



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ENFERMERÍA Y NUTRICIÓN
MAESTRÍA EN SALUD PÚBLICA



**DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO Y PLOMO EN AGUA DE POZOS Y ESTIMACIÓN
DE RIESGO EN SALUD EN UNA POBLACIÓN DEL MUNICIPIO DE SAN DIEGO DE
LA UNIÓN, GUANAJUATO.**

TESIS

Para obtener el grado de Maestra en Salud Pública

Presenta:

QFB. Betsabé González Rodríguez

Director de Tesis:

Dr. Héctor Hernández Mendoza

Co-Asesora de Tesis:

Dra. María Judith Ríos Lugo

San Luis Potosí, S.L.P.

Septiembre de 2016

Este trabajo de tesis fue realizado mediante la colaboración entre la Facultad de Enfermería y Nutrición de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) y Laboratorio Nacional de Investigaciones en Forense Nuclear (LANAFONU) del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ). Las mediciones de Arsénico y Plomo en agua de pozo fueron realizadas por Espectrómetro de Sector Magnético con Fuente de Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-SFMS). Los proyectos que ha financiado este trabajo de investigación son; Proyecto CONACYT (232762): Laboratorio Nacional de Investigaciones en Forense Nuclear (LANAFONU) y Proyecto ININ (TN- 508): “Desarrollo de Nuevos Métodos Analíticos de Investigación en Forense Nuclear”.

RESUMEN:

Introducción: La presencia de Arsénico (As), en aguas subterráneas ha sido un problema importante en todo el mundo desde el siglo pasado. Problemas relacionados con As, han sido evidentes en varios países, donde se incluye; Bangladesh, India, Indonesia, Nepal, Myanmar, México, Pakistan, Vietnam, Cambodia, China entre otros países. Hoy en día, se estima que 200 millones de personas en el mundo están expuestos a concentraciones de As en agua de bebida que excede los límites recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), el cual es 0.01 mg/L en agua de consumo humano. Por otra parte, el Plomo (Pb) es un metal pesado que puede encontrarse en el ambiente y en la comida ingerida diariamente. Además, se encuentra naturalmente en rocas y suelos, y es utilizado en la fabricación de baterías, soldaduras (especialmente, en componentes eléctricos y radiadores de autos), aleaciones de metales, plásticos, cerámica vidriada, entre otros. El Pb no solamente se encuentra contaminando el ambiente sino que también se encuentra dañando la salud en la población, siendo más vulnerables los niños. El concepto de intoxicación por Pb se define con base en la evidencia científica de los efectos tóxicos de exposición a Pb en concentraciones de 0.01 mg/L en adultos y de 0.05 mg/L en niños. La exposición de Pb en niños puede originar afectación renal y ósea, convulsiones, edema cerebral y finalmente la muerte.

Objetivo: Estimar el riesgo a la salud en la población de San Diego de la Unión mediante los límites establecidos en la OMS y en la NOM-127-SSA1-1994, en agua de pozos para consumo debido a una alta exposición de As y Pb.

Metodología: El total de pozos analizados fueron 22, distribuidos en todo el municipio de San diego de la Unión. Los pozos fueron clasificados como regularizados o no regularizados. Durante el periodo de mayo a agosto de 2015 fueron colectadas las muestras de agua. La determinación de As y Pb, fue realizada por triplicado, utilizando Espectrometría de Sector Magnético con Fuente de Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-SFMS). Se utilizó la prueba Binomial para observar si la diferencia entre los pozos

que están dentro de una norma y otra era significativa, para la estimación del riesgo se realizó el cálculo de la Ingesta Crónica Diaria (CDI) así como el Índice de Peligro (HQ).

Resultados y discusiones: Los resultados obtenidos de As, en términos de concentración superan el 23% de acuerdo a los límites establecidos por la NOM 127-SSA1-1994 y el 86% de los pozos superan límite permisible de la OMS. Realizando la Prueba Binomial para estas diferencias se obtuvo un valor de ($p < 0.005$) lo cual nos dice que estas diferencias entre las normas son altamente significativas y el promedio de la concentración de As de todos los pozos fue 0.0210 ± 0.01668 mg/L. Los rangos de la Ingesta Crónica Diaria (CDI) fueron desde 0.0001 hasta 0.0023 mg/kg/día. El índice de peligro (HQ), mostró que el 82% de los pozos presenta un riesgo a la salud. En el caso de Pb, todos los pozos superan los límites permisibles de la norma NOM 127-SSA1-1994 y OMS.

Conclusiones: Se detectaron altas concentraciones de As y Pb, en el agua de pozos para consumo humano, procedente del municipio de San Diego de la Unión, estos datos nos dan pauta para llevar a cabo un seguimiento, generando una propuesta de proyecto, dirigida hacia la población expuesta, donde se realizarán análisis en muestras biológicas (sangre, orina y pelo) para correlacionar el riesgo por exposición a As y Pb.

Palabras clave. Índice de peligro, arsénico, plomo, agua de consumo y pozos.

ABSTRACT:

Introduction: The presence of arsenic (As), in groundwater has been a major problem throughout the world since the last century. Related problems have been evident in several countries, included; Bangladesh, India, Indonesia, Nepal, Myanmar, Mexico, Pakistan, Vietnam, Cambodia, China and other countries. Nowadays, it is estimated that 200 million people worldwide are exposed to concentrations of As in drinking water, exceeding permissible limit recommended by the World Health Organization (WHO), which is 0.01 mg / L in human water consumption. In the other hand, Lead (Pb) is a heavy metal and can be found in the environment and in daily food ingested. It is also found naturally in rock and soil, and is used in battery manufacturing, solder (especially in electrical components and car radiators), metal alloys, plastics, glazed ceramics, among others. Pb is not only polluting the environment but also is damaging health of population, being more vulnerable children population. The concept of Pb poisoning is defined based on scientific evidence of the toxic effects presented of Pb exposure in concentrations of 10 mg/L in adults and 5 mg/L. Pb exposure in children can cause renal and bone, seizures, cerebral edema and ultimately death.

Objective: To estimate the risk to health in the population of San Diego of the Union through the limits established in the NOM-127-SSA1-1994 and OMS, water wells for consumption due to high exposure of As and Pb.

Methodology: Total wells tested in this work were 22, distributed throughout the city of San Diego of the Union. Wells were classified as not regularized or regularized. During May to August in 2015 water samples were collected. Determinations of As and Pb, were performed by triplicate, using Spectrometry Magnetic Sector with Inductively Coupled Plasma source (ICP-SFMS). Binomial test was used to see if the difference between the wells that are within one standard and one was significant, for risk estimation calculating the intake Chronic Daily (CDI) and the Hazard Quotient (HQ).

Results and discussion: Results obtained of As, in terms of concentration exceed 23% according to the limits established by the NOM 127 - SSA1-1994, and 86% of wells exceed the permissible limit of WHO. Moreover, results of As shows significant

difference ($p < 0.005$) in both national and international guides, and the average concentration of As obtained of all the wells was 0.0210 ± 0.01668 mg/L. Ranges of Chronic Daily Intake (CDI) were 0.0001 to 0.0023 mg/kg/day. Hazard Quotient (HQ), showed that 82% of wells presents health risk. In the case of Pb, all wells exceed the permissible limits of NOM 127- SSA1-1994 and WHO.

Conclusions: High concentrations of As and Pb in water wells for human consumption, from the municipality of San Diego de la Unión were detected, these data provide guidelines to carry out monitoring, and generating a project proposal focus to exposed population, analyzes in biological samples (blood, urine and hair) to correlate the risk of exposure to As and Pb .

Keywords: Hazard Quotient, arsenic, lead, drinking water and wells.

AGRADECIMIENTOS

Primero que nada agradezco a Dios por permitirme culminar este proyecto.

Agradezco a mis asesores de Tesis la Dra. Judith y el Dr. Héctor por apoyarme en el desarrollo de este proyecto, así como su paciencia, esfuerzo, dedicación, orientaciones y conocimientos ya que sin ellos este trabajo no hubiera sido posible; así como al Dr. Dario por sus asesorías en este proyecto.

Agradezco al señor Elías por su apoyo para la toma de muestras de agua de los pozos del municipio.

DEDICATORIAS

A mi **Familia** por sus consejos, comprensión, amor y ayuda en los momentos difíciles y por ayudarme con los recursos necesarios para terminar este proyecto.

Gracias también a mis amigas **Susana y Gris** por permitir que estos dos años fueran una experiencia maravillosa desde el primer día, gracias por todo.

ÍNDICE

RESUMEN:.....	I
ABSTRACT:	III
AGRADECIMIENTOS.....	V
DEDICATORIAS.....	V
ÍNDICE	VI
ÍNDICE DE CUADROS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	IX
INTRODUCCIÓN.....	1
1. JUSTIFICACIÓN	4
2. MARCO TEÓRICO	10
2.1 Metales pesados	10
2.2 Plomo	10
2.2.1 Fuentes de exposición	11
2.2.2 Efectos de la intoxicación por Plomo en la salud.....	12
2.3 Arsénico.	16
2.3.1 Fuentes de exposición.	16
2.3.2 Efectos en la salud	16
2.4 DEFINICIONES.....	21
2.4.1 El agua	21
2.4.2 Agua subterránea	21
2.4.3 Acuífero.....	21
2.4.4 Importancia de las aguas subterráneas.....	21
2.5 TÉCNICAS ANALÍTICAS PARA MEDIR METALES PESADOS.....	23
2.5.1 Espectrómetro de absorción atómica con cámara de grafito (GFAAS)	23
2.5.2 Espectrómetro de absorción atómica de llama (FAAS).....	23
2.5.3 Espectrometría de Masas con Fuente de Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS)	23
3. HIPÓTESIS.....	25

4. OBJETIVO	25
4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
5. METODOLOGÍA.....	26
5.1 TIPO DE ESTUDIO	26
5.2 DISEÑO METODOLÓGICO	26
5.3 LIMITES DE TIEMPO Y ESPACIO.....	26
5.4 UNIVERSO	26
5.5 MUESTRA.....	26
5.6 VARIABLES.....	26
5.8 PROCEDIMIENTOS	28
5.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	31
6. CONSIDERACIONES ÉTICAS Y LEGALES	31
6.1 CONSIDERACIONES ÉTICAS NACIONALES.....	31
6.2 CONSIDERACIONES ÉTICAS INTERNACIONALES.....	32
6.3 SOBRE LA AUSENCIA DE CONFLICTO DE INTERESES Y AUTORÍAS.....	32
6.4 SOBRE EL APOYO FINANCIERO PARA LA DIFUSIÓN DE RESULTADOS.....	33
6.5 SOBRE LAS AUTORIZACIONES PREVIAS AL DESARROLLO DEL PROYECTO.....	33
6.6 SOBRE LA TRANSFERENCIA DE LOS RESULTADOS.....	33
7. RESULTADOS	34
8. DISCUSIÓN	40
9. CONCLUSIONES	42
10. COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES	43
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
ANEXOS.....	47

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Pozos Regularizados del municipio de San Diego de la Unión Gto.....	7
Cuadro 2 Pozos No regularizados del municipio de San Diego de la Unión, Gto.....	7
Cuadro 3 Efectos del Plomo en la Salud	14
Cuadro 4 Límites permisibles de Plomo en agua para consumo humano.....	15
Cuadro 5 Límite permisible de Arsénico y Técnicas de Análisis para Arsénico en agua para consumo humano.....	18
Cuadro 6 Condiciones instrumentales de método para medir As y Pb en agua de consumo humano usando ICP-SFMS.	35
Cuadro 7 Concentraciones de As y Pb de los pozos en mg/L, ubicación, pozo regularizado o no regularizado y población a la que abastece.	36
Cuadro 8 Concentraciones de As y Pb comparadas con los límites permisibles por las NOM-127-SSA1 y OMS.	38
Cuadro 9 Prueba Binomial para diferencia entre las NOM-127-SSA1 y OMS	39
Cuadro 10 Dosis de As y Pb (mg/kg/día) e índice de peligro para As.....	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Extensión territorial del municipio de San Digo de la Unión.	6
Figura 2 Esquema de Exposición Humana al Pb y Cadena de Difusión:	12
Figura 3 Efectos del As en los principales órganos y sistemas.	17
Figura 4 Distribución de los pozos en San Diego de la Unión.....	37

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Resultados obtenidos de las curvas de calibración usando ICP-SFMS.....	34
---	----

