.gob.gt/digital/fodecyt/fodecyt%202012.60.pdf>
- Córdoba, D. 2006. Toxicología. (5ª edición). Editorial: El Manual Moderno. Colombia.

- Fuentes, I. 2003. Determinación de plomo, cadmio y cobre en fuentes de agua de la república de Guatemala por voltamperometría diferencial de redisolución anódica. Universidad de San Carlos de Guatemala. Escuela de Ingeniería Química.
- Gall, F. 1976. Diccionario Geográfico de Guatemala. Segunda Edición. Tomo I. Instituto Geográfico Nacional. Guatemala.
- Harris, D. 2010. Análisis químico cuantitativo. (6ta edición). Editorial: Reverte. España.
- Instituto de Agricultura; Recursos Naturales y Ambiente (IARNA)., Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)., Keith, J. Perfil del Agro y la Ruralidad de Guatemala 2014. Situación Actual y Tendencias. Editorial Cara Parens. Guatemala
- Instituto Nacional de Estadística (INE). 2011. Características de la población y de los locales de habitación censados. Guatemala.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). 2011. Compendio Estadístico Ambiental. Guatemala.
- Instituto Nacional de Geografía (ING). 2017. Geografía del municipio de Villa Canales. Guatemala.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH). 2017. Pronostico climático de Guatemala. Guatemala.
- Klaassen, C y Watkins, J. 2005. Fundamentos de Toxicología. Editorial: McGrawHill/Interamericana de España, S.A. U. España.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). 2012. Informe Ambiental del Estado. Guatemala.
- Moreno, D. 2003. Toxicología Ambiental. Evaluación de riesgo para la salud humana. Editorial: McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A. U. España.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 2016. Arsénico. Recuperado de: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs372/es/>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 2016. Cadmio. Recuperado de: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs372/es/>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 2016. Plomo. Recuperado de: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs372/es/>
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). 1987. Arsénico. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. Recuperado de: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/eco/005131.pdf>

- Organización Panamericana de la Salud (OPS). 1987. Cadmio. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. Recuperado de: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/eco/004663.pdf>
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). 1997. Plomo. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. Recuperado de: <http://www.bvsde.paho.org/bvstox/fulltext/toxico/toxico-03a11.pdf>
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). 2010. Salud Ambiental. De lo Global a lo Local. Editorial: McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V. México.
- Peña, L., Arroyave, C., Aristizábal, J y Gómez, U. 2010. Toxicología clínica. Editorial: Corporación para investigaciones biológicas. Colombia.
- Procurador de los Derechos Humanos (PDH). 2014. El acceso al agua potable como un derecho humano en Guatemala. Guatemala.
- Ramirez, A. 2002. Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. Anales de la Facultad de Medicina. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Perú. Recuperado de: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/anales/v63_n1/pdf/toxicologia_cadmio.pdf
- Sabino, F., Jovel, B., Hernández, E., Oliva, B., Del Cid, M y Reyes, P. 2015. Determinación de arsénico y mercurio en agua superficial del lago de Atitlán. Revista Ciencia, Tecnología y Salud. Vol. 2 Num 2. Guatemala
- Skoog, D., West, D., Holler, F y Crouch, S. 2014. Fundamentos de Química Analítica. (9a edición). Editorial: Impresos Vacha. México.
- Skoog, D., West, D., Holler., F y Crouch, S. 2008. Principios de análisis instrumental. (6ª edición). Editorial: Cengage Learning Editores. Mexico
- ThermoScientific. 2016. Method Guide – As in Potable waters. Thermo Fisher Scientific. Recuperado de: <http://tools.thermofisher.com/content/sfs/brochures/AN-40729-AAS-Arsenic-Potable-Waters-AN40729-EN.pdf>
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). 2016. Health Effects Assessment for Lead. USEPA 540/1-86-055. Recuperado de: <http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/2000DART.PDF?Dockey=2000DART.PDF>
- Universidad de Granada. sf. Determinación de metales pesados por absorción atómica con horno de grafito. Departamento de Medicina Legal, Toxicología y Psiquiatría. España. Recuperado de: <http://www.ugr.es/~fgil/proyecto/grafito/fundamento3.html>
- Urizar, R. 2011. Diseño de la edificación de dos niveles para guardería, colonia Santa Anita, aldea Boca del Monte, municipio de Villa Canales, Guatemala. Informe final de tesis.

Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

Valdivia, M. 2005. Intoxicación por plomo. Revista de la Sociedad Peruana de Medicina Interna No. 18(1). Departamento de Medicina. Hospital Nacional Arzobispo Loayza. Recuperado de:
http://medicinainterna.org.pe/revista/revista_18_1_2005/Intoxicacion.pdf

World Health Organization. 2007. pH in Drinking-water. Recuperado de:
http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/ph_revised_2007_clean_version.pdf

13. ANEXOS

Anexo No. 1 NORMA TÉCNICA GUATEMALTECA COGUANOR NTG 29001

Agua para consumo humano (agua potable)

**NORMA
TÉCNICA
GUATEMALTECA**

**COGUANOR NTG
29001
Primera Revisión**

Agua para consumo humano (*agua potable*). Especificaciones.

1. CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES

1.1. Características físicas y organolépticas

Cuadro No. 1 Características físicas y organolépticas que debe tener el agua para consumo humano

Características	LMA	LMP
Color	5,0 u	35,0 u ^(a)
Olor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad	5,0 UNT	15,0 UNT ^(b)
Conductividad eléctrica	750 μ S/cm	1500 μ S/cm ^(d)
Potencial de hidrogeno	7,0 – 7,5	6,5 – 8,5 ^{(c)(d)}
Sólidos totales disueltos	500,00 mg/L	1000,0 mg/L

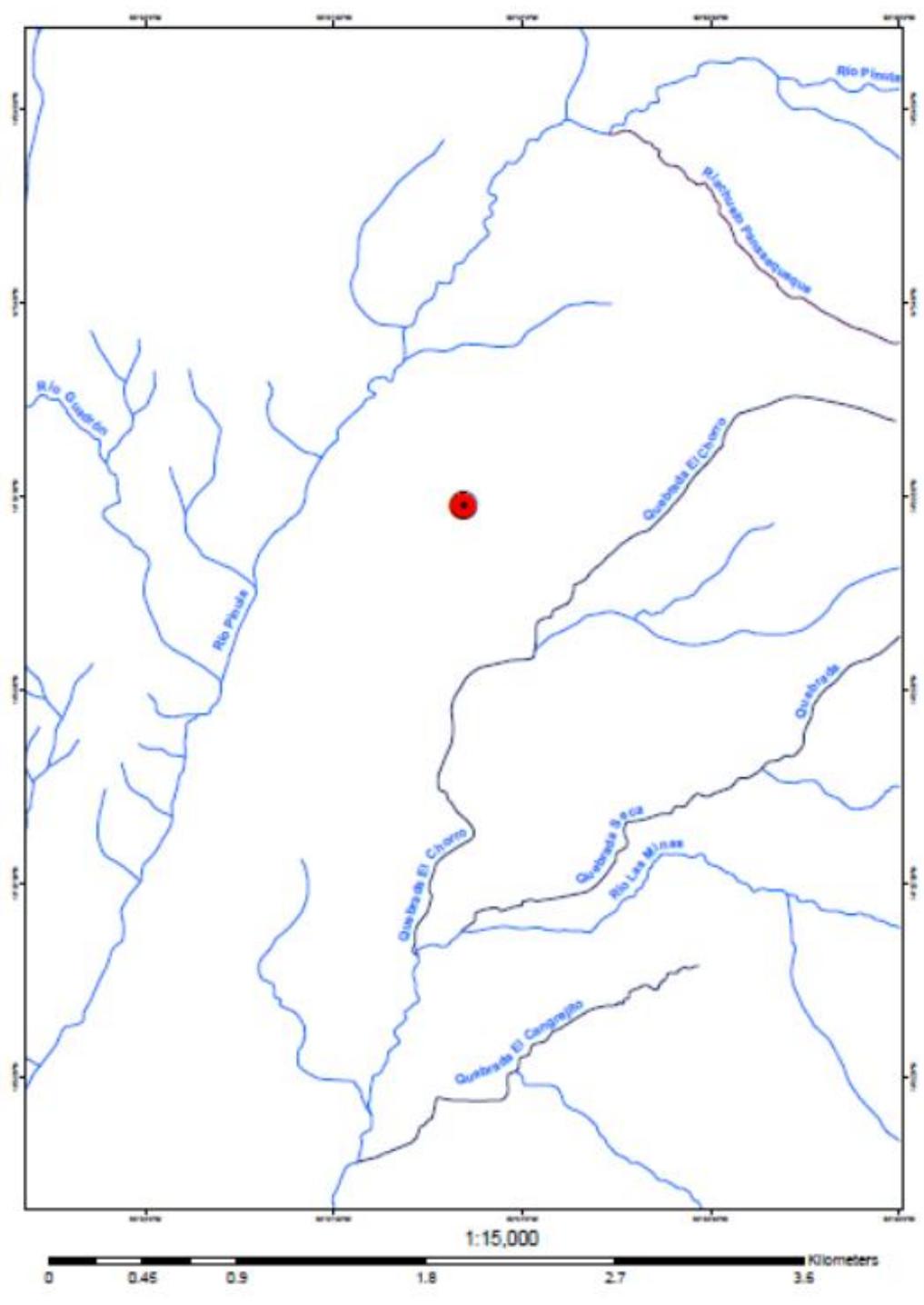
(a) Unidades de color en la escala de platino-cobalto
(b) Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).
(c) En unidades de pH
(d) Límites establecidos a una temperatura de 25°C