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los riesgos a la salud por problemas ambientales son cada vez mayores y con una característica distintiva, pues no son simplemente un resultado de exposiciones localizadas de formas tradicionales, sino que constituyen el resultado de presiones más amplias sobre los ecosistemas.¹

Los metales pesados, debido a su toxicidad y tendencia a acumularse en los sistemas biológicos, representan un riesgo para la salud del hombre y los ecosistemas. Estos elementos provienen de diferentes fuentes como consecuencia de la actividad antropogénica: combustibles, aerosoles urbano-industriales, desechos líquidos y sólidos de origen animal y humano, industria minera, química, textil, productos químicos empleados en el sector agropecuario.²

También los metales pesados tienen un gran significado como indicadores de la calidad ecológica de todo flujo de agua debido a su toxicidad y muy especialmente al comportamiento bioacumulativo. La acción de los metales es de gran importancia debido a esta propiedad de bioacumulación, toxicidad y efectos directos a la salud.³

La acción tóxica de estos contaminantes se manifiesta de forma diversa. En general, participan en procesos metabólicos vitales, provocando daños en cualquier eslabón de la cadena alimenticia. El metal pesado puede sustituir componentes de enzimas específicas y otros metales catalizadores, produciéndose alteraciones bioquímicas que afectan en mayor o en menor grado el sistema biológico, debido a la inestabilidad estructural y funcional del mismo. Dichos metales, al pasar a lo largo de la cadena de consumo, la que está asociada con la vida animal y vegetal, lo hacen en concentraciones no dañinas, pero al incrementarse su tenor, afectarían a los miembros superiores de una cadena alimenticia. El daño causado es subclínico más que clínico, siendo provocado por concentraciones tóxicas crónicas más que agudas.⁴

Una de las principales fuentes de exposición a algunos metales y metaloides es mediante el consumo de agua. El agua existente en nuestro planeta, en su mayoría es agua salada, ocupando poco más del 97% del volumen total y está contenida en

océanos y mares; mientras que apenas algo menos del 3% es agua dulce o de baja salinidad.

Del volumen total de agua dulce, estimado en unos 38 millones de kilómetros cúbicos, poco más del 75% está concentrado en casquetes polares, nieves eternas y glaciares; el 21% está almacenado en el subsuelo, y el 4% restante corresponde a los cuerpos y cursos de agua superficial (lagos y ríos). El subsuelo mexicano aloja gran número de acuíferos fuentes de agua que funcionan a la vez como vasos de almacenamiento, redes de acueductos y plantas de tratamiento naturales. Se han definido 653 acuíferos para fines de evaluación, manejo y administración de las aguas nacionales del subsuelo. El agua subterránea constituye la mayor reserva de agua potable en el mundo por ello, es primordial conservarla y mantenerla libre de contaminación antropogénica, sin embargo, la composición geomorfológica en diferentes regiones del planeta determina la presencia en el agua subterránea de varios elementos y compuestos inorgánicos potencialmente nocivos para el humano como es el caso del arsénico y los fluoruros.

En la República Mexicana se han detectado, en concentraciones por arriba de los límites que marcan los correspondientes criterios de calidad del agua, mercurio (Hg), plomo (Pb), cadmio (Cd) y metaloides como arsénico (As) en acuíferos de los estados de Aguascalientes, Coahuila, Chihuahua, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, San Luis Potosí, Sonora y Zacatecas, principalmente. De los estados de Aguascalientes, Estado de México, Guanajuato, Jalisco, San Luis Potosí, Sonora y Zacatecas se cuenta con registros de la presencia de fluoruros en algunos de sus acuíferos, y se cuenta con datos esporádicos de detección de As en pozos de Guanajuato, Zacatecas y Puebla.⁵

También se ha identificado la presencia de concentraciones elevadas de arsénico en acuíferos de otras regiones del país como en los estados de Durango, Sonora, Zacatecas, Chihuahua y Baja California Sur.⁶ En Acámbaro, Guanajuato, se ha informado la existencia de arsenicismo crónico.⁷ En Salamanca, Gto. También se han detectado concentraciones sobre la norma.⁸⁻⁹ En el centro del país, se encuentra la formación hídrica que se llama la “Cuenca Lerma Chapala.” Esta cuenca cubre más de

54,000 km², y abarca varios estados de la República, incluyendo partes de los estados de México, Querétaro, Michoacán, Jalisco, y Guanajuato. El estado de Guanajuato forma un 44% de la Cuenca Lerma-Chapala, con un 84% de Guanajuato ubicado dentro de esa Cuenca. El estado de Guanajuato, ubicado dentro de la Cuenca Lerma-Chapala, se encuentra otra cuenca hidrológica, denominada la Cuenca de la Independencia, o también conocida como la Cuenca Alta del Río La Laja. La Cuenca de la Independencia cubre alrededor de 6,840 km² en total, mide aproximadamente 100 km por 70 km de ancho, y es tributaria de la Cuenca Lerma-Chapala. Se ubica en las partes norte y noreste del estado de Guanajuato, y 100 km al sur de la ciudad de San Luis Potosí. Aproximadamente el 40% del estado de Guanajuato se halla dentro de la Cuenca, que incluye los municipios de San Miguel de Allende, Dolores Hidalgo, San Diego de la Unión, San Luis de la Paz, San Felipe, San José Iturbide y Doctor Mora, y también pequeñas partes de Ocampo, Guanajuato, y León. Todos los municipios que comprende la Cuenca dependen exclusivamente de fuentes subterráneas para conseguir el agua para el consumo humano, usos domésticos, agrícolas e industriales.¹⁰ La investigación de este trabajo de tesis de maestría está enfocada a la determinación de As y Pb en agua de pozos y posible riesgo en salud en una población del municipio de San Diego de la Unión, Guanajuato. Cabe mencionar que el análisis multi-elemental del agua se llevó a cabo en el Laboratorio Nacional de Investigaciones en Forense Nuclear. Por otra parte, para realizar la estimación de riesgo a la salud nos basamos en las normas existentes a nivel nacional e internacional en agua potable de bebida y los cálculos de ingesta diaria crónica y su índice de peligro.

1. JUSTIFICACIÓN

Los metales pesados, debido a su toxicidad y tendencia a acumularse en los sistemas biológicos, representan un riesgo para la salud del hombre y los ecosistemas. Estos elementos provienen de diferentes fuentes como consecuencia de la actividad antropogénica: combustibles, aerosoles urbano-industriales, desechos líquidos y sólidos de origen animal y humano, industria minera, química, textil, productos químicos empleados en el sector agropecuario.

En la República Mexicana se han detectado, en concentraciones de metales pesados por arriba de los límites que marcan los correspondientes criterios de calidad del agua, Hg, Cd, Pb y metaloides como el As en acuíferos de los estados de Aguascalientes, Coahuila, Chihuahua, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, San Luis Potosí, Sonora y Zacatecas, principalmente. Además, cabe mencionar Aguascalientes, Estado de México, Guanajuato, Jalisco, San Luis Potosí, Sonora y Zacatecas se cuenta con registros de la presencia de fluoruros en algunos de sus acuíferos, y se cuenta con datos esporádicos de detección de As en pozos de Guanajuato, Zacatecas y Puebla. Acorde con la revisión bibliográfica se ha identificado la presencia de concentraciones elevadas de As en acuíferos de otras regiones del país como en los estados de Durango, Sonora, Zacatecas, Chihuahua y Baja California Sur.⁶ En Acámbaro, Guanajuato, se ha informado la existencia de arsenicismo crónico.⁷ En Salamanca, Gto. También se han detectado concentraciones sobre la norma.⁸

El Estado de Guanajuato se localiza en la Mesa Central y al sur de la Altiplanicie Mexicana. El estado se ubica entre los paralelos 19° 55' 08" y los 21° 52' 09" de latitud norte y los meridianos 99° 41' 06" y 102° 09' 07" de longitud oeste. La superficie total del estado es de 30,589 Km², lo que representa el 1.6% de la superficie total del país y el vigésimo segundo lugar nacional en extensión territorial. Guanajuato colinda al norte con los estados de Zacatecas y San Luis Potosí, al sur con el estado de Michoacán, al este con el estado de Querétaro y al oeste con el estado de Jalisco. La altura promedio sobre el nivel del mar es de 2,015 metros.⁹

La región hidrológica que predomina en el Estado de Guanajuato, es la del Río “Lerma-Chapala-Santiago” que fluye de oriente a poniente, hacia la vertiente del océano Pacífico y se extiende en un 83% de su área, contribuyendo con más de 90% del volumen total sumado del escurrimiento superficial y la recarga de acuíferos subterráneos.

La otra cuenca hidrológica es la del “Alto Río Pánuco”, que fluye de poniente a oriente, hacia el Golfo de México y se presenta en un 17% del área estatal. Se ubica en el norte, las cuencas de esta región hidrológica son: Río Tamuín y Río Moctezuma, destacando los afluentes Río Manzanares, Santa María, Brages y Extoraz. Esta región equivale al 6% del territorio nacional y la conforman partes de los estados de Guanajuato, Hidalgo, México, Nuevo León, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz.

Los recursos hidráulicos subterráneos guanajuatenses se ubican en dos grandes subregiones: la subregión Medio Lerma y la subregión Pánuco, en donde la explotación de aguas subterráneas se realiza a través de 35,468 aprovechamientos.¹¹

La Región Norte, se caracteriza por un régimen pluviométrico escaso (500 mms) , y por un clima templado semiárido, extremoso en verano y en invierno, donde las precipitaciones medias anuales oscilan entre los 400 y 500 mms., y la temperatura media anual entre los 16 y los 18 grados centígrados.¹²

En el estado de Guanajuato se tienen reportados 20 acuíferos, para efectos administrativos de la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA), en los cuales se ha detectado la presencia de minerales pesados, como el arsénico, en el agua potable.¹³

En este estado se encuentra el municipio de San diego de la Unión el cual está situado a los 101° 03´ longitud oeste del Meridiano de Greenwich y a los 21° 18´ latitud norte. La altura sobre el nivel del mar es de 2,070 metros. Limita al norte con el estado de San Luis Potosí; al este con el municipio de San Luis de la Paz y de Dolores Hidalgo y al oeste con el de San Felipe. Con una temperatura máxima de 35 grados, una mínima de 2.5 grados y una media anual de 18 grados.

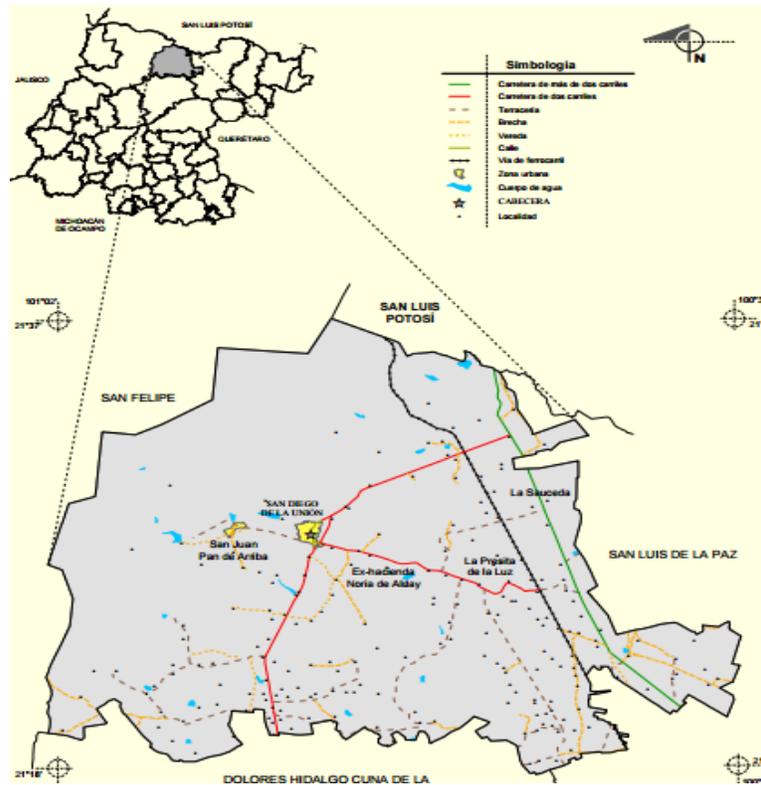


Figura 1 Extensión territorial del municipio de San Diego de la Unión. Fuente: INEGI. Marco Geoestadístico Municipal 2005, versión 3.1

San Diego de la Unión ocupa el 3.26% de la superficie del estado y cuenta con 202 localidades y una población total de 39 668 habitantes.¹⁴

El municipio de San Diego de la Unión se abastece de agua potable a través de 32 pozos de los cuales solo 7 (**Cuadro 1**), son regulados por el Comité de Agua Potable y Alcantarillado Público (CMAPAS), los 25 restantes son pozos irregulares administrados por cada una de las comunidades (**Cuadro 2**).¹⁵ A continuación se presentan los pozos regularizados y no regularizados.

Cuadro 1 Pozos Regularizados del municipio de San Diego de la Unión Gto.

No.	POZO	REGULARIZADO
1	Rosa de Castilla	✓
2	Parritas	✓
3	Tanque Nuevo	✓
4	San Antonio	✓
5	El Salitre	✓
6	La Presita	✓
7	Temazcalillo	✓

Fuente: Directa

Cuadro 2 Pozos No regularizados del municipio de San Diego de la Unión, Gto.

No.	POZO	NO REGULARIZADO
1	Peñuelas	X
2	Ejido Redondo y Rosalito	X
3	Catalán del refugio	X
4	El Colorado	X
5	Ex Hacienda de Jesús	X
6	Guanajuatito	X
7	Noria de Alday	X
8	Intermedio la Noria	X
9	Tampiquito	X
10	Presa de Monjas	X
11	Ranchito de los Hernández	X
12	Ex Hacienda de ojuelos	X
13	Pozo Ademado	X
14	Ovejas	X
15	Barranca de Cano	X
16	Carboneras	X
17	Cabras	X
18	La Jaula	X
19	La Saucedá	X
20	La Granja	X
21	Mulatos	X
22	El Rosalito	X
23	Venadito y Varal	X
24	Palma Gorda	X
25	Cabaña del Rey	X

Fuente: Directa

El presente estudio pretende realizar una estimación de los riesgos a la salud en los habitantes de San Diego de la Unión, por exposición a concentraciones de As y Pb en agua de pozos del municipio mediante el cumplimiento de los límites permisibles para estos elementos establecidos en la OMS y en la NOM-127-SSA1-1994.¹⁶

La factibilidad del estudio se justifica principalmente en:

El artículo 4 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos consagra el derecho al agua. Dicho artículo establece que:

*“Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El Estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la Federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines”.*¹⁷

Los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) entre los cuales se reconoce la importancia del abastecimiento y saneamiento del agua. Al incluir el abastecimiento de agua, el saneamiento y la higiene en los ODM, la comunidad mundial ha reconocido la importancia de su promoción como intervenciones en el desarrollo y ha establecido una serie de objetivos y metas.¹⁸

Cabe resaltar que Las Naciones Unidas proclaman el periodo de 2005 a 2015 Decenio Internacional para la Acción, «El agua, fuente de vida» y deciden otorgar más importancia en el plano mundial a las cuestiones relativas al agua.

«En virtud del derecho humano a disponer de agua, todas las personas deben tener agua suficiente, asequible, accesible, segura y aceptable para usos personales y domésticos.»

Kofi Annan, Secretario General de las Naciones Unidas

Los enfoques del manejo ambiental de la salud deben incorporarse en las estrategias de gestión integral de los recursos hídricos.¹⁸ De ahí, la importancia de la realización de esta investigación servirá como fuente de evidencia científica para la creación de posibles intervenciones y concientizar a las autoridades sobre los posibles riesgos a la salud que pueda presentar la población sandieguense por el consumo de agua con altas concentraciones de As y Pb.

La pregunta de investigación del presente proyecto es:

¿Cuál es el riesgo de salud en la población de San Diego que consume agua de pozos con altas o bajas concentraciones de As y Pb?

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Metales pesados

Los metales pesados son comúnmente definidos como aquellos que tienen una densidad específica de más de 5 g/cm³ y su interés en la investigación ha sido enfocado al desarrollo de nuevos materiales, aunque estos sean en su mayoría tóxicos. Las principales amenazas para la salud a través de la exposición a metales pesados están asociadas especialmente a Hg, Cd, Pb y metaloides como el As. Estos metales han sido estudiados exhaustivamente y sus efectos sobre la salud humana han sido revisados regularmente por organismos internacionales como la OMS.

Los metales pesados se han utilizado en muchas áreas diferentes por miles de años. El Pb ha sido utilizado durante al menos 5.000 años, las primeras aplicaciones incluyendo materiales de construcción, pigmentos para cerámicas, cristales y tuberías para el transporte de agua. En la antigua Roma, se utilizó acetato de Pb para endulzar el vino viejo, y algunos romanos podrían haber consumido tanto como un gramo de Pb al día. El As es todavía común en conservantes de la madera, y tetraetilo de Pb sigue siendo un aditivo común a la gasolina.³

Las emisiones de metales pesados se producen a través de una amplia gama de vías y procesos, incluyendo el aire (por ejemplo, durante la combustión, extracción y procesamiento), superficies acuáticas (a través del escurrimiento y comunicaciones desde el sitio de almacenamiento y transporte) y al suelo (y por lo tanto en las aguas subterráneas y cultivos).⁴

2.2 Plomo.

El Pb es un metal suave, de color azul grisáceo, denso y dúctil. Es muy estable y resiste la corrosión, aunque el agua ácida puede fugarse de tuberías, conexiones y soldadura que contengan plomo. El Pb no conduce electricidad pero es un buen escudo protector contra la radiación.

El Pb existe tanto en forma orgánica como inorgánica.

Pb inorgánico: Es el que se encuentra en pintura vieja, en el suelo y en varios productos que se describen a continuación es plomo inorgánico. Los gases de combustión producidos por la gasolina con Pb también contribuyen a la contaminación ambiental con Pb inorgánico.

Pb Orgánico: La gasolina con Pb contiene Pb orgánico antes de que el combustible sufra combustión. No obstante, el Pb orgánico puede ser más tóxico que el inorgánico puesto que el cuerpo lo absorbe más fácilmente.¹⁹

El Pb se va acumulando en el organismo afectando a diversos sistemas del organismo, con efectos especialmente dañinos en los niños de corta edad. Se estima que en los niños la exposición al Pb causa cada año 600,000 nuevos casos de discapacidad intelectual y la exposición al Pb se cobra cada año un total estimado de 143,000 vidas, registrándose las tasas más altas de mortalidad en las regiones en desarrollo.

Alrededor de la mitad de la carga de morbilidad asociada a la intoxicación por Pb se concentra en la Región de Asia Sudoriental de la OMS, en tanto que la Región del Pacífico Occidental y la Región del Mediterráneo Oriental acaparan una quinta parte cada una.

2.2.1 Fuentes de exposición

Las principales fuentes de exposición a Pb son todas aquellas fuentes externas (**Figura 2**), que van a ingresar a nuestro organismo por alguna vía (respiratoria, digestiva y/o dérmica) y dependiendo de los niveles alcanzados en sangre, tendrán un efecto negativo a nivel de órganos y tejidos.

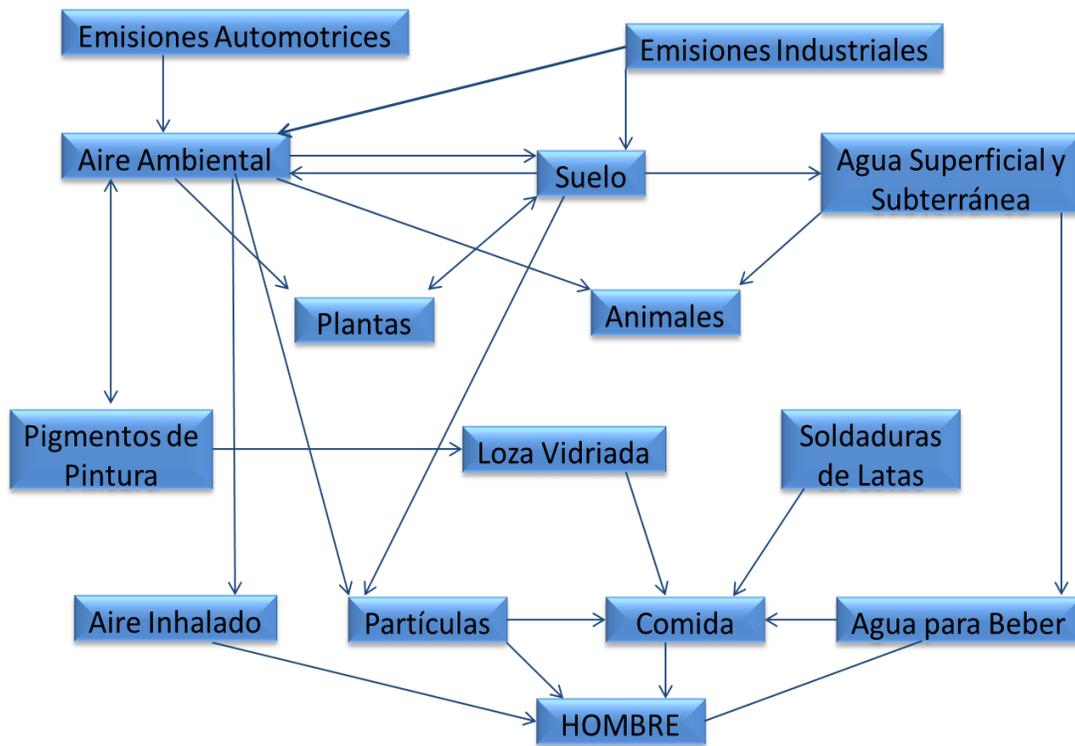


Figura 2 Esquema de Exposición Humana al Pb y Cadena de Difusión

Fuente: Evaluación del riesgo por la exposición a Pb, Fernando Díaz Barriga.

2.2.2 Efectos de la intoxicación por Plomo en la salud.

El Pb se distribuye por el organismo hasta alcanzar el cerebro, el hígado, los riñones y los huesos y se deposita en dientes y huesos, donde se va acumulando con el paso del tiempo. Para evaluar el grado de exposición humana, se suele medir la concentración de Pb en sangre, especialmente en sangre total. No existe un nivel de exposición al Pb que pueda considerarse seguro²⁰, aunque se define con base en la evidencia científica de los efectos tóxicos del Pb en concentraciones de 0.1 mg/L en adultos y de 0.05 mg/L en niños puede originar afectación renal y ósea, convulsiones, edema cerebral y finalmente la muerte. La población general está expuesta al Pb vía inhalatoria y por los alimentos en proporciones más o menos iguales. La IARC (International Agency for

Research on Cancer) clasifica a este compuesto como "posible carcinógeno humano". Los tipos más probables son el cáncer de pulmón, estómago y gliomas.²¹

El Pb tiene graves consecuencias en la salud de los niños. Si el grado de exposición es elevado, ataca al cerebro y al sistema nervioso central, pudiendo provocar coma, convulsiones e incluso la muerte. Los niños que sobreviven a una intoxicación grave pueden padecer diversas secuelas, como retraso mental o trastornos del comportamiento. Se ha comprobado además que en niveles de exposición más débiles sin síntomas evidentes, antes considerados exentos de riesgo, el Pb puede provocar alteraciones muy diversas en varios sistemas del organismo humano.

En los niños afecta, en particular, al desarrollo del cerebro, lo que a su vez entraña una reducción del cociente intelectual, cambios de comportamiento –por ejemplo, disminución de la capacidad de concentración y aumento de las conductas antisociales– y un menor rendimiento escolar. La exposición al Pb también puede causar anemia, hipertensión, disfunción renal, inmunotoxicidad y toxicidad reproductiva. Se cree que los efectos neurológicos y conductuales asociados a Pb son irreversibles.

Al incrementarse la concentración de Pb en sangre de niños y adultos se empiezan a producir cambios bioquímicos que después se transforman en cambios fisiológicos, para conducir a signos y síntomas de enfermedad, hasta ocasionar la muerte a las dosis más elevadas, como se muestra en el **Cuadro 3** los principales efectos a la salud.

Cuadro 3 Efectos del Plomo en la Salud

EFFECTOS	Nivel de Pb en sangre (microgramos/ L ³)
Daños severos al cerebro(encefalopatía)	100
Dolores de cabeza, problemas de concentración y de memoria, dificultades con el sueño, cambios de carácter repentinos	60-70
Anemia	60
Dolor de estómago, estreñimiento, diarrea, falta o pérdida de apetito	50-70
Problemas en el sistema nervioso; reducción de glóbulos rojos	50
Problemas en el sistema reproductivo en los hombres; daños en el riñón	40
Los reflejos se vuelven Lentos	30
Efectos dañinos al feto; presión arterial alta	10-15

Fuente: Efectos a la salud por plomo, Salud Pública de México, Mayo Junio 2002, volumen 37

No existe un nivel de concentración de Pb en sangre que pueda considerarse exento de riesgo. Sí se ha confirmado, en cambio, que cuanto mayor es el nivel de exposición a este metal, más aumentan la diversidad y la gravedad de los síntomas y efectos a él asociados. En el **Cuadro 4** se muestra el límite de Pb en agua de consumo humano y la estimación de riesgo a la salud. El valor de referencia es de 0.01 mg//L para OMS.