1.2. Características químicas

Cuadro No. 3 Relación de las sustancias inorgánicas cuya presencia en el agua es significativa para la salud

Características	LMP (mg/L)
Arsénico (As)	0.010
Bario (Ba)	0.70
Boro (B)	0.30
Cadmio (Cd)	0.003
Cianuro (CN ⁻)	0.070
Cromo total (Cr ⁺)	0.050
Fluoruro (F ⁻)	1.50
Mercurio total (Hg)	0.001
Plomo (Pb)	0.010
Selenio (Se)	0.010
Nitrato (NO ₃ ⁻)	50.0
Nitrito (NO ₂ ⁻)	3.0

Anexo No. 2 Hidrografía de la aldea Boca del Monte



Fuente: Instituto Nacional de Geografía (ING), 2017.

Anexo No. 3 Topografía de la aldea Boca del Monte



Fuente: Instituto Nacional de Geografía (ING), 2017.

Anexo No. 4 Resultados de la determinación de arsénico, cadmio y plomo en el agua del pozo LA-1



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA
ESCUELA DE QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE ANÁLISIS INORGÁNICO

No. 1705345



LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
QUÍMICA Y AMBIENTAL
-LIQA-

Fecha: 07 de julio de 2017

INFORME DE ANALISIS FISICOQUÍMICO

A continuación, se presenta el informe con los resultados de los análisis fisicoquímicos solicitados de tres muestras de agua de pozo.

INFORMACIÓN DEL INTERESADO

Nombre / Institución:	
Con atención a:	
Dirección:	
Teléfono de contacto:	

INFORMACIÓN DE LAS MUESTRAS

Tipo de muestra:	Agua de pozo	Análisis solicitados: As, Cd, Cu, Pb y Zn
Cantidad de muestras:	3 (aprox. 1 L)	
Tipo de envase o embalaje:	Recipientes de plástico con cierre hermético	
Origen de la muestra:	Aldea Boca del Monte, Z.2. Villa Canales.	
Fecha de recepción:	23 de mayo de 2017. 10:30 h	

RESULTADOS

No.	ID MUESTRA INTERESADO	ID MUESTRA LIQA	Arsénico (As) mg/L	Zinc (Zn) mg/L	Cadmio (Cd) mg/L	Plomo (Pb) mg/L	Cobre (Cu) mg/L
1.	A1 (29/03/17)	345-01	0,0028	0,0055	ND	0,0003	0,0009
2.	A2 (21/04/17)	345-02	0,0027	0,0139	ND	0,0004	0,0008
3.	A3 (16/05/17)	345-03	0,0028	0,0089	ND	0,0006	0,0013
Limite de cuantificación (mg/L):			0,0006	0,00005	0,00005	0,00005	0,00005

Observaciones:

Métodos utilizados

La determinación de **arsénico** está basada en: "3114 C. Continuous Hydride Generation Atomic Absorption Method". Standard Methods for the Examination of water and wastewater. 20th Edition. (1998). APHA-AWWA-APCF".

La determinación de **Zinc, Cadmio, Plomo, y Cobre** está basada en: "Voltammetric determination of zinc, cadmium, lead, copper, thallium, nickel and cobalt in water samples" according to DIN 38406 Part 16. Application Bulletin. No. 231/2e. Metrohm. Suiza, 2008.

ND: No detectado. mg/L: miligramos del elemento por cada litro de muestra de agua.

Vo.Bo

M. Sc. Félix Ricardo Vélez Fuentes
Director LIQA
Área Química.

FRVF/rvf
20170707

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN QUÍMICA Y AMBIENTAL (LIQA)
✉: Primer piso, Edificio T-12, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia
Universidad de San Carlos de Guatemala, Zona 12. Guatemala. 01012.
☎: 00 (502) 2418 9412. 🌐: <http://liqa-usac.blogspot.com/>

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
QUÍMICA Y AMBIENTAL

Informe SOLAAR AA

Nombre Operador: Administrador
 Fichero Result.: C:\SOLAAR\MDATA\RESULTS.SLR

Fecha Informe: 23/05/2017 12:41:19

Parámetros Generales

Método: Arsenico
 Operador: Administrador
 Modo Instrum.: Vapor
 Automuestr.: Ningún
 Usar SFI: No
 Dilución: Ninguna

Detalles Análisis

Nombre Análisis: Análisis 1087 23/05/2017
 Espectróm.: Serie S GE712257 v1.27
 Nombre Operador: Administrador

Detalles Muestra

Nº	ID Muestra	Masa Nominal: 1.0000	Masa Muestra	Relac. Dilución
1	345-01	1.0000	1.0000	1.4286
2	345-02	1.0000	1.0000	1.4286
3	345-03	1.0000	1.0000	1.4286
4	intercomparacion	1.0000	1.0000	1.4286

Parámetros Espectróm. - As

Elemento: As
 Modo Medida: Absorbancia
 Long. Onda: 193.7nm
 Rendija: 0.5nm
 Corrección Fondo: D2
 Alta Resolución: Apagado
 Tipo Señal: Continuo
 Re-muestras: Rápido
 Tiempo Medida: 4.0sg
 Modo Rechazo Datos: No
 Corriente lámp.: 75%
 Optimizar Parámetros Espectróm.: No
 Nº de Re-muestras: 5
 Usar Test RSD: No

Parámetros Vapor - As

Modo Vapor: Calentamiento Eléctrico
 Tº Horno: 900°C
 Velocidad Flujo Gas Soporte: 200mL/min
 Velocidad bomba: 40
 Kit Vapor: VP100

Parámetros muestreo - As

Muestreo: Ninguna

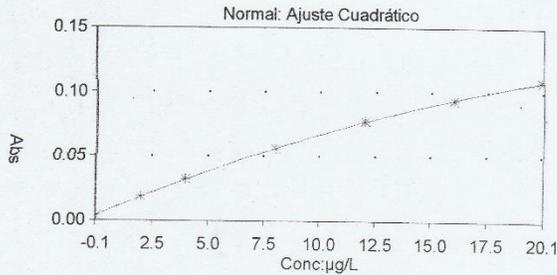
Parámetros Calibrac. - As

Modo Calibrac.: Normal
 Ajuste Lineal: Cuadrático
 Unidades Concentrac.: µg/L
 Usar Calibr. Almacenada: No
 Factor Escala: 1.0000
 Ajuste Aceptable: 0.995
 Re-escalar Limite: 10.0%
 Acción Fallida: Señalizar y continuar

Estándar	Conc. µg/L	Estándar	Conc. µg/L
Estándar1	2.0000	Estándar4	12.0000
Estándar2	4.0000	Estándar5	16.0000
Estándar3	8.0000	Estándar6	20.0000

Result. Disolución - As

Y = -0.000111x² + 0.00744x + 0.0036
 Ajuste: 0.9999
 Min Curvatura: 0%
 Max Curvatura: 0%
 Conc Característica: 0.5966



ID Muestra	Señal	Rsd	Conc.	Conc. Corregida
	Abs	%	µg/L	µg/L
As Blanco	0.00315	16.6	0.0000	
1	0.00245		Fondo: 0.00069	23/05/2017 12:21:00
2	0.00345		Fondo: -0.00055	23/05/2017 12:21:05