Cuadro 4 Límites permisibles de Plomo en agua para consumo humano.

Valor de Referencia	0.01 mg/l
Presencia	Las concentraciones en el agua de consumo son, por lo general, menores que 5µg/l, aunque se han medido concentraciones mucho más altas (mayores que 100 µg/l) en instalaciones con accesorios de plomo.
Ingestión Semanal Tolerable Provisional (ISTP)	25µg/kg de peso corporal (equivalente a 3.5µg/kg de peso corporal al día) para lactantes y niños, teniendo en cuenta que el plomo es una sustancia tóxica acumulativa y que no debe acumularse plomo en el organismo.
Límite de detección	1µg/l mediante AAS
Concentración alcanzable mediante tratamiento	No es un contaminante del agua bruta, de modo que no se aplica tratamiento.
Cálculo del valor de referencia	50% de la ISTP lactante de 5kg 0.75 litros al día.
Observaciones adicionales	<ul style="list-style-type: none">- Dado que los lactantes se consideran el subgrupo de población más sensible, este valor de referencia también protegerá al resto de los grupos de edad- El caso del plomo es excepcional, ya que la mayoría del plomo del agua de consumo proviene de las instalaciones de fontanería de los edificios y la principal solución es eliminar todas las tuberías y accesorios que contienen plomo. Esto exige mucho tiempo y dinero, y se reconoce que no toda el agua alcanzará este valor inmediatamente. Mientras tanto, deben aplicarse todas las demás medidas prácticas que puedan reducir la exposición total al plomo, incluido el control de la corrosión.

Fuente: Organización Mundial de la Salud

2.3 Arsénico.

El As está presente de forma natural en niveles altos en las aguas subterráneas de varios países. Las especies de As que son altamente tóxicas son las formas inorgánicas (As^{+3} y As^{+5}).

Su mayor amenaza para la salud pública, reside en la utilización de agua contaminada para beber, preparar alimentos y regar cultivos alimentarios. Es por ello, que la exposición prolongada al As a través del consumo de agua y alimentos contaminados puede causar cáncer y lesiones cutáneas. Además, se ha asociado a problemas de desarrollo, enfermedades cardiovasculares, neurotoxicidad y diabetes. Razón por la cual, una intervención es importante en las comunidades afectadas, con el fin de evitar la exposición al As. La mejores alternativas que ha desarrollado en otros países ha sido la implantando un sistema seguro de abastecimiento de agua potable, aunque estos sistemas son muy costoso y necesita mantenimiento constante, así como un supervisión similar a una tratadora de agua residual.

2.3.1 Fuentes de exposición.

El As es un elemento natural de la corteza terrestre; ampliamente distribuido en todo el medio ambiente, está presente en el aire, el agua y la tierra. En su forma inorgánica es muy tóxico. La exposición a altos niveles de As inorgánico puede deberse a diversas causas, como el consumo de agua contaminada o su uso para la preparación de comidas, para el riego de cultivos alimentarios y para procesos industriales, así como al consumo de tabaco y de alimentos contaminados.

La exposición prolongada al As inorgánico, principalmente a través del consumo de agua contaminada o comida preparada con esta y cultivos alimentarios regados con agua rica en arsénico puede causar intoxicación crónica. Los efectos más característicos son la aparición de lesiones cutáneas y cáncer de piel.²⁵

2.3.2 Efectos en la salud

El As existe tanto en forma orgánica como inorgánica. Los compuestos de As inorgánico (como los que se encuentran en el agua) son extremadamente tóxicos, en

tanto que los compuestos de As orgánico (como los que se encuentran en pescados y mariscos) son menos perjudiciales para la salud. Los síntomas inmediatos de intoxicación aguda por As incluyen vómitos, dolor abdominal y diarrea. Seguidamente, aparecen otros efectos, como entumecimiento u hormigueo en las manos y los pies o calambres musculares y, en casos extremos, la muerte. En la **Figura 3** se muestran los afectos del As en los principales órganos y sistemas.

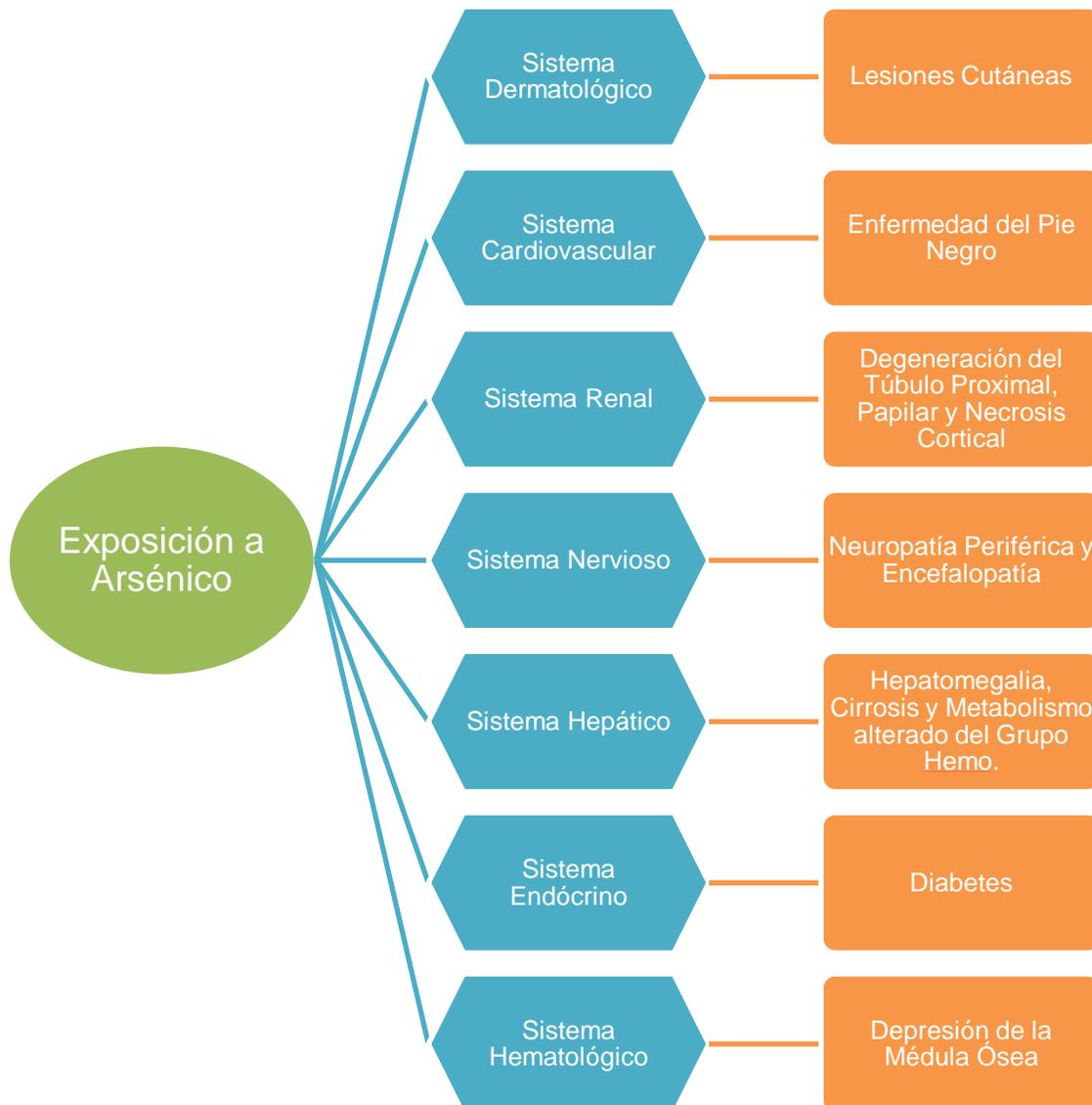


Figura 3 Efectos del As en los principales órganos y sistemas.

Fuente: Environmental Toxicology and Pharmacology 40 (2015) 828–846.

La contaminación por As de las aguas subterráneas es un problema muy extendido; varias regiones presentan niveles importantes de consumo de agua contaminada. Los síntomas y signos asociados a elevados niveles de exposición prolongada al As inorgánico difieren entre las personas, los grupos de población y las zonas geográficas. La OMS ha definido un valor guía para el arsénico en sus *Guías para la calidad del agua potable*²² cuya finalidad es servir en el mundo entero de base para las tareas de reglamentación y normalización en esta esfera.²³ En el **Cuadro 5** se muestra el límite permisible de As en agua para consumo humano, siendo esto de 10 µg/L para la OMS, sin embargo para México el límite permisible de As en agua es superior al de la OMS, siendo este de 25 µg/L (NOM-127-SSA1-1994). Asimismo, se muestra las técnicas de análisis usadas para determinar As en agua, siendo ICP-SFMS la mejor técnica para medir concentraciones de As a nivel traza o ultra-traza.

Cuadro 5 Límite permisible de Arsénico y Técnicas de Análisis para Arsénico en agua para consumo humano.

Valor de Referencia Provisional	0.01 mg/l El valor de referencia se designa como provisional debido a la existencia de incertidumbres científicas.
Presencia	Las concentraciones en aguas naturales son generalmente de 1 a 2 µg/l, aunque pueden ser mayores (hasta 12mg/l) en zonas con presencia de fuentes naturales de arsénico.
Método de Cálculo del Valor de Referencia	Sigue habiendo incertidumbre considerable sobre los riesgos reales a concentraciones bajas, y los datos disponibles sobre el modo de acción no proporcionan una base biológica para la extrapolación lineal o no lineal. Dadas las incertidumbres significativas en torno a la evaluación de riesgos relativos a la capacidad cancerígena del arsénico, el límite práctico de cuantificación, del orden de 1-10µg/l, y las dificultades prácticas para eliminar el arsénico del agua de consumo, se mantiene el valor de referencia de 10µg/l. El valor de referencia se designa como provisional debido a la existencia de incertidumbres científicas.

Límite de Detección	0.1 µg/l mediante ICP/MS; 2µg/l mediante AAS o FAAS con generación de hidruros.
Concentración alcanzable mediante Tratamiento	Es factible técnicamente reducir la concentración de arsénico hasta 5µg/l o menos mediante cualquiera de varios métodos de tratamiento posibles; no obstante, es preciso para ello una cuidadosa optimización y control de los procesos, y es más razonable la expectativa de alcanzar 10µg/l mediante tratamientos convencionales, como la coagulación.
Observaciones Adicionales	-Existe un documento de orientación sobre la gestión del arsénico. -En muchos países, este valor de referencia puede no ser alcanzable. En tales casos, debe ponerse el máximo empeño en mantener las concentraciones en los niveles más bajos que sea posible.

Fuente: Organización Mundial de la Salud.

El As es un contaminante importante del agua de consumo, ya que es una de las pocas sustancias que se ha demostrado que producen cáncer en el ser humano por consumo de agua potable. Hay pruebas abrumadoras, de estudios epidemiológicos, de que el consumo de cantidades altas de As en el agua potable está relacionado causalmente con el desarrollo de cáncer en varios órganos, en particular la piel, la vejiga y los pulmones.

En varias partes del mundo, las enfermedades producidas por el As, como el cáncer, constituyen un problema significativo de salud pública. Dado que la reactividad y toxicidad del As inorgánico trivalente son mayores que las del As inorgánico pentavalente, se cree generalmente que la forma trivalente es la cancerígena.

No obstante, sigue habiendo considerable incertidumbre y controversia tanto sobre el mecanismo de la acción cancerígena como sobre la forma de la curva de dosis-respuesta para ingestas bajas. El Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC) clasifica los compuestos inorgánicos de arsénico en el Grupo 1

(cancerígenos para el ser humano) basándose en la existencia de pruebas suficientes de su capacidad cancerígena en seres humanos y de pruebas limitadas en animales.

Una exposición aguda de As en alta concentración, puede producir una encefalopatía (>2mg As/kg/día). Las hiperqueratosis palmo-plantares y los cambios en la pigmentación de la piel son característicos de la exposición crónica al As. La aparición común en la piel de zonas café oscuras con manchas pálidas dispersas se describe como "gotas de lluvia en un camino polvoriento".

En casos severos, la pigmentación puede extenderse ampliamente en el pecho, espalda y abdomen. Se han observado estos cambios de pigmentación en poblaciones que han consumido de manera crónica agua con 0.04mg/L o más de As.²³

2.4 DEFINICIONES

2.4.1 El agua

El agua es fundamental para la vida y la salud. La realización del derecho humano a disponer de agua es imprescindible para llevar una vida saludable, que respete la dignidad humana. Es un requisito para la realización de todos los demás derechos humanos. El 94% del agua terrestre se encuentra en océanos y mares 4% en acuíferos 2 % en los polos y glaciares (congelada) Menos de 0.01% en ríos, lagos y arroyos, así como en la atmósfera y en los seres vivos. El agua subterránea se mueve y almacena en grandes contenedores geológicos denominados acuíferos.

2.4.2 Agua subterránea

El agua que existe en los acuíferos se conoce como agua subterránea y su extracción se realiza normalmente a través de pozos.

2.4.3 Acuífero

Un acuífero es una formación geológica subterránea que se ha formado a lo largo de varios años como resultado de la infiltración del agua de lluvia, del agua de los ríos, lagos o deshielos. A la infiltración que ocurre en los acuíferos se le conoce como recarga.

Los acuíferos se ubican a diferentes profundidades y se definen principalmente en función de su tamaño, el volumen de agua que pueden almacenar, la velocidad a la que se mueve el agua en ellos, el tiempo que tarda su recarga y la composición del suelo en donde se ubican. En condiciones naturales, el agua de los acuíferos es de buena calidad, aunque existen regiones del país donde presenta un alto contenido de sales o minerales, lo que hace necesario el tratamiento de sus aguas.

2.4.4 Importancia de las aguas subterráneas

La extracción de las aguas subterráneas ha sido de gran trascendencia para cubrir las necesidades de agua de las ciudades y poblaciones rurales, así como para los usuarios agrícolas e industriales del país. En algunas regiones de México, los acuíferos representan la única fuente de abastecimiento de agua para la población.

La importancia de los acuíferos se puede apreciar por los siguientes hechos:

1. Son las únicas fuentes confiables de suministro de agua en las regiones áridas y semiáridas del país, las cuales ocupan dos terceras partes del territorio nacional.
2. Suministran el agua que requiere el 70% de la población del país.
3. Satisfacen las demandas de agua del 50% de la industria.
4. · Sustentan el riego de dos millones de hectáreas, prácticamente la tercera parte de la superficie total bajo riego.

En muchos países, los acuíferos constituyen una reserva estratégica de agua que solo se emplea en casos de emergencia. Independientemente de que los acuíferos se utilicen en situaciones de emergencia o como una fuente continua de suministro de agua, como ocurre en nuestro país, es importante evitar su sobreexplotación, es decir, que el agua extraída de ellos sea mayor a la de su recarga.

El problema de la sobreexplotación de los acuíferos en el país es cada vez más grave: en 1975 eran 32 los acuíferos sobreexplotados, número que se elevó a 80 en 1985 y a 104 en el año 2004; de hecho, el 60% del agua subterránea que se emplea en el país proviene de acuíferos sobreexplotados. Por ello es necesario también evitar su contaminación, ya que un acuífero contaminado difícilmente se puede recuperar, por lo que se debe tener cuidado de no verter al suelo sustancias que pudieran infiltrarse al acuífero y afectar en forma negativa su calidad.

Este fenómeno origina que el agua del subsuelo se encuentre a profundidades cada vez mayores, lo que incrementa sus costos de extracción e incluso la vuelve incosteable para ciertos usos, impactando al desarrollo y economía de la región. También puede traer como consecuencia el movimiento de agua con calidad desfavorable hacia el acuífero, imposibilitando su uso.²⁴

2.5 TÉCNICAS ANALÍTICAS PARA MEDIR METALES PESADOS

2.5.1 Espectrómetro de absorción atómica con cámara de grafito (GFAAS)

Permite trabajar con muestras de volumen muy reducido (inferior a 100 μL) o directamente sobre muestras orgánicas líquidas. Habitualmente se analizan muestras de material biológico de origen clínico (sangre, suero, orina, biopsias hepáticas, etc.). Por su elevada sensibilidad (niveles de $\mu\text{g/L}$), la técnica se aplica en la detección de metales en productos de alta pureza, como por ejemplo fármacos, alimentos (peces y carne) y productos industriales, y también en aguas de bebida y de acuíferos (determinación de la presencia de Cu, Cd, Pb, As, Hg, etc.). Finalmente, cabe mencionar que GFAAS se utiliza para determinar As, Pb y otros metales pesados en ensayos de rutina, es decir que es la mejor técnicas para análisis de rutina por su bajo costo. Sin embargo, la técnica no es multi-elemental por lo que se necesita un mayor tiempo de análisis, así como en la preparación de las muestras.

2.5.2 Espectrómetro de absorción atómica de llama (FAAS)

Esta técnica analítica está especialmente indicada para determinar elementos alcalinos, alcalinotérreos y metales pesados presentes en cualquier tipo de muestra susceptible de ser disuelta. Los niveles de concentración que se pueden analizar van desde % hasta $\mu\text{g/L}$.

2.5.3 Espectrometría de Masas con Fuente de Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS)

La tecnología de ICP-MS fue introducida en 1980 por Houk y sus colaboradores, mediante el acoplamiento de una fuente de plasma a presión normal con un espectrómetro de masas basado en un cuadrupolo. El primer instrumento introducido en el mercado internacional fue un equipo de ICP-MS de cuadrupolo (PerkinElmer, modelo Elan 250) en 1983. Desde entonces, la instrumentación de ICP-MS ha evolucionado aprovechando los avances tecnológicos que han tenido lugar en campos como la electrónica, la ciencia de materiales, la informática o la tecnología para la generación de alto vacío, dando lugar a desarrollos instrumentales cada vez más sofisticados. Los equipos de ICP-MS (especialmente los sistemas basados en cuadrupolo) presentan muchas ventajas debido a su coste instrumental relativamente

bajo, su alta productividad, elevada sensibilidad, precisión y exactitud en los resultados analíticos. Cumplen, por tanto, con los requisitos necesarios para el análisis isotópico y de trazas en tareas de control o de seguimiento que habitualmente se aplican en multitud de campos, tales como medioambiente, industria nuclear, biología, geología, ciencias de los materiales, geoquímica, medicina, etc. Gracias a sus excelentes Límites de Detección (LODs) y a su capacidad de análisis multielemental, ICP-MS es la técnica de espectrometría de masas más utilizada unos 25 años después de la introducción de ICP-MS, existen más de 5000 equipos ICP-MS instalados en todo el mundo.

ICP-MS ha demostrado poseer un gran potencial para su aplicación al análisis de metales pesados, y se ha ido consolidando frente a otras técnicas clásicas basadas en la detección de la radiación. El éxito de ICP-MS se basa en las ventajas anteriormente mencionadas: permite realizar análisis multielemental, posibilidad de análisis por dilución isotópica, bajos límites de detección (rango de 1-100 fg de cada uno de los metales pesados por muestra), rapidez, productividad elevada y automatizada para análisis en rutina, coste razonable. Sin embargo, ICP-MS tiene la existencia de interferencias isobáricas hoy en día en análisis inorgánico multielemental a concentraciones en el rango de trazas, ultratrazas y para análisis isotópico preciso, principalmente en disoluciones acuosas y en muestras sólidas una vez disueltas o directamente, por ejemplo mediante ablación láser, en una amplia variedad de muestras de diferentes tipos. Todo ello queda demostrado por el rápido incremento de instalaciones dotadas de equipos de ICP-MS en todo el mundo, así como de la gran variedad de equipos de ICP-MS basados en cuadrupolo (por ejemplo, Agilent, PerkinElmer, Thermo Fisher Scientific, Varian y otros), sector magnético con doble enfoque y colector simple (Element, Element-2 y Element XR, de Thermo Fisher Scientific; Nu ATTOM, de Nu Instruments) o múltiple (Neptune, de Thermo Fisher Scientific; Nu Plasma, de Nu Instruments). Para realizar la determinación de Pb y As se usará Espectrómetro de Masas de Sector Magnético con Fuente de Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-SFMS) modelo Element XR, de Thermo Fisher Scientific.

3. HIPÓTESIS

Los niveles de As y Pb en el agua de pozos para consumo humano, del municipio de San Diego de la Unión, presentan un riesgo a la salud en la población Sandieguense.

4. OBJETIVO

Estimar el riesgo a la salud en la población de San Diego de la Unión mediante los límites establecidos en la NOM-127-SSA1-1994 y OMS, en agua de pozos para consumo debido a una alta exposición de As y Pb.

4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las concentraciones de As y Pb presentes en el agua de pozos irregulares y de pozos regularizados en el municipio de San Diego de la Unión, Guanajuato.
- Evaluar las concentraciones de As y Pb obtenidas con los parámetros establecidos por la NOM-127-SSA1-1994 y por la OMS.
- Evaluar las concentraciones de As y Pb obtenidas en agua de consumo y realizar la estimación riesgo a la salud en el municipio de San Diego de la Unión, Guanajuato.

5. METODOLOGÍA

5.1 TIPO DE ESTUDIO

Estudio con un enfoque cuantitativo y un nivel de alcance correlacional y explicativo.

5.2 DISEÑO METODOLÓGICO

El estudio tiene un diseño transversal ya que solo se realizó una medición.

5.3 LIMITES DE TIEMPO Y ESPACIO

El proyecto se realizó en el municipio de San Diego de la Unión, en el periodo de Junio 2015 – Julio 2016.

5.4 UNIVERSO

Agua para consumo de pozos regularizados y pozos no regularizados del municipio de San Diego de la Unión, Guanajuato.

5.5 MUESTRA

El siguiente estudio presentó un tipo de muestreo no aleatorizado y el tamaño de la muestra fue por conveniencia, resultando 22 pozos para su análisis. El total de pozos era 31 de los cuales dos ya no están en servicio, otros dos no se tuvo acceso a los pozos para la toma de muestra y los cinco restantes hubo contaminación de las muestras las cuales no se pudieron recuperar, quedando 22 muestras.

5.6 VARIABLES

Las variables del presente proyecto son:

- **Concentración:** es la relación que existe entre la cantidad de soluto y la cantidad de disolvente.

Esta variable es numérica e independiente

- **Estimación de riesgo a la Salud:** conocer aproximadamente la dosis de contaminante que está siendo absorbida por el individuo expuesto.

Esta variable es categórica y dependiente

PARÁMETROS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EXPOSICIÓN

A continuación se muestra la ecuación usada para cálculo de Dosis

$$Dosis (mg / kg / día) = \frac{Conc. \times TI}{PC} \times FE$$

Dosis. Dosis de exposición que está estimándose

Conc. Concentración del contaminante en el medio ambiental seleccionado

TI tasa de ingestión diaria de agua = 1 litro/niño 2 litros/adulto

PC Peso corporal = 10 kg/infante, 14 kg/niño (3-6 años) ó 70 kg/adulto

FE Factor de exposición; incluye datos de biodisponibilidad, absorción y/o temporalidad

Los datos pueden provenir de la literatura científica y del estudio efectuado en el sitio²⁹

Índice de Peligro

Probabilidad de que un individuo sufra un efecto adverso. Se muestra la ecuación utilizada a continuación.

$$IP = \text{exposición (mg/kg/día)} / \text{RfD (mg/kg/día)}$$

Si el resultado es mayor que la unidad se interpreta como que existe el peligro de que se presenten efectos adversos.²⁹

La Dosis de referencia para el As es de 0.0003 mg/kg/día.³⁰

No esta reportada en la literatura una Dosis de Referencia para el Pb ya que algunos de los efectos en la salud asociados al plomo suelen ocurrir a dosis tan bajas como para establecer un umbral.