Informe SOLAAR AA

Nombre Operador: Administrador

Archivo Result.: C:\SOLAAR\MIDATA\RESULTS.SLR

Fecha Informe: 23/05/2017 12:41:19

Result. Disolución - As

ID Muestra	Señal	Rsd	Conc.	Conc. Corregida
	Abs	%	µg/L	µg/L
3	0.00307	Fondo: -0.00032		23/05/2017 12:21:09
4	0.00384	Fondo: -0.00195		23/05/2017 12:21:14
5	0.00293	Fondo: -0.00027		23/05/2017 12:21:18
As Estándar 1	0.01851	2.0	2.0000	
1	0.01824	Fondo: -0.00020		23/05/2017 12:22:36
2	0.01909	Fondo: 0.00002		23/05/2017 12:22:41
3	0.01846	Fondo: 0.00087		23/05/2017 12:22:45
4	0.01814	Fondo: 0.00030		23/05/2017 12:22:50
5	0.01862	Fondo: 0.00068		23/05/2017 12:22:54
As Estándar 2	0.03174	3.6	4.0000	
1	0.03238	Fondo: 0.00150		23/05/2017 12:24:11
2	0.03030	Fondo: 0.00300		23/05/2017 12:24:15
3	0.03098	Fondo: 0.00137		23/05/2017 12:24:20
4	0.03319	Fondo: 0.00066		23/05/2017 12:24:24
5	0.03183	Fondo: 0.00104		23/05/2017 12:24:29
As Estándar 3	0.05567	2.5	8.0000	
1	0.05738	Fondo: 0.00236		23/05/2017 12:25:45
2	0.05652	Fondo: 0.00212		23/05/2017 12:25:49
3	0.05532	Fondo: 0.00130		23/05/2017 12:25:54
4	0.05361	Fondo: 0.00270		23/05/2017 12:25:58
5	0.05554	Fondo: 0.00062		23/05/2017 12:26:02
As Estándar 4	0.07712	1.2	12.0000	
1	0.07726	Fondo: 0.00235		23/05/2017 12:27:21
2	0.07797	Fondo: 0.00227		23/05/2017 12:27:26
3	0.07811	Fondo: 0.00292		23/05/2017 12:27:30
4	0.07808	Fondo: 0.00239		23/05/2017 12:27:34
5	0.07620	Fondo: 0.00338		23/05/2017 12:27:39
As Estándar 5	0.09379	1.0	16.0000	
1	0.09351	Fondo: 0.00461		23/05/2017 12:29:02
2	0.09487	Fondo: 0.00428		23/05/2017 12:29:07
3	0.09343	Fondo: 0.00405		23/05/2017 12:29:11
4	0.09260	Fondo: 0.00455		23/05/2017 12:29:16
5	0.09455	Fondo: 0.00427		23/05/2017 12:29:20
As Estándar 6	0.10811	0.9	20.0000	
1	0.10844	Fondo: 0.00487		23/05/2017 12:30:42
2	0.10658	Fondo: 0.00434		23/05/2017 12:30:46
3	0.10922	Fondo: 0.00331		23/05/2017 12:30:51
4	0.10847	Fondo: 0.00397		23/05/2017 12:30:55
5	0.10784	Fondo: 0.00533		23/05/2017 12:31:00
As 345-01	0.01781	3.2	1.9710	2.8157
1	0.01794	Fondo: 0.00594		23/05/2017 12:33:16
2	0.01738	Fondo: 0.00622		23/05/2017 12:33:21
3	0.01875	Fondo: 0.00479		23/05/2017 12:33:25
4	0.01743	Fondo: 0.00576		23/05/2017 12:33:30
5	0.01755	Fondo: 0.00534		23/05/2017 12:33:34
As 345-02	0.01730	5.7	1.8987	2.7125
1	0.01896	Fondo: 0.00401		23/05/2017 12:35:07
2	0.01672	Fondo: 0.00598		23/05/2017 12:35:11
3	0.01641	Fondo: 0.00610		23/05/2017 12:35:16
4	0.01732	Fondo: 0.00646		23/05/2017 12:35:20

Informe SOLAAR AA

Nombre Operador: Administrador

Fecha Informe: 23/05/2017 12:41:19

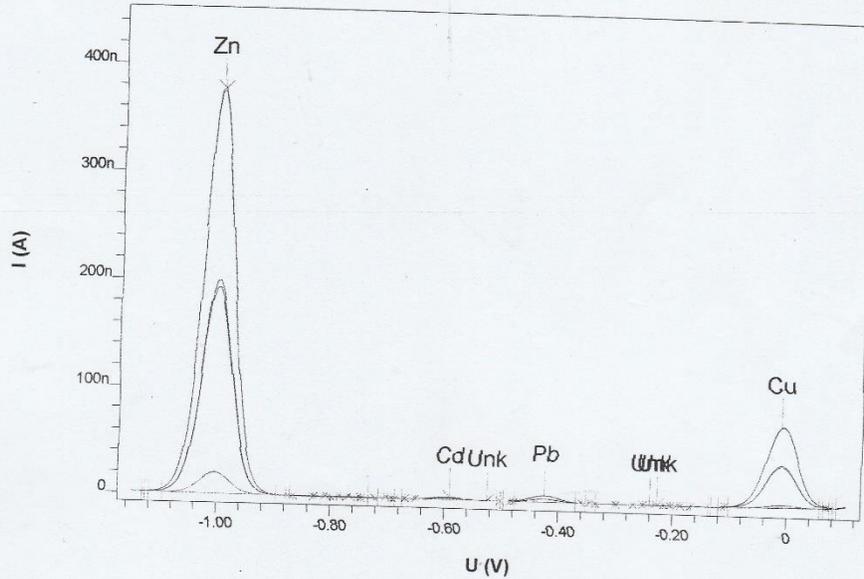
Fichero Result.: C:\SOLAAR\MDATA\RESULTS.SLR

Result. Disolución - As

ID Muestra	Señal	Rsd %	Conc. µg/L	Conc. Corregida µg/L	
5	0.01710		Fondo: 0.00576		23/05/2017 12:35:25
As 34-5-03	0.01781	6.9	1.9711	2.8159	
1	0.01707		Fondo: 0.00685		23/05/2017 12:36:46
2	0.01960		Fondo: 0.00556		23/05/2017 12:36:51
3	0.01779		Fondo: 0.00643		23/05/2017 12:36:55
4	0.01824		Fondo: 0.00653		23/05/2017 12:36:59
5	0.01636		Fondo: 0.00693		23/05/2017 12:37:04
As intercomparacion	0.01569	2.1	1.6701	2.3859	
1	0.01528		Fondo: 0.00782		23/05/2017 12:38:38
2	0.01602		Fondo: 0.00606		23/05/2017 12:38:43
3	0.01563		Fondo: 0.00599		23/05/2017 12:38:47
4	0.01552		Fondo: 0.00667		23/05/2017 12:38:52
5	0.01601		Fondo: 0.00552		23/05/2017 12:38:56

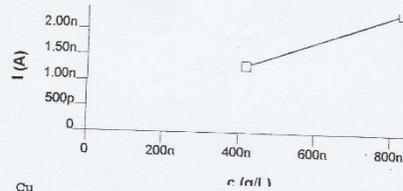
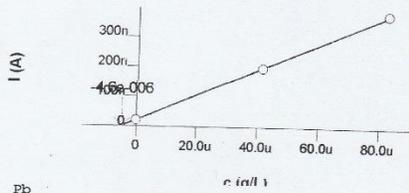
Determination : 1706191700_345.01.dth
 Sample ID : 345.01
 Creator method : administrator Date: 2008-10-29 Time: 11:01:21
 Creator determ.: Administrator Date: 2017-06-19 Time: 17:00:10
 Modified by : --- Date: --- Time: ---

Determination of Zinc, Cadmium, Lead, and Copper acc. to DIN38406/16
 345.01



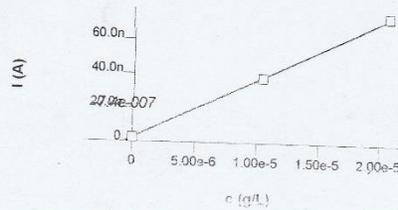
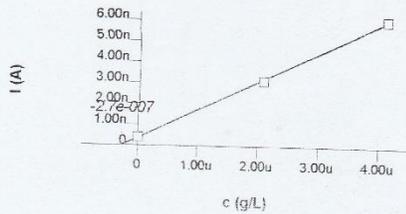
Zn
 c = 5.523 ug/L
 +/- 0.106 ug/L (1.92%)

cd
 c = ---



Pb
 c = 0.318 ug/L
 +/- 0.060 ug/L (18.90%)

Cu
 c = 0.894 ug/L
 +/- 0.079 ug/L (8.84%)