5.8 PROCEDIMIENTOS

Identificación del sitio de la toma de muestra:

Información requerida:

- Identificación unívoca de la muestra (nombre, código, etc.)
- Identificación del sitio de muestreo (georreferenciación: latitud, longitud)
- Tipo de fuente y características de la misma (pozo calzado, perforación, canal, río, represa, aljibe, profundidad del nivel estático y total si fuera pozo o perforación, diámetro de la perforación o pozo, cercanía a pozos negros o industrias, existencia de pozos abandonados, etc.)
- Destino (consumo humano, animal, riego, etc.).
- Información acerca de problemas que detecta el personal encargado que puede atribuirse al agua, volumen diario que se extrae normalmente o algún dato indirecto que permita el cálculo (cantidad de personas, cantidad y tipo de animales que abreven, superficie de riego).
- Condiciones de muestreo (fecha y hora).
- Nombre de quien realizó el muestreo.
- Tipo de análisis a efectuar (físico-químico).
- Reactivo empleado para su preservación.
- Cualquier otra observación que se considere de importancia.

Toda esta información se registró en una planilla.

Rotulado de las muestras:

Se rotularon los envases antes de iniciar el muestreo, ya que se cuenta con mejores condiciones de higiene. Es fundamental asegurarse que el rótulo sea seguro (que no se borre, se pierda o se destruya durante el traslado de la muestra), y que la identificación sea unívoca, para que no se confundan o se pierda la trazabilidad de las muestras, y lo más sencilla posible (toda la información va en la Planilla de Registro).

Toma de muestra para análisis físico-químico

El muestreo de agua es una actividad dirigida a la recolección de una pequeña porción de ésta, que represente exactamente la calidad de la masa de agua en el lugar y en el momento de obtención de la muestra.

Precauciones para la toma de la muestra en función de su origen.

Para asegurar que la muestra sea lo más representativa posible del total, se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones: cualquiera sea la fuente de agua, previo a la toma de la muestra, se enjuagó el envase por lo menos 2 a 3 veces con agua.

- Se tomaron tres muestras por punto (pozo).
- A dos de las muestras se les añadió 2 mL de HNO_3 ultra-puro, por cada 100 mL de H_2O , la otra muestra no se le adicionara nada, solo se tapó perfectamente el envase.

Una vez envasada la muestra se identificó, para prevenir confusiones en la identificación de las muestras, colocando etiquetas adhesivas en las que se anotó, con tinta a prueba de agua, la siguiente información:

- Número de muestra, ejemplo: P_1M_1 , P_2M_2 , P_3M_3 .
- Nombre del recolector
- Fecha y hora de muestreo
- Lugar y dirección del sitio de muestreo
- Pozo regularizado o no regularizado
- Si se encuentran partículas en las muestras se deberá realizar una filtración
- Las muestras fueron entregadas los sábados

RESGUARDO

Las muestras se mantuvieron a una temperatura de 4°C , hasta la entrega de las mismas para proceder con el análisis directo de la muestra.

Protocolo de Preparación de las Muestras para la Cuantificación de As y Pb

Las mediciones de As y Pb se realizaron con un ICP-SFMS (Elemento 2 XR de Thermo Fisher Scientific Alemania). Muestras acuosas fueron introducidas con una SC-2 DX automuestreador de ElementScientific Inc. (ESI) y un nebulizador microconcentric acoplado a un Twister ml con una cámara de pulverización de vidrio de borosilicato ciclónico Helix 50 (Elemental Scientific Inc., EE.UU.). La antorcha del instrumento ICP-SFMS (Elemental Scientific Inc., EE.UU.) contiene un electrodo de platino a tierra (GuardElectrodeTM, ThermoScientific, Alemania). La medición de las medidas de Pb y As fueron medidas en modo baja y alta resolución, respectivamente. Un sistema para realizar la digestión fue usado para la mineralización de las muestras de suero (MARS6 CEM, Matthews, Carolina del Norte).

La calibración de masa de ICP-SFMS se realizó, utilizando una solución multi-elemental certificada XXIII obtenida de la Compañía Merck (Alemania). Para la optimización de las condiciones instrumentales de ICP-SFMS se llevaron a cabo mediante el uso de parte alícuota de 10 mg/L de la disolución certificada de 1,000 g/L de As y Pb (Merck, Alemania), la última solución se utilizó para la curva de calibración. Además, se añadió Indio en una concentración de 1 mg/L como estándar externo durante las mediciones para el control de la estabilidad instrumental. Las disoluciones se prepararon usando reactivos de grado analítico de Merck (Alemania) y agua de alta pureza ($> 18 \text{ M}\Omega/\text{cm}$), la cual fue obtenida de un sistema de agua Milli-Q® (Millipore México). El ácido nítrico se purificó por destilación en un MilestoneDuopur (Milestonesrl, Italia). El gas Argón que se usó en el plasma de ICPS-FMS con una pureza 99,96% fue suministrado por INFRA, SA de CV México. En resumen, se tomaron 45 mL de agua y se pusieron en vaso de teflón con 10 ml de alta pureza HNO_3 y 1 mg/L de Indio, seguido de una digestión usando el sistema MARS6. La digestión consistió en una rampa de temperatura $180 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 20 minutos, este método usado esta estandarizado para agua (Method 3005A, acid digestion of water) para ICP-MS. Todas las muestras se evaporaron a sequedad en placa caliente y se recuperaron en 10 mL de HNO_3 2% v/v.

5.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para la comprobación de la hipótesis formulada, se realizó una base de datos en el programa Excel y spss para la captura, procesamiento y análisis de datos capturados.

Las pruebas estadísticas a utilizar para comprobación de la hipótesis, fueron elaborar tablas de frecuencias clasificando cuales pozos están por encima de los valores permisibles en la NOM-127-SSA1-1994 y por la OMS.

Posteriormente usamos la prueba binomial para comparar las frecuencias observadas de las dos categorías de una variable dicotómica con las frecuencias esperadas en una distribución binomial con un parámetro de probabilidad especificado. Es decir, la Prueba Binomial la utilizamos para probar la diferencia de proporciones en una misma muestra contra un valor de prueba. En este caso la concordancia de la concentración de cada pozo, con el límite permisible en la norma oficial mexicana y los límites de la OMS para As.

6. CONSIDERACIONES ÉTICAS Y LEGALES

Se solicitó permiso al Comité municipal de agua potable y alcantarillado para tener acceso a los informes que se tienen con referencia a este problema, además de solicitar autorización para la toma de muestras de agua de los pozos del municipio.

6.1 CONSIDERACIONES ÉTICAS NACIONALES

Este estudio se basa en La Ley General de Salud; Título Quinto; Investigación para la Salud; en el ARTÍCULO 96.- La investigación para la salud comprende el desarrollo de acciones que contribuyan: IV.- Al conocimiento y control de los efectos nocivos del ambiente en la salud; ARTICULO 97. La Secretaría de Educación Pública, en coordinación con la Secretaría de Salud y con la participación que corresponda al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, orientará al desarrollo de la investigación científica y tecnológica destinada a la salud. ARTICULO 99. La Secretaría de Salud, en coordinación con la Secretaría de Educación Pública, y con la colaboración del Consejo

Nacional de Ciencia y Tecnología y de las instituciones de educación superior, realizará y mantendrá actualizado un inventario de la investigación en el área de salud del país.

También esta investigación se basa en el reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud en el ARTICULO 1o.- Este Ordenamiento tiene por objeto proveer, en la esfera administrativa, al cumplimiento de la Ley General de Salud en lo referente a la investigación para la salud en los sectores público, social y privado. Es de aplicación en todo el territorio nacional y sus disposiciones son de orden público e interés social. ARTICULO 2o.- Para los fines de este Reglamento, cuando se haga mención a la "Ley" a la "Secretaría" y a la "Investigación", se entenderá referida a la Ley General de Salud, a la Secretaría de Salud y a la Investigación para la Salud, respectivamente. ARTICULO 3o.- La investigación para la salud comprende el desarrollo de acciones que contribuyan: III. A la prevención y control de los problemas de salud; IV. Al conocimiento y evaluación de los efectos nocivos del ambiente en la salud.

6.2 CONSIDERACIONES ÉTICAS INTERNACIONALES

El presente estudio está basado en La Declaración de Helsinki, promulgada en 1964 por la Asociación Médica Mundial, que es el documento fundamental en el campo de la ética en la investigación biomédica y ha tenido considerable influencia en la formulación de la legislación y de los códigos de conductas internacionales, regionales y nacionales.

6.3 SOBRE LA AUSENCIA DE CONFLICTO DE INTERESES Y AUTORÍAS

No tenemos conflictos de interés en el desarrollo de este proyecto desde su concepción teórica hasta la divulgación de los resultados encontrados. Acorde a ética, se dará el debido crédito a cada uno de los participantes apareciendo en el primer artículo en el siguiente orden: primer autor: **Betsabé González Rodríguez**, segundo y tercer autor los coasesores de esta tesis.

Todos tendrán obligaciones éticas respecto a la publicación de los resultados de la Investigación y serán responsables de la integridad y exactitud de los informes, además de aceptar en común acuerdo las normas éticas de entrega de información,

para lo cual será necesaria la publicación de los resultados negativos, inconclusos o positivos.

Futuras publicaciones y orden de aparición, serán de acuerdo a la contribución que realicen cada uno de los involucrados, con el consentimiento previo del autor principal.

6.4 SOBRE EL APOYO FINANCIERO PARA LA DIFUSIÓN DE RESULTADOS

Sobre el apoyo del financiamiento del proyecto se realizó mediante el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares para la difusión de los resultados obtenidos mediante el desarrollo de este proyecto.

6.5 SOBRE LAS AUTORIZACIONES PREVIAS AL DESARROLLO DEL PROYECTO

El presente proyecto fue autorizado por el H. Comité Académico así como por el Comité de Ética de la Maestría en Salud Pública de la Facultad de Enfermería de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

6.6 SOBRE LA TRANSFERENCIA DE LOS RESULTADOS.

Cuando se concluya con el análisis de los resultados obtenidos de este proyecto, se proporcionarán al Comité del Agua Potable y Alcantarillado Público del municipio de San Diego de la Unión, Guanajuato. Para su revisión y evaluación con las autoridades.

7. RESULTADOS

En cuanto los resultados obtenidos para As y Pb en términos de Desviación Relativa Estándar (DRE) fueron las $1.03 \pm 0.020\%$ y $1.09 \pm 0.18\%$, respectivamente. Con referencia a la linealidad, la regresión lineal de la curva de calibrado de As y Pb usando ICP-SFMS fue de 0.9999 para ambos elementos (**Gráfico 1**). Estos resultados aseguran una gran confiabilidad ya que ninguno de ellos supera el 2%.

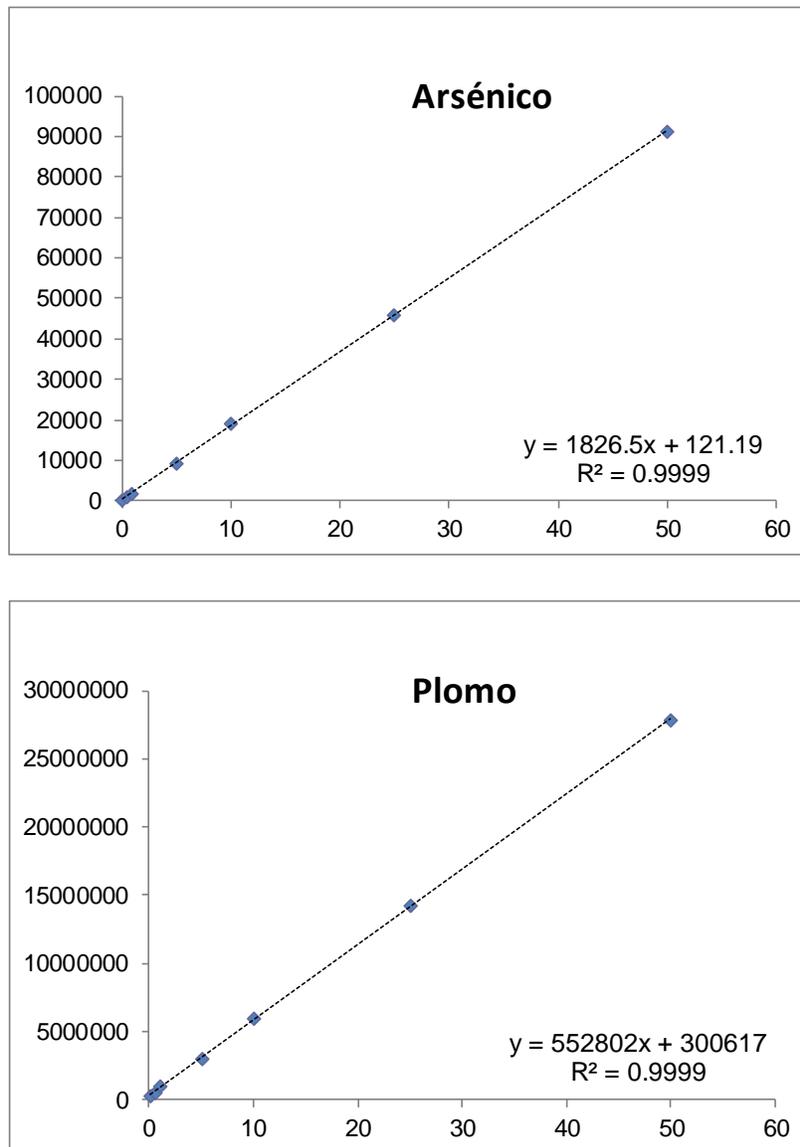


Gráfico 1 Resultados obtenidos de las curvas de calibración usando ICP-SFMS.

Fuente: Elaboración propia.

Las condiciones del ICP-SFMS se muestran en el **Cuadro 6**, donde el modo utilizado para medir fue baja resolución y el tiempo de análisis fue inferior a 3 min.

Cuadro 6 Condiciones instrumentales de método para medir As y Pb en agua de consumo humano usando ICP-SFMS.

Condiciones instrumentales	Modo Normal
Torch. X-Pos. [mm]	2.100
Torch. Y-Pos. [mm]	-1.500
Torch. Z-Pos. [mm]	-6.800
Plasma power [W]	1300
Peristaltic pump [rpm]	11.00
Cold Gas [L/min]	16.02
Faraday Detection [V]	-205.00
Auxiliary Gas [L/min]	0.80
Lens filter [V]	0
Sample gas [L/min]	0.993
Additional gas 1 [L/min]	0
Extraction [V]	-2000.00
Focus [V]	-915.30
Deflection-x [V]	2.00
Deflection-y [V]	-0.10
Shape [V]	120.50
Rotation quadrupol 1 [V]	-3.64
Rotation quadrupol 2 [V]	-2.90
Focus quadrupol 1 [V]	-3.05
Focusquadrupol 2 [V]	0.15
VaVb [%]	0.070
Focus offset [%]	2.80
Matsuda- plate [V]	60.66
Deflection-SEM [V]	648
SEM [V]	2500

Fuente: Elaboración Propia

Después de la optimización del método para medir As y Pb se realizó la recopilación de datos obtenidos por ICP-SFMS para responder a hipótesis propuesta dentro de este trabajo de tesis, así como a los objetivos propuestos. A continuación se mencionara cada uno de los resultados obtenidos.

Para la identificación de las concentraciones de As y Pb presentes en el agua para consumo en el municipio de San Diego de la Unión. En el **Cuadro 7** se muestra los resultados obtenidos de As y Pb, su ubicación, si es pozo regularizado y la población que depende de este pozo. El total de pozos analizados fueron 22.

Cuadro 7 Concentraciones de As y Pb de los pozos en mg/L, ubicación, pozo regularizado o no regularizado y población a la que abastece.

Pozo	As (mg/L)	Pb (mg/L)	Ubicación	Pozo Regularizado	Población
P1	0.007	0.09	21°23'12.02" N 100°47'18.38" O	NO	1006
P2	0.027	0.09	21°22'37.70" N 100°46'38.47" O	NO	411
P4	0.015	0.08	21°19'22.52" N 100°44'07.79" O	NO	1152
P5	0.02	0.06	21°31'24.28" N 100°46'09.91" O	SI	1051
P6	0.01	0.54	21°30'10.00" N 100°48'08.81" O	NO	1045
P7	0.081	0.2	21°22'48.74" N 100°40'08.33" O	NO	585
P8	0.014	0.57	21°25'52.25" N 100°44'51" O	NO	454
P10	0.018	0.18	21°24'27.49" N 100° 53' 14.31" O	NO	14
P11	0.017	0.09	21°27'25.0" N 100°51'30.7" O	SI	1491
P12	0.012	0.05	21°24'33.11" N 100° 53'28.43" O	SI	687
P14	0.015	0.1	21°20'59.60" N 100° 58'30.11" O	NO	273
P15	0.013	0.06	21°19'45.86" N 101° 1'40.29" O	NO	161
P16	0.007	0.04	21°21'47.58" N 100° 49'53.55" O	NO	212
P17	0.011	0.06	21°19'44.05" N 100° 48'10.11" O	NO	838
P18	0.018	0.24	21°19'44.05" N 100° 49'53.58" O	NO	398
P19	0.032	0.12	21°20'03.63" N 100° 51'33.68" O	NO	921
P20	0.018	0.06	21°19'51.22" N 100° 58'46.95" O	NO	409
P21	0.02	0.61	21°23'8.0" N 100° 1.82" O	NO	256
P22	0.005	0.35	21°26'19.95" N 100° 54'47.11" O	SI	10468
P23	0.047	0.04	21°30'32.0" N 100° 44'20" O	NO	987
P24	0.018	0.15	21°29'13" N 100° 43'41.78" O	NO	1305
P25	0.036	0.4	21°26'39.31" N 100° 42'56.24" O	NO	649

Fuente: Elaboración Propia

En la **Figura 4** se muestra la distribución de los pozos de donde se obtuvieron las muestras en San Diego de la Unión.

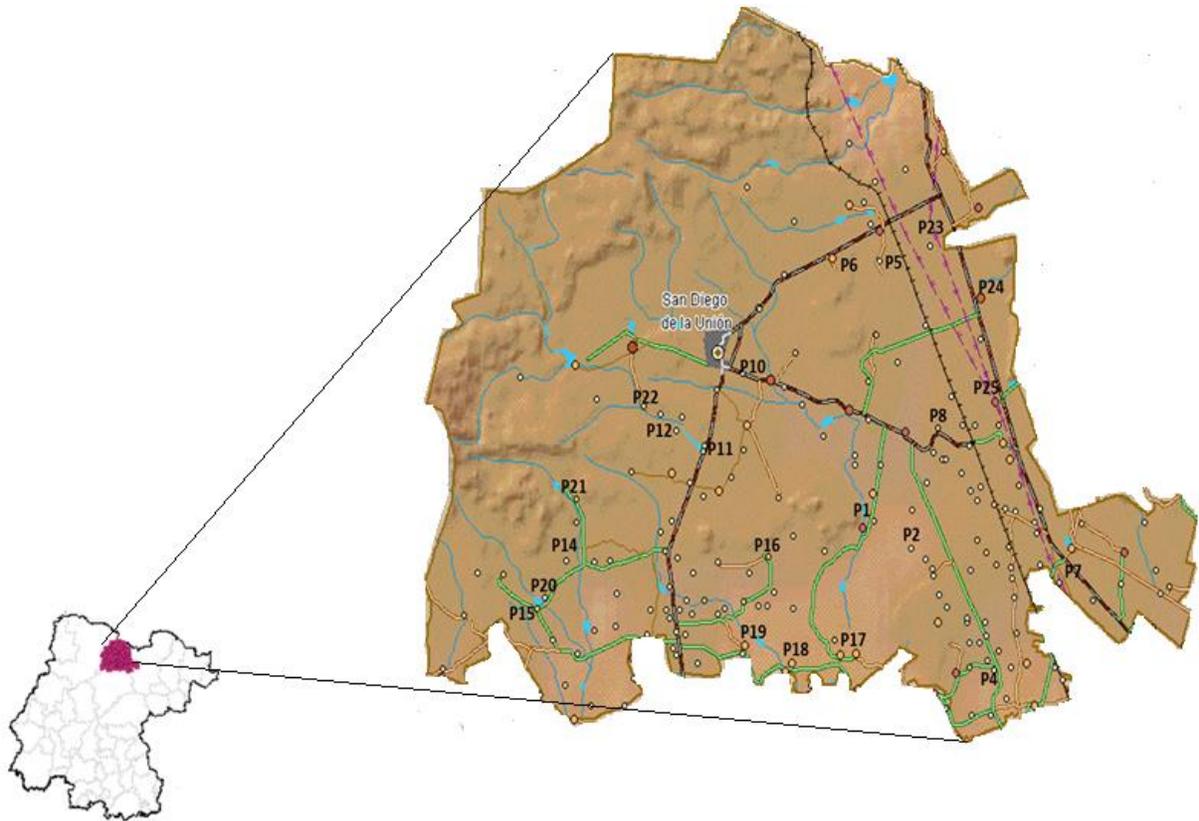


Figura 4 Distribución de los pozos en San Diego de la Unión

Fuente: INEGI. Marco Geoestadístico Municipal, 2009. Versión 4.2

Para hacer la comparación entre los límites permisibles de As y Pb entre la NOM-127-SSA1-1994 vs OMS.

En el **Cuadro 8** se muestra la comparación de los límites por establecidos NOM-127-SSA1-1994 y OMS con los resultados de As y Pb obtenidos en este estudio.

Cuadro 8 Concentraciones de As y Pb comparadas con los límites permisibles por las NOM-127-SSA1 y OMS.

Pozo	Conc As (mg/L)	NOM-127 0.025 (mg/L)	OMS 0.01(mg/L)	Conc Pb(mg/L)	NOM y OMS (0.01 mg/L)
P1	0.007	SI	SI	0.09	NO
P2	0.027	NO	NO	0.09	NO
P4	0.015	SI	NO	0.08	NO
P5	0.020	SI	NO	0.06	NO
P6	0.010	SI	NO	0.54	NO
P7	0.081	NO	NO	0.20	NO
P8	0.014	SI	NO	0.57	NO
P10	0.018	SI	NO	0.18	NO
P11	0.017	SI	NO	0.09	NO
P12	0.012	SI	NO	0.05	NO
P14	0.015	SI	NO	0.10	NO
P15	0.013	SI	NO	0.06	NO
P16	0.007	SI	SI	0.04	NO
P17	0.011	SI	NO	0.06	NO
P18	0.018	SI	NO	0.24	NO
P19	0.032	NO	NO	0.12	NO
P20	0.018	SI	NO	0.06	NO
P21	0.020	SI	NO	0.61	NO
P22	0.005	SI	SI	0.35	NO
P23	0.047	NO	NO	0.04	NO
P24	0.018	SI	NO	0.15	NO
P25	0.036	NO	NO	0.40	NO

Fuente: Elaboración Propia

Para evaluar la veracidad de los resultados en términos de significancia se realizó una prueba binomial para la diferencia entre los pozos que se encuentran dentro del límite permisible por la NOM-127-SSA1 y el límite permisible por la OMS, donde el resultado obtenido fue que si hay diferencia significativa ya que el valor fue $p < 0.005$, en el **Cuadro 9** se muestra estos resultados.

Cuadro 9 Prueba Binomial para diferencia entre las NOM-127-SSA1 y OMS

		Categoría	N	Proporción Observada	Proporción de Prueba	Sig. exacta
NOM	Grupo 1	SI	17	0.772727		
	Grupo 2	NO	5	0.227273	0.140000	< 0.005
	Total		22	1.00000		

Fuente: Elaboración propia.

Para realizar la estimación de riesgo a la salud por As y Pb se calculó la dosis de exposición y su índice de peligro, la ecuación que se usó se encuentra en el apartado de variables y los resultados obtenidos se muestran en el **Cuadro 10**.

Cuadro 10 Dosis de As y Pb (mg/kg/día) e índice de peligro para As.

Pozo	Dosis As (mg/kg/día)	HQ As	Dosis Pb (mg/kg/día)
P1	0.0002	0.6	0.0025
P2	0.0008	2.6	0.0024
P4	0.0004	1.4	0.0021
P5	0.0006	1.9	0.0017
P6	0.0003	0.97	0.0155
P7	0.0023	7.7	0.0057
P8	0.0004	1.4	0.0162
P10	0.0005	1.7	0.0053
P11	0.0005	1.6	0.0026
P12	0.0004	1.2	0.0014
P14	0.0004	1.4	0.0027
P15	0.0004	1.2	0.0017
P16	0.0002	0.7	0.0013
P17	0.0003	1.0	0.0017
P18	0.0005	1.7	0.0068
P19	0.0009	3.1	0.0034
P20	0.0005	1.8	0.0018
P21	0.0006	2.0	0.0174
P22	0.0001	0.5	0.0101
P23	0.0013	4.5	0.0012
P24	0.0005	1.7	0.0042
P25	0.0010	3.4	0.0114

Fuente: Elaboración Propia.

8. DISCUSIÓN

En este trabajo de tesis desarrollado muestra hallazgos relevantes de contaminación en agua de consumo humano por As y Pb.