METROHM 797 VA COMPUTRACE (Version 1.3) (Serial No. 13197)

===== METROHM 797 VA COMPUTRACE (Version 1.3.0.77) (Serial No. 13197) =====
 Determination : 1706191700_345.01.dth
 Sample ID : 345.01
 Creator method : administrator Date: 2008-10-29 Time: 11:01:21
 Creator determ.: Administrator Date: 2017-06-19 Time: 17:00:10
 Modified by : --- Date: Time:

 Method : Det of Zn Cd Pb Cu (Scanco).mth
 Title : Determination of Zinc, Cadmium, Lead, and Copper acc. to DIN38406/16
 Remark1 : 15mL sample + 2 mL acetate buffer (1.5mol/L KCl + 0.5mol/L NaAc)
 Remark2 :

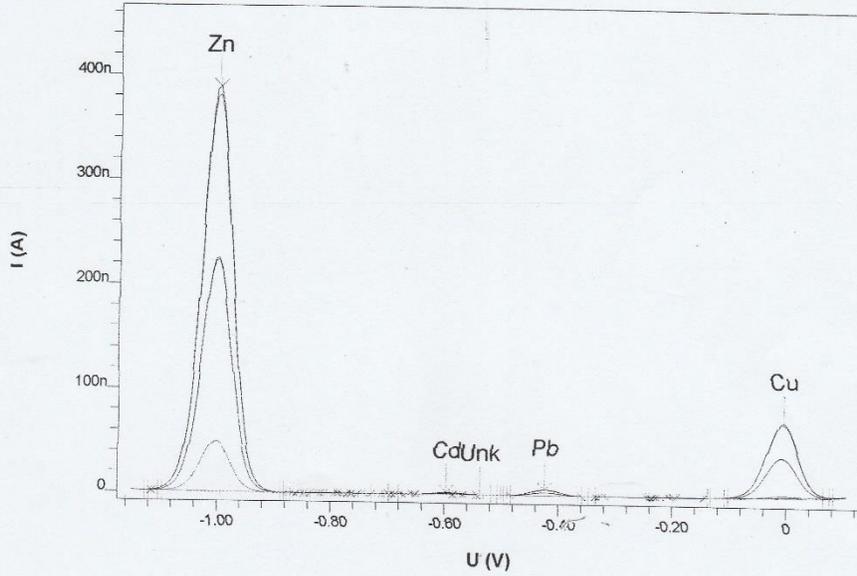
 Sample amount : 20.000 mL
 Cell volume : 24.000 mL

Final results		+/- Res. dev.	%	Comments
Zn: Zinc	= 5.523 ug/L	0.106	1.916	
Cd: Cadmium	= --- ug/L			No result found
Pb: Lead	= 0.318 ug/L	0.060	18.904	
Cu: Copper	= 0.894 ug/L	0.079	8.837	

 Electrode Test : passed

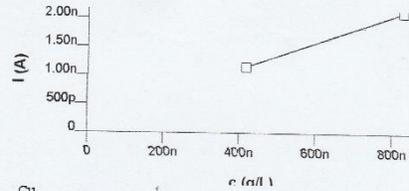
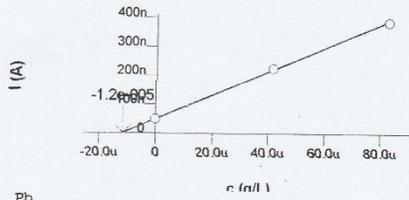
Determination : 1706191556_345.02.dth
 Sample ID : 345.02
 Creator method : administrator Date: 2008-10-29 Time: 11:01:21
 Creator determ.: Administrator Date: 2017-06-19 Time: 15:56:17
 Modified by : --- Date: Time:

Determination of Zinc, Cadmium, Lead, and Copper acc. to DIN38406/16
 345.02



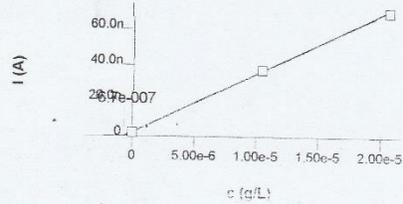
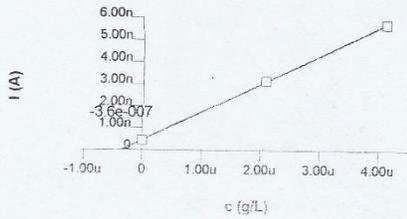
Zn
 c = 13.942 ug/L
 +/- 0.282 ug/L (2.02%)

Cd
 c = ---



Pb
 c = 0.426 ug/L
 +/- 0.045 ug/L (10.45%)

Cu
 c = 0.806 ug/L
 +/- 0.081 ug/L (10.09%)



METROHM 797 VA COMPUTRACE (Version 1.3) (Serial No. 13197)

=====
 Determination : 1706191556_345.02.dch
 Sample ID : 345.02
 Creator method : administrator Date: 2008-10-29 Time: 11:01:21
 Creator determ.: Administrator Date: 2017-06-19 Time: 15:56:17
 Modified by : --- Date: Time:

 Method : Det of Zn Cd Pb Cu (Scanco).mth
 Title : Determination of Zinc, Cadmium, Lead, and Copper acc. to DIN38406/16
 Remark1 : 15mL sample + 2 mL acetate buffer (1.5mol/L KCl + 0.5mol/L NaAc)
 Remark2 :

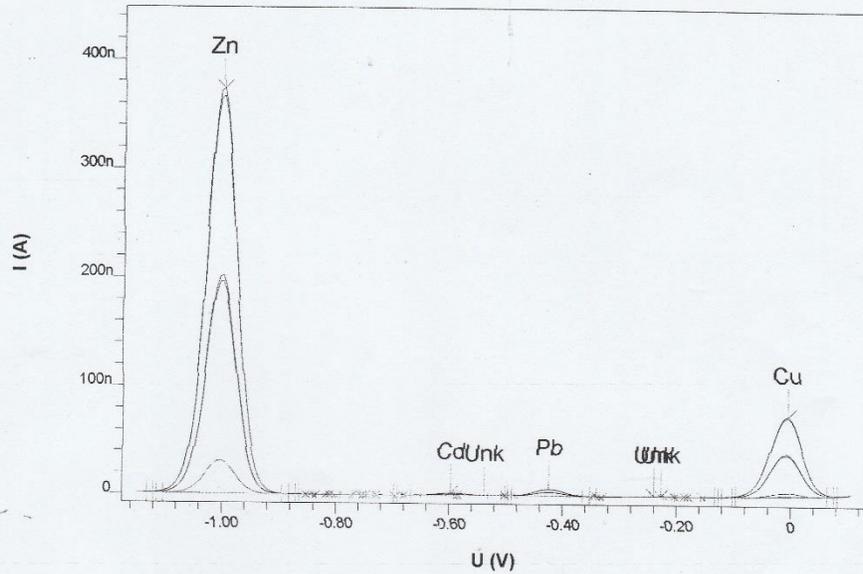
 Sample amount : 20.000 mL
 Cell volume : 24.000 mL

Final results		+/-	Res. dev.	%	Comments
Zn:					
Zinc	=	13.942	ug/L	0.282	2.023
Cd:					
Cadmium	=	---	ug/L		No result found
Pb:					
Lead	=	0.426	ug/L	0.045	10.448
Cu:					
Copper	=	0.806	ug/L	0.081	10.088

 Electrode Test : passed

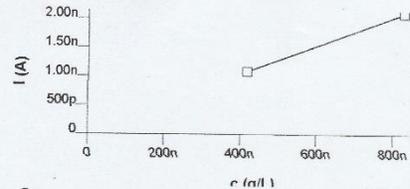
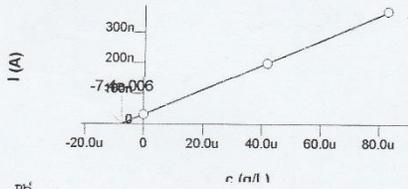
Determination : 1706191628_345.03.dth
 Sample ID : 345.03
 Creator method : administrator Date: 2008-10-29 Time: 11:01:21
 Creator determ.: Administrator Date: 2017-06-19 Time: 16:28:16
 Modified by : --- Date: Time:

Determination of Zinc, Cadmium, Lead, and Copper acc. to DIN38406/16
 345.03



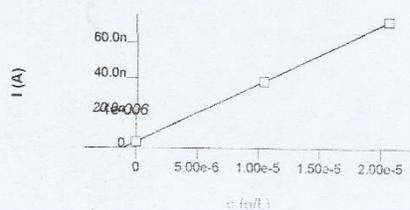
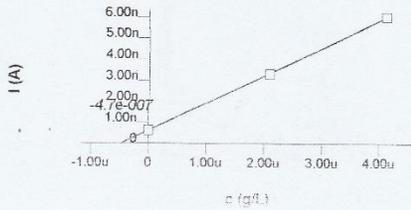
Zn
 c = 8.924 ug/L
 +/- 0.156 ug/L (1.75%)