La mediana de la concentración para As es de 0.017 mg/L y para Pb es de 0.09 mg/L con una desviación estándar de 0.01668 mg/L y 0.1831 mg/L, respectivamente. El total de pozos regularizados fueron 4 y 18 son pozos no regularizados.

En los pozos regularizados como en los no regularizados se encontraron concentraciones fuera de los límites permisibles por la OMS, en comparación con los límites de la NOM-127-SSA1 los pozos regularizados se encuentran dentro de los parámetros permisibles.

Cinco pozos (P2, P7, P19, P23, P25) están fuera de la NOM-127-SSA1, los cuales representan el 23% para As. En cambio con el límite establecido por la OMS, el cual es de 0.01 mg/L para As, el 86% está fuera de los límites permisibles, con concentraciones que van de 0.027 mg/L hasta 0.081 mg/L de As.

Los pozos que presentaron las mayores concentraciones de As son P7 (0.081mg/l) seguido de el pozo P23 (0.047mg/L) y P25 (0.036mg/L).

Dichas concentraciones, han sido relacionadas por algunos autores con manifestaciones dermatológicas, cardiovasculares, renales, hematológicas y respiratorias.^{31, 32,33}

La prueba binomial se calculó para observar si se encontraba una diferencia, entre los pozos que están dentro de los límites permisibles de la OMS y de la NOM-127-SSA1, ya que estos parámetros son diferentes entre una norma y otra, la prueba tiene un valor de $p < 0.005$ lo que nos dice que esta diferencia es altamente significativa.

Para Pb no se desarrolló la prueba binomial ya que el límite permisible para la NOM-127-SSA1 y OMS es el mismo de 0.01 mg/L.

En el caso de Pb se observa que el 100% de las muestras esta fuera del límite permisible que es de 0.01 mg/L con concentraciones que van de 0.04 hasta 0.61 mg/L. Para Pb, no existe una dosis de referencia establecida en la literatura, ya que algunos de los efectos en la salud asociados al Pb suelen ocurrir a dosis tan bajas como para establecer un umbral.

En cuanto a la estimación del riesgo a la salud en los pozos de San Diego de la Unión, se realizó el cálculo de la Dosis de exposición, donde el Pb tiene una dosis mínima de 0.0012 mg/kg/día y la mayor fue de 0.0174 mg/kg/día, es decir que Pb tiene un índice de peligro alto en todos los pozos, el cual representan un riesgo a la salud.

Para As la dosis mínima encontrada fue de 0.0001 mg/kg/día y la máxima dosis encontrada fue de 0.0023 mg/kg/día; el 82% de los pozos representa un riesgo a la salud.

Con la identificación de estas concentraciones de As y Pb se confirma la existencia de un riesgo eminente a la salud por el consumo de agua de pozo procedente de los acuíferos de San Diego de la Unión, ya que estos datos no han sido reportados.

9. CONCLUSIONES

1. El 23% de los pozos presentaron concentraciones de As por encima de los límites permisibles de la NOM-127-SSA1 y con el valor permisible por la OMS el 86% de los pozos sobre pasa este parámetro de referencia.
2. El 100% de los pozos sobrepasan los límites permisibles de Pb, según la OMS y la NOM-127-SSA1.
3. El pozo 3 y el pozo 22 son los pozos que tienen la mayor población y más del 78% de la población obtiene el agua para consumo de los pozos no regularizados.
4. Este estudio realizó la estimación de riesgo a la salud por consumo de agua, lo que da pauta a futuras investigaciones sobre las otras rutas de exposición a estos elementos.
5. La exposición ambiental al arsénico es considerado un problema de salud pública debido a que afecta a un gran número de poblaciones en el mundo y por tratarse de un agente carcinogénico en humanos. Por las características del elemento analizado y por las condiciones geológicas, se puede concluir que el arsénico se encuentra presente en el agua con una generalidad mayor que la que normalmente se considera, lo cual significa un riesgo muy alto a la salud.
6. Por ultimo concluimos que la población más afectada, es la que se encuentra dispersa en el área rural, la cual consume agua sin ningún tratamiento y desconoce el riesgo al que está expuesta. Para esta población, se requiere que las autoridades de salud, ambiente y de saneamiento planifiquen los servicios de aprovisionamiento de agua y, entre otras actividades, promuevan e intervengan en la ejecución de programas de prevención y control de riesgos del consumo del agua de bebida con niveles de arsénico superiores a los recomendados en la OMS y NOM-127-SSA1.

10. COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES

Dar seguimiento al monitoreo de los pozos analizados, e Incrementar la cantidad de nuevos pozos con el objetivo de obtener más datos, para realizar la estimación de riesgo a la salud.

Realizar análisis toxicológicos en las poblaciones identificadas con mayores concentraciones de estos elementos, para observar si ya se presenta alguna enfermedad crónico-degenerativa que esté afectando a la población.

Presentar los resultados obtenidos de esta investigación a las autoridades correspondientes, (Comisión municipal del Agua, Comisión Estatal del Agua, Encargados de los pozos en cada una de las comunidades), para analizar las diferentes alternativas de solución.

Es importante tener en cuenta que no existe una solución aplicable a todas las poblaciones por igual. En cada una de las poblaciones afectadas pueden encontrarse diferentes situaciones. Existen diferentes propuestas de solución ante las concentraciones elevadas de estos elementos, por ejemplo la instalación de una planta de remoción de Arsénico, también se han desarrollado varias tecnologías aprobadas para plantas de abatimiento de arsénico. Las más empleadas son la de coagulación-filtración y la de ósmosis inversa. Otras tecnologías utilizadas con menor frecuencia son la de adsorción y la de intercambio iónico mediante el uso de resinas.

Para el caso del Pb es necesario tratar de identificar la posible fuente de contaminación, revisar las tuberías y renovarlas si es necesario, Cuando no es posible eliminar las fuentes de la contaminación de plomo, hay que analizar si es posible utilizar una fuente alterna de agua potable (tal como agua embotellada) o instalar un sistema de tratamiento en un grifo de agua en la casa y tomar agua para beber y cocinar sólo de ese grifo. Hay varios tipos de sistemas de tratamiento, incluyendo la ósmosis inversa, la destilación y los sistemas de filtro de carbón. Las unidades de ósmosis inversa remueven cerca del 85 por ciento del plomo del agua. La destilación remueve cerca del 99 por ciento.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 Garcia Céspedes D. Evaluación de riesgos a la salud por exposición a metales pesados en cercanías de sitios potencialmente peligrosos con actividad agrícola. Revista Cubana de Salud y Trabajo 2012;13(1):10-8.

2 Marti L, Salcedo C. Evaluación de metales pesados en suelos de los oasis irrigados de la Provincia de Mendoza: I. Concentraciones totales de Zn, Pb, Cd y Cu. Rev. FCA UNCUYO. 2011. 43(2): 203-221

3 Buenfil-Rojas M. DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS (As, Cd, Hg y Pb) PRESENTES EN EL RÍO HONDO, QUINTANA ROO. Jun 2007

4 Marti L, Salcedo C. Evaluación de metales pesados en suelos de los oasis irrigados de la Provincia de Mendoza: I. Concentraciones totales de Zn, Pb, Cd y Cu. Rev. FCA UNCUYO. 2011. 43(2): 203-221.

5 Vega Gleason S. RIESGO SANITARIO AMBIENTAL POR LA PRESENCIA DE ARSÉNICO Y FLUORUROS EN LOS ACUÍFEROS DE MÉXICO. CONAGUA.

6 Carrillo A, Drever J. "Environmental assessment of the potential for arsenic leaching into groundwater from mine wastes in Baja California Sur, Mexico", Geofísica Internacional, 1998. (37): 35-39.

7 Gutiérrez P, Rodríguez R E, Romero G, y Velázquez G A. "Eliminación de arsénico en agua potable de pozos", 1996 en Actas INAGEQ 2, Pag 319-332

8 Rodríguez R, Armienta A, Berlin J y Mejía J A. "As and Pb groundwater pollution of the Salamanca Aquifer system. Origin, mobilization and restoration alternatives". 2002. Red Book IAHS, pág 561-565.

9 Jimenez B, Marin L. EL AGUA EN MÉXICO VISTA DESDE LA ACADEMIA, Academia Mexicana de Ciencias, Edición Digital, Pag, 79-98.

10 Ortega G M. Situación del agua subterránea en México: Una experiencia Científico-Legislativa y sus implicaciones. Revista Pto Acuerdo. 2011

11 Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. Localización geográfica de Guanajuato. <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM11guanajuato/mediofisico.html>

12 Diagnóstico Sectorial de Agua Potable y Saneamiento 2012. Agua en San diego de la Unión. http://issuu.com/seiagto/docs/diagnostico_sectorial_2012

- 13 Diario Oficial de la Federación. Acuíferos y disponibilidad de Agua Nacionales. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5339591
- 14 Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Población San Diego de la Unión. http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/censos/poblacion/2010/panora_socio/gto/Panorama_Gto.pdf
- 15 Comité de Agua Potable y Alcantarillado Público. Pozos de San Diego de la Unión. <https://sandiegocmapas.wordpress.com/>
- 16 PROY NOM-250-SSA1-2014. Agua para uso y consumo humano. Límites máximos permisibles de la calidad del agua y requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados, su control y vigilancia. Procedimiento sanitario de muestreo.
- 17 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Artículo Cuarto. http://www.dof.gob.mx/constitucion/marzo_2014_constitucion.pdf
- 18 Objetivos de Desarrollo del Milenio <http://www.un.org/es/millenniumgoals/>
- 19 Ruta de exposición de plomo. Evaluación del riesgo por la exposición a Plomo. <http://www.bvsde.paho.org/tutorial/casos/caso3/plom.html>
- 20 Departamento de Salud y Servicios Humanos de Estados Unidos. Servicios de Salud Pública. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. División de Toxicología y Medicina Ambiental. Resumen de salud pública 1999
- 21 Pérez GE. Los efectos del cadmio en la salud. Rev Esp Méd Quir 2012;17(3)199-205
- 22 Organización Mundial de la Salud. Riesgos a la Salud Plomo. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs379/es/>
- 23 Efectos adversos arsénico http://www.atsdr.cdc.gov/es/csem/arsenic/efectos_fisiologicos.html
- 24 Lars Järup, et-al, British Medical Bulletin. 2001.
- 25 WAALKES, MICHAEL, RePORTER Database National Institutes of Health
- 26 Guías para la calidad del agua potable. Agua potable. http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowsres.pdf?ua=1
- 27 Organización Mundial de la Salud <http://www.who.int/research/es/>

28 Comisión nacional del agua. <http://www.conagua.gob.mx/>

29 Centro de Investigación en materiales avanzados. Técnicas analíticas. <http://arsenico.cimav.edu.mx/2013/wp-content/uploads/2013/03/Presentacion-AAS-y-AFS.pdf>

30 Metodología de identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados. Fernando Diaz Barriga. OMS, OPS, 1999.

31 Reference Dose (RfD). US EPA, Guidelines for Carcinogen Risk Assessment, EPA/630/P-03/001F, Risk Assessment Forum, Washington, DC, 2005

32 H.M. Anawara,, J. Akaib, K.M.G. Mostofac, S. Safiullahd, S.M. Tareq. Arsenic poisoning in groundwater Health risk and geochemical sources in Bangladesh. Environment International 27 (2002) 597– 604

33 Ortega-Guerrero A. Presencia, distribución, hidrogeoquímica y origen de arsénico, fluoruro y otros elementos traza disueltos en agua subterránea, a escala de cuenca hidrológica tributaria de Lerma-Chapala, México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 26, núm. 1, 2009, p. 143-161

34 Castro de Esparza ML. Presencia de arsénico en el agua de bebida en América Latina y su efecto en la salud pública. CEPIS-SB/SDE/OPS, June 2006

35 Lead Reference Dose. (<https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp13-c8.pdf>)

36 Evaluación del Riesgo Plomo
(<http://www.bvsde.paho.org/tutorial3/e/casos/caso2/plom.html#Sección 2B>)

ANEXOS

Anexo 1. Planilla de registro para los Datos de cada uno de los pozos

HOJA DE REGISTRO

TOMA DE MUESTRA DE AGUA DE POZOS DEL SAN DIEGO DE LA UNIÓN, GTO.

<i>Núm. Pozo</i>	<i>Fecha</i>	<i>Localización</i>	<i>Regularizado</i>	<i>Temporal</i>	<i># de persona que abastece</i>	<i>Pozo p/riego Si/No</i>	<i>Destino consumo</i>