Cd
 c = ---



Pb
 c = 0.562 ug/L
 +/- 0.048 ug/L (8.45%)

Cu
 c = 1.254 ug/L
 +/- 0.055 ug/L (4.38%)



METROHM 797 VA COMPUTRACE (Version 1.3) (Serial No. 13197)

=====
 Determination : 1706191628_345.03.dth
 Sample ID : 345.03
 Creator method : administrator Date: 2008-10-29 Time: 11:01:21
 Creator determ.: Administrator Date: 2017-06-19 Time: 16:28:16
 Modified by : --- Date: Time:

 Method : Det of Zn Cd Pb Cu (Scanco).mth
 Title : Determination of Zinc, Cadmium, Lead, and Copper acc. to DIN38406/16
 Remark1 : 15mL sample + 2 mL acetate buffer (1.5mol/L KCl + 0.5mol/L NaAc)
 Remark2 :

 Sample amount : 20.000 mL
 Cell volume : 24.000 mL

Final results			+/- Res. dev.	%	Comments
Zn:					
Zinc	=	8.924 ug/L	0.156	1.750	
Cd:					
Cadmium	=	--- ug/L			No result found
Pb:					
Lead	=	0.562 ug/L	0.048	8.452	
Cu:					
Copper	=	1.254 ug/L	0.055	4.377	

 Electrode Test : passed



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA
 ESCUELA DE QUÍMICA
 DEPARTAMENTO DE ANÁLISIS INORGÁNICO



LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
 QUÍMICA Y AMBIENTAL
 -LIQA-

Fecha: 09 de noviembre de 2017

No. 1708366

INFORME DE ANALISIS FISICOQUÍMICO

A continuación, se presenta el informe con los resultados del análisis fisicoquímico de 3 muestras de agua de pozo.
 INFORMACIÓN DEL INTERESADO

Nombre / Institución:	
Con atención a:	
Dirección:	
Teléfono de contacto:	

INFORMACIÓN DE LAS MUESTRAS

Tipo de muestra:	Agua de pozo	Análisis solicitados: As, Cd y Pb.
Cantidad de muestras:	3 (aprox. 1 litro c/u)	
Tipo de envase o embalaje:	Recipientes de plástico con cierre hermético	
Origen de la muestra:	Aldea Boca del Monte, Z. 2. Villa Canales.	
Fecha de recepción:	24 de agosto de 2017, 10:30 h.	

RESULTADOS

No.	ID MUESTRA INTERESADO	ID MUESTRA LIQA	RESULTADOS		
			Arsénico (mg/L)	Cadmio (mg/L)	Plomo (mg/L)
1.	A1 (20/06/17)	366-01	0,0014	0,00009	0,00059
2.	A2 (24/07/17)	366-02	0,0016	0,00015	0,00057
3.	A3 (19/08/17)	366-03	0,0014	0,00011	0,00069
Límite de cuantificación:			0,0005	0,00002	0,00002

Observaciones:

Métodos utilizados

La determinación de **Arsénico** está basada en: "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA. AWWA. WEF. 21th Edition 2005, Part 3100-As-A"

La determinación de **Cadmio y Plomo** está basada en: "Voltammetric determination of zinc, cadmium, lead, copper, thallium, nickel and cobalt in water samples" according to DIN 38406 Part 16. Application Bulletin. No. 231/2e. Metrohm. Suiza, 2008.

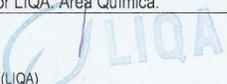
ND: No detectado (por debajo del límite de detección). mg/L: miligramos de elemento por cada litro de muestra de agua.

Vo.Bo


 M.Sc. **Felix Ricardo Véliz Fuentes.**
 Director LIQA. Área Química.

FRV/frrvf
 20171109

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN QUÍMICA Y AMBIENTAL (LIQA)
 ☒: Primer piso. Edificio T-12, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia
 Universidad de San Carlos de Guatemala, Zona 12. Guatemala. 01012.
 ☎: 00 (502) 2418 9412. 🌐: <http://liqa-usac.blogspot.com/>


 LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
 QUÍMICA Y AMBIENTAL

Nombre Operador:Administrador

Fecha Informe:26/09/2017 10:09:03

Fichero Result.: C:\SOLAAR\MDATA\RESULTS.SLR

Parámetros Generales

Método:As USAC Maestria

Operador:Administrador

Modo Instrum.:Vapor

Automuestr.:Ningún

Dilución: Ninguna

Usar SFI: No

Detalles Análisis

Nombre Análisis:Análisis 1150 25/09/2017

Espectróm.:Serie S GE712257 v1.27

Nombre Operador:Administrador

Detalles Muestra

Nº	ID Muestra	Masa Nominal:1.0000 Masa Muestra	Relac. Dilución
1	366-01A	1.0000	1.4286
2	366-01B	1.0000	1.4286
3	366-02A	1.0000	1.4286
4	366-02B	1.0000	1.4286
5	366-03A	1.0000	1.4286
6	Est 2	1.0000	1.0000
7	366-03B	1.0000	1.4286
8	372-01A	1.0000	1.4286
9	372-01B	1.0000	1.4286
10	374-01A	1.0000	1.4286
11	374-01B	1.0000	1.4286
12	Est 4	1.0000	1.0000
13	374-02A	1.0000	1.4286
14	374-02B	1.0000	1.4286
15	374-03A	1.0000	1.4286
16	374-03B	1.0000	1.4286
17	371-01A	1.0000	1.4286
18	Est 3	1.0000	1.0000
19	371-01B	1.0000	1.4286

Parámetros Espectróm. - As

Elemento:As

Modo Medida:Absorbancia

Long. onda:193.7nm

Rendija:0.5nm

Corriente lámp.:75%

Corrección Fondo:D2

Alta Resolución:Apagado

Optimizar Parámetros Espectróm.:No

Tipo Señal:Continuo

Re-muestras:Rápido

Nº de Re-muestras:5

Tiempo Medida:4.0sg

Modo Rechazo Datos:No

Usar Test RSD : No

Parámetros Vapor - As

Modo Vapor: Calentamiento Eléctrico

Tª Horno: 900°C

Kit Vapor: VP100

Velocidad Flujo Gas Soporte: 200mL/min

Velocidad bomba:40

Parámetros muestreo - As

Muestreo:Ninguna

Parámetros Calibrac. - As

Modo Calibrac.:Normal

Ajuste Lineal:Cuadrático

Usar Calibr. Almacenada:No

Unidades Concentrac.:µg/L

Unidades Escala:µg/L

Factor Escala:1.0000

Ajuste Aceptable:0.980

Re-escalar Limite: 10.0%

Acción Fallida : Señalizar y continuar

Estándar1 2.0000

Estándar4 12.0000

Estándar2 4.0000

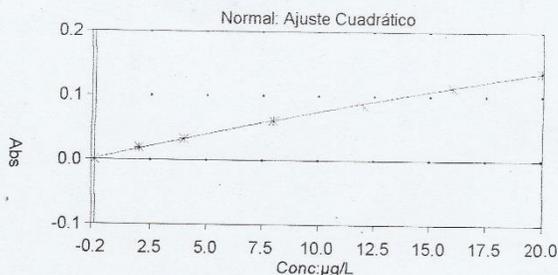
Estándar5 16.0000

Estándar3 8.0000

Estándar6 20.0000

Result. Disolución - As

$Y = -0.000068x^2 + 0.00812x + 0.0011$
 Ajuste: 0.9997
 Min Curvatura: 0%
 Max Curvatura: 0%
 Conc Característica: 0.5446



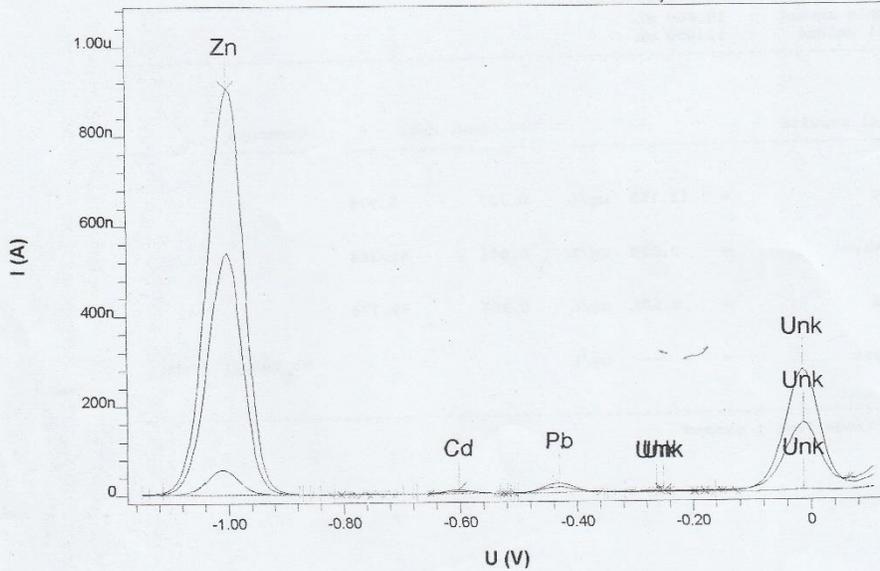
ID Muestra	Señal Abs	Rsd %	Conc. µg/L	Conc. Corregida µg/L
As Blanco				
1	0.00057	Fondo: -0.00383		25/09/2017 11:54:14
2	0.00057	Fondo: -0.00499		25/09/2017 11:54:20
3	0.00048	Fondo: -0.00441		25/09/2017 11:54:24
4	-0.00171	Fondo: -0.00491		25/09/2017 11:54:29
5	-0.00067	Fondo: -0.00583		25/09/2017 11:54:33
As Estándar 1				
	0.01875	3.5	2.0000	
1	0.01811	Fondo: -0.00843		25/09/2017 11:56:21
2	0.01942	Fondo: -0.00924		25/09/2017 11:56:25
3	0.01950	Fondo: -0.00956		25/09/2017 11:56:30
4	0.01835	Fondo: -0.00980		25/09/2017 11:56:34
5	0.01835	Fondo: -0.00984		25/09/2017 11:56:39
As Estándar 2				
	0.03272	3.0	4.0000	
1	0.03359	Fondo: -0.01290		25/09/2017 11:58:19
2	0.03123	Fondo: -0.01023		25/09/2017 11:58:23
3	0.03358	Fondo: -0.01165		25/09/2017 11:58:28
4	0.03265	Fondo: -0.01134		25/09/2017 11:58:32
5	0.03258	Fondo: -0.01166		25/09/2017 11:58:37
As Estándar 3				
	0.06097	1.6	8.0000	
1	0.06113	Fondo: -0.01370		25/09/2017 12:00:15
2	0.06176	Fondo: -0.01316		25/09/2017 12:00:20
3	0.05931	Fondo: -0.01252		25/09/2017 12:00:24
4	0.06131	Fondo: -0.01354		25/09/2017 12:00:28
5	0.06133	Fondo: -0.01394		25/09/2017 12:00:33
As Estándar 4				
	0.08539	1.2	16.0000	
1	0.08429	Fondo: -0.01561		25/09/2017 12:02:17
2	0.08400	Fondo: -0.01519		25/09/2017 12:02:21
3	0.08319	Fondo: -0.01407		25/09/2017 12:02:26
4	0.08665	Fondo: -0.01518		25/09/2017 12:02:29
5	0.08504	Fondo: -0.01401		25/09/2017 12:02:35
As Estándar 5				
	0.11351	1.5	16.0000	
1	0.11479	Fondo: -0.01584		25/09/2017 12:04:18
2	0.11481	Fondo: -0.01690		25/09/2017 12:04:22
3	0.11281	Fondo: -0.01612		25/09/2017 12:04:27
4	0.11086	Fondo: -0.01622		25/09/2017 12:04:31
5	0.11427	Fondo: -0.01738		25/09/2017 12:04:35

Result. Disolución - As

ID Muestra	Señal	Rsd	Conc.	Conc. Corregida
	Abs	%	µg/L	µg/L
As Estándar 6	0.13647	0.8	20.0000	
1	0.13483	Fondo: -0.01731		25/09/2017 12:06:14
2	0.13675	Fondo: -0.01705		25/09/2017 12:06:19
3	0.13653	Fondo: -0.01742		25/09/2017 12:06:23
4	0.13648	Fondo: -0.01744		25/09/2017 12:06:27
5	0.13773	Fondo: -0.01774		25/09/2017 12:06:32
As 366-01A	0.01046	13.1	1.1640	1.6629
1	0.01155	Fondo: -0.01812		25/09/2017 12:08:00
2	0.01032	Fondo: -0.01795		25/09/2017 12:08:04
3	0.00835	Fondo: -0.01719		25/09/2017 12:08:09
4	0.01026	Fondo: -0.01879		25/09/2017 12:08:13
5	0.01180	Fondo: -0.01964		25/09/2017 12:08:18
As 366-01B	0.00829	9.9	0.8926	1.2752
1	0.00704	Fondo: -0.01941		25/09/2017 12:09:28
2	0.00861	Fondo: -0.02051		25/09/2017 12:09:32
3	0.00877	Fondo: -0.01967		25/09/2017 12:09:37
4	0.00793	Fondo: -0.01987		25/09/2017 12:09:41
5	0.00910	Fondo: -0.02102		25/09/2017 12:09:46
As 366-02A	0.00778	4.8	0.4758	0.5368
1	0.00918	Fondo: -0.02028		25/09/2017 12:07:01
2	0.00778	Fondo: -0.02090		25/09/2017 12:07:08
3	0.00868	Fondo: -0.02084		25/09/2017 12:07:10
4	0.00791	Fondo: -0.02083		25/09/2017 12:07:15
5	0.00882	Fondo: -0.02090		25/09/2017 12:07:19
As 366-02B	0.01009	12.1	1.1176	1.5966
1	0.00916	Fondo: -0.02054		25/09/2017 12:12:40
2	0.01015	Fondo: -0.02134		25/09/2017 12:12:45
3	0.00941	Fondo: -0.02040		25/09/2017 12:12:49
4	0.01217	Fondo: -0.02223		25/09/2017 12:12:54
5	0.00954	Fondo: -0.02054		25/09/2017 12:12:58
As 366-03A	0.00901	11.2	0.9826	1.4037
1	0.00979	Fondo: -0.02100		25/09/2017 12:14:25
2	0.00891	Fondo: -0.02162		25/09/2017 12:14:30
3	0.00872	Fondo: -0.02140		25/09/2017 12:14:34
4	0.00753	Fondo: -0.01982		25/09/2017 12:14:38
5	0.01011	Fondo: -0.02139		25/09/2017 12:14:43
As Est 2	0.03137	2.1	3.8530	3.8530
1	0.03123	Fondo: -0.00084		25/09/2017 12:48:03
2	0.03248	Fondo: 0.00043		25/09/2017 12:48:08
3	0.03104	Fondo: -0.00042		25/09/2017 12:48:12
4	0.03073	Fondo: 0.00070		25/09/2017 12:48:17
5	0.03136	Fondo: 0.00098		25/09/2017 12:48:21
As 366-03B	0.00939	6.8	1.0298	1.4712
1	0.01023	Fondo: -0.02334		25/09/2017 12:18:34
2	0.00902	Fondo: -0.02298		25/09/2017 12:18:38
3	0.00855	Fondo: -0.02290		25/09/2017 12:18:43
4	0.00942	Fondo: -0.02358		25/09/2017 12:18:47
5	0.00971	Fondo: -0.02305		25/09/2017 12:18:52

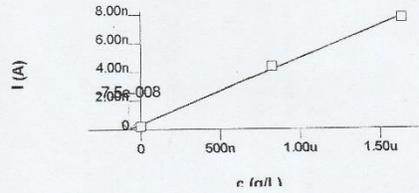
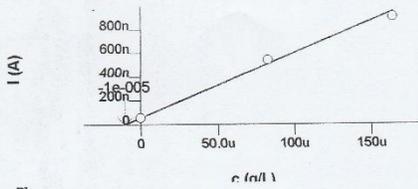
Determination : 1711071110_366-01 b.dth
 Sample ID : 366-01 b
 Creator method : Metrohm Date: 2007-06-07 Time: 07:30:17
 Creator determ.: Administrator Date: 2017-11-07 Time: 11:10:37
 Modified by : --- Date: Time:

Determination of Zinc, Cadmium, Lead, and Copper acc. to DIN38406/16
 366-01 b

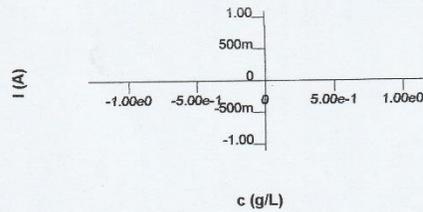
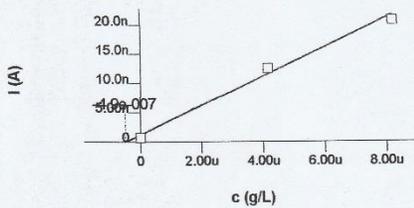


Zn
 c = 12.155 ug/L
 +/- 0.727 ug/L (5.98%)

Cd
 c = 0.090 ug/L
 +/- 0.041 ug/L (45.36%)



Pb
 c = 0.591 ug/L
 +/- 0.353 ug/L (59.78%)



==== METROHM 797 VA COMPUTRACE (Version 1.3.0.77) (Serial No. 13197) =====

Determination : 1711071110_366-01 b.dth
 Sample ID : 366-01 b
 Creator method : Metrohm Date: 2007-06-07 Time: 07:30:17
 Creator determ.: Administrator Date: 2017-11-07 Time: 11:10:37
 Modified by : --- Date: Time:

 Method : AB231_1 Det of Zn Cd Pb Cu.mth
 Title : Determination of Zinc, Cadmium, Lead, and Copper acc. to DIN38406/16
 Remark1 : 10 mL sample + 1 mL acetate buffer (1.5mol/L KCl + 0.5mol/L NaAc)
 Remark2 :

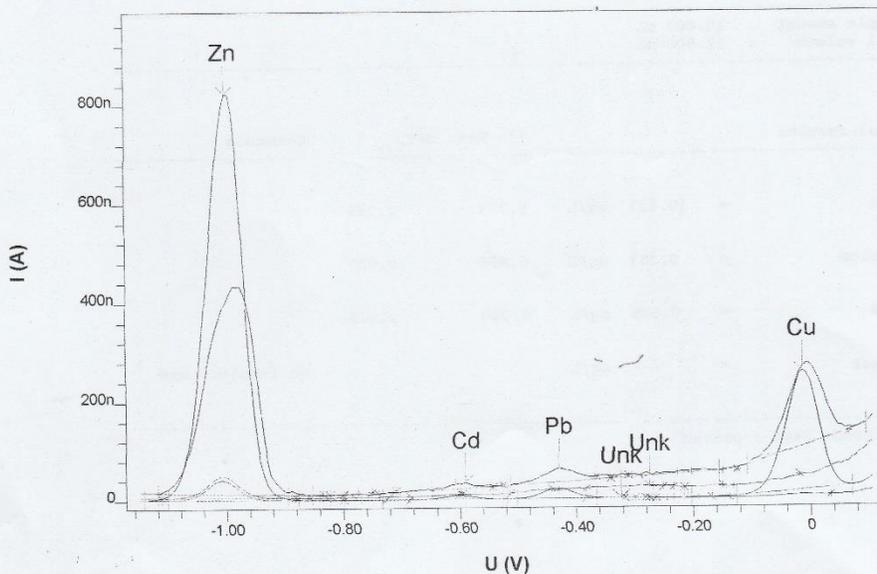
 Sample amount : 10.000 mL
 Cell volume : 12.000 mL

Final results		+/- Res. dev.	%	Comments
Zn:				
Zinc	= 12.155 ug/L	0.727	5.978	
Cd:				
Cadmium	= 0.090 ug/L	0.041	45.364	
Pb:				
Lead	= 0.591 ug/L	0.353	59.776	
Cu:				
Copper	= --- ug/L			No result found

 Electrode Test : passed

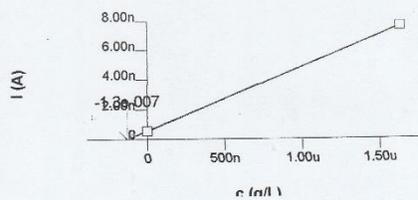
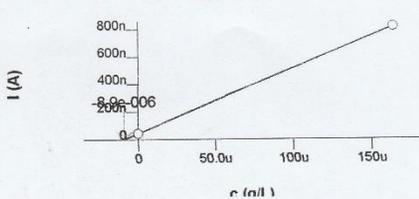
Determination : 1711080909_366-02.dth
 Sample ID : 366-02 c
 Creator method : Metrohm Date: 2007-06-07 Time: 07:30:17
 Creator determ.: Administrator Date: 2017-11-08 Time: 09:36:29
 Modified by : --- Date: Time:

Determination of Zinc, Cadmium, Lead, and Copper acc. to DIN38406/16
 366-02 c

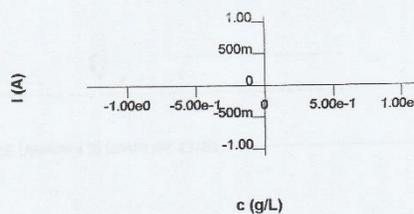
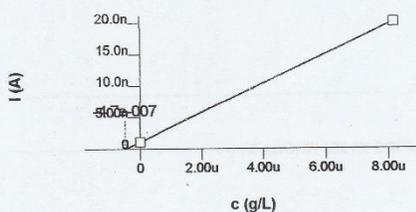


Zn
 $c = 10.621 \text{ ug/L}$
 $\pm 0.774 \text{ ug/L (7.28\%)}$

Cd
 $c = 0.153 \text{ ug/L}$
 $\pm 0.000 \text{ ug/L (0.00\%)}$



Pb
 $c = 0.568 \text{ ug/L}$
 $\pm 0.000 \text{ ug/L (0.00\%)}$



=====
 Determination : 1711080909_366-02.dth
 Sample ID : 366-02 c
 Creator method : Metrohm Date: 2007-06-07 Time: 07:30:17
 Creator determ.: Administrator Date: 2017-11-08 Time: 09:36:29
 Modified by : --- Date: Time:

 Method : AB231_1 Det of Zn Cd Pb Cu.mth
 Title : Determination of Zinc, Cadmium, Lead, and Copper acc. to DIN38406/16
 Remark1 : 10 mL sample + 1 mL acetate buffer (1.5mol/L KCl + 0.5mol/L NaAc)
 Remark2 :

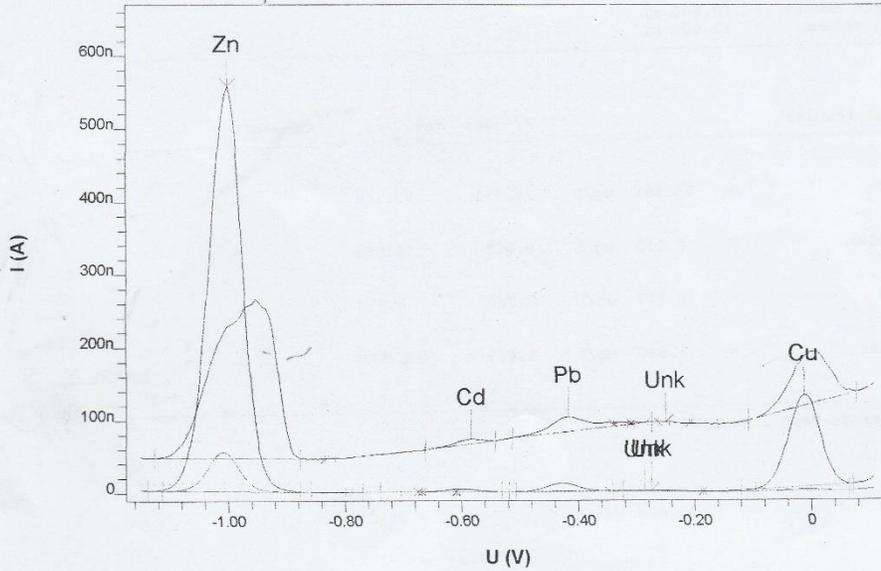
 Sample amount : 10.000 mL
 Cell volume : 12.000 mL

Final results		+/-	Res. dev.	%	Comments
Zn:					
Zinc	=	10.621	ug/L	0.774	7.285
Cd:					
Cadmium	=	0.153	ug/L	0.000	0.000
Pb:					
Lead	=	0.568	ug/L	0.000	0.000
Cu:					
Copper	=	---	ug/L		No result found

 Electrode Test : passed

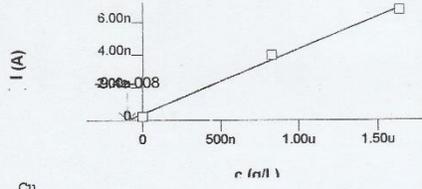
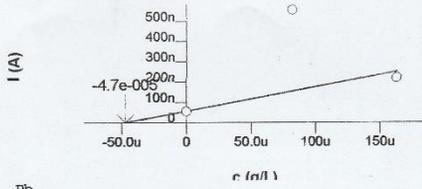
Determination : 1711080949_366-03.dth
 Sample ID : 366-03
 Creator method : Metrohm Date: 2007-06-07 Time: 07:30:17
 Creator determ.: Administrator Date: 2017-11-08 Time: 09:49:28
 Modified by : Administrator Date: 2017-11-08 Time: 10:34:03

Determination of Zinc, Cadmium, Lead, and Copper acc. to DIN38406/16
 366-03



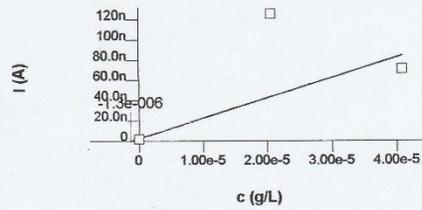
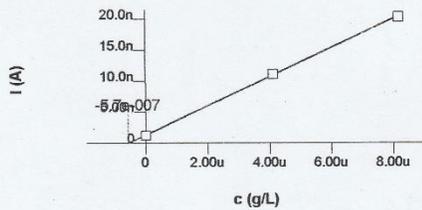
Zn
 c = 56.651 ug/L
 +/- 39.751 ug/L (70.17%)

Cd
 c = 0.113 ug/L
 +/- 0.062 ug/L (54.86%)



Pb
 c = 0.687 ug/L
 +/- 0.060 ug/L (8.71%)

Cu
 c = 1.580 ug/L
 +/- 3.648 ug/L (230.92%)



===== METROHM 797 VA COMPUTRACE (Version 1.3.0.77) (Serial No. 13197) =====

Determination : 1711060949_366-03.dth
 Sample ID : 366-03
 Creator method : Metrohm Date: 2007-06-07 Time: 07:30:17
 Creator determ.: Administrator Date: 2017-11-08 Time: 09:49:28
 Modified by : Administrator Date: 2017-11-08 Time: 10:34:03

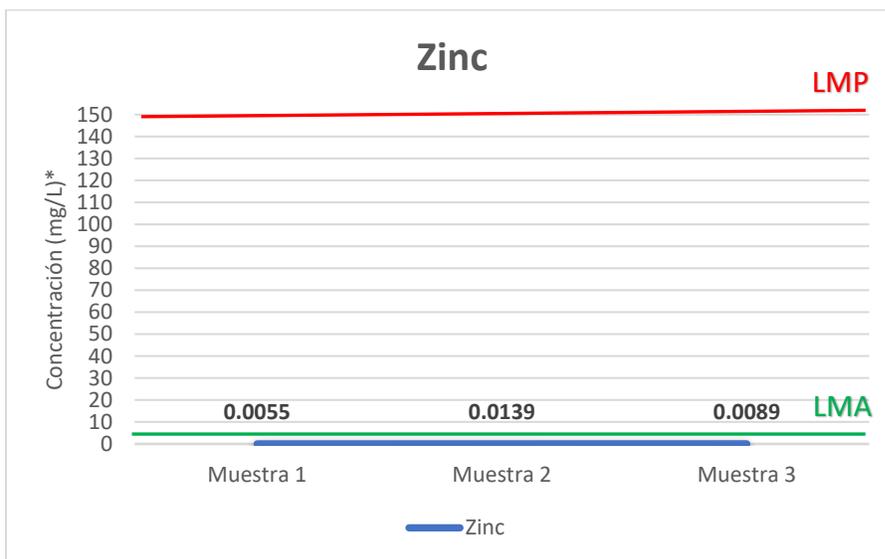
Method : AB231_1_Det of Zn Cd Pb Cu.mth
 Title : Determination of Zinc, Cadmium, Lead, and Copper acc. to DIN38406/16
 Remark1 : 10 mL sample + 1 mL acetate buffer (1.5mol/L KCl + 0.5mol/L NaAc)
 Remark2 :

Sample amount : 10.000 mL
 Cell volume : 12.000 mL

Final results		+/- Res. dev.	%	Comments
Zn: Zinc	= 56.651 ug/L	39.751	70.168	
Cd: Cadmium	= 0.113 ug/L	0.062	54.864	
Pb: Lead	= 0.687 ug/L	0.060	8.712	
Cu: Copper	= 1.580 ug/L	3.648	230.920	

Electrode Test : passed

Gráfica No. 5 Cuantificación de Zinc del agua del pozo LA-1



* mg/L: Miligramos por litro

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Investigación y Química Ambiental (LIQA), Zona 12, Guatemala

Gráfica No. 6 Determinación de cobre del agua del pozo LA-1



* mg/L: Miligramos por litro

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Investigación y Química Ambiental (LIQA), Zona 12, Guatemala

Anexo No. 5 Informe de los resultados de los análisis practicados al agua del pozo

LA-1

Guatemala, Enero 2018

Área administrativa del servicio de agua

Boca del Monte, Villa Canales

Personal administrativo, reciban un atento saludo, el motivo de la presente es para hacer de su conocimiento los resultados de los análisis practicados al agua del pozo que ustedes poseen.

Los análisis practicados al agua fueron de tipo toxicológico, siendo los metales: arsénico, plomo y cadmio los objetos de estudio, la investigación tuvo una duración de 6 meses, durante los cuales se abarcaron las épocas climáticas presentes en el país de Guatemala, las cuales son la época seca y la época lluviosa. El motivo de abarcar ambas épocas fue tener un panorama amplio de la presencia de contaminantes en el agua a lo largo de las estaciones del año.

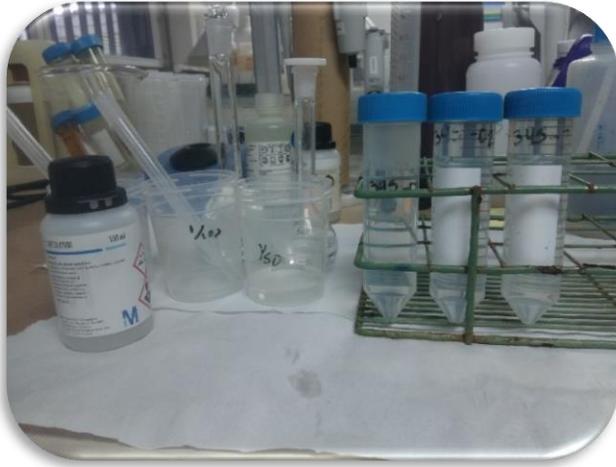
Se logró determinar que, tanto en la época seca como en la época lluviosa, la presencia de este tipo de contaminantes se encuentra dentro de los parámetros establecidos por la norma COGUANOR NGO 29 001. *Agua para consumo humano (agua potable)*, el cumplimiento de los parámetros de esta norma nos garantiza la calidad del agua.

Por lo tanto, se concluye que el agua distribuida por el pozo, no representa riesgo para la salud de las personas que la consumen en cuanto a los efectos tóxicos que puedan causar la presencia de los contaminantes: arsénico, plomo y cadmio. Se recomienda realizar este tipo de análisis de manera anual a manera de poder garantizar la calidad del servicio brindado.

Anexo No. 5 Fotografías de la investigación realizada en el agua del pozo LA-1









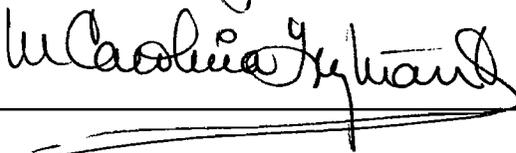
Br. Jason Humberto Ruiz Dominguez

Autor



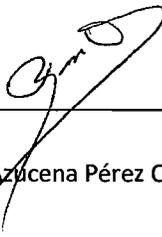
Licda. Julia Amparo García Bolaños

Asesora



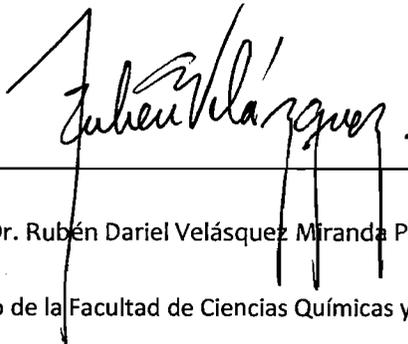
Licda. Miriam Carolina Guzmán Quilo

Revisora



Licda. Raquel Azucena Pérez Obregón

Directora de Escuela de Química Farmacéutica



Dr. Rubén Dariel Velásquez Miranda Ph.D.

Decano de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia