

Posgrado en Geociencias Aplicadas

**Determinación de arsénico en cabello de
poblaciones expuestas en Matehuala, San Luis
Potosí, México.**

Tesis que presenta:

Antonio De Jesús Lara Del Río

para obtener el grado de

MAESTRO EN GEOCIENCIAS APLICADAS

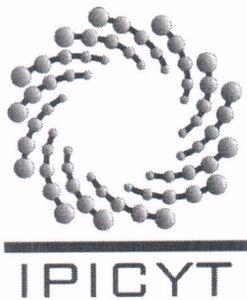
Directora de la tesis:

Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas

Co-Directora de la tesis:

Dra. María Aurora Armienta Hernández

San Luis Potosí, S.L.P., Julio de 2015



Constancia de aprobación de la tesis

La tesis "***Determinación de arsénico en cabello de poblaciones expuestas en Matehuala, San Luis Potosí, México***" presentada para obtener el Grado de Maestro en Geociencias Aplicadas fue elaborada por **Antonio de Jesús Lara del Rio** y aprobada el **siete de julio del dos mil quince** por los suscritos, designados por el Colegio de Profesores de la División de Geociencias Aplicadas del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.

Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas
Directora de la tesis

Dra. Birgit Steinich
Miembro del Comité Tutorial

Dra. María de Lourdes Berenice Celis
Miembro del Comité Tutorial

Acta de examen



Créditos Institucionales

El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Hidrogeoquímica de la División de Geociencias Aplicadas del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. y en el Laboratorio de Química Analítica, del Instituto de Geofísica, de la Universidad Nacional Autónoma de México bajo la dirección de las Dras. Nadia Valentina Martínez Villegas y Ma. Aurora Armenta. Fue parcialmente financiado con fondos de los proyectos CB-2012-183025 (SEP-CONACyT) y S-2694: Calidad del Agua y Modelación Hidrogeoquímica (DGA-IPICYT).

El autor agradece especialmente a la Dra. Esther Aurora Ruíz Huerta de la División de Geociencias Aplicadas por el entrenamiento y apoyo otorgado durante el desarrollo de este trabajo, de igual forma que a la M.C. Mary Carmen Rocha del Laboratorio Nacional de Biotecnología Agrícola, Médica y Ambiental (LANBAMA), a la M. en Ing. Alejandra Aguayo, a la Q.F.B. Olivia Cruz y a la Q.F.B. Nora Ceniceros del Laboratorio de Química Analítica del Instituto de Geofísica, por las facilidades otorgadas para realizar los análisis experimentales y cuantificación de arsénico en las muestras de cabello.

Con atenciones de manera particular al Consejo Nacional De Ciencia y Tecnología por la beca académica otorgada (No. de registro 288326) durante la realización del trabajo.

Dedicatoria

A mis padres y hermanas por su amor, trabajo y sacrificio. Por siempre tener fe en mis proyectos y en mi vida. Hoy me queda claro que son el motor de mi existencia y que por esta razón siempre llegaré lejos.

En testimonio y gratitud a lo que siempre es, ilimitado y perfecto que da testimonio de mis metas.

Om shanti.

Agradecimientos

En especial a mis compañeros de laboratorio Esther Ruiz, Gerardo Hernandez, Yadir mendoza por convertirse en mis comañeros de viaje y amigos.

A la doctora Nadia Martinez por su tiempo y paciencia. Pero sobre todo por el tiempo invertido en mi formación

A todas personas que ya no están, pero aun así están presentes en este logro.

Contenido

Constancia de aprobación de la tesis	i
Créditos Institucionales	ii
Acta de examen.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos.....	v
Contenido.....	vi
Índice de tablas	ix
Índice de figuras	x
Resumen.....	xii
Abstrac	xiii
Capítulo 1. Contaminación de agua con arsénico.....	1
1.1 El arsénico, sus compuestos y estados de oxidación.....	1
1.2 Distribución y abundancia de arsénico en aguas naturales	4
1.2.1 Ríos	5
1.2.2 Lagos.....	5
1.2.3 Agua de mar y estuarios.....	5
1.2.4 Aguas continentales subterráneas.....	6
1.3 Estándares de seguridad y exposición de arsénico en agua.....	7
1.4 Perspectiva de la presencia de arsénico en cuerpos de agua en México.....	8
Capítulo 2. Contaminación de suelos, cultivos y ganado con arsénico.....	11
2.1 Arsénico en suelos irrigados con agua contaminada.....	12
2.2 Estándares de seguridad en suelos contaminados.....	12
2.2.1 Riesgo para la salud humana.....	13
2.2.2 Toxicidad en las plantas	13
2.3 Impacto del arsénico en suelos y cultivos contaminados.....	14
2.4 Contaminación de ganado con arsénico.....	15
Capítulo 3. Exposición a arsénico y acumulación en cabello	16

3.1 ¿Qué es la exposición a arsénico?	16
3.2 ¿Qué es una población expuesta?	16
3.3 ¿Qué es una población de alto riesgo?.....	16
3.4 ¿Cómo se acumula el arsénico en el humano y el cabello?	17
3.5 Biomarcador y estándar de diagnóstico de exposición	20
3.6 Efectos en la salud	21
3.6.1 Efectos gastrointestinales	21
3.6.2. Efectos hepáticos	22
3.6.3 Efectos renales	22
3.6.4 Efectos cardiovasculares	22
3.6.5 Efectos neurológicos	22
3.6.6 Efectos dérmicos	23
3.6.7 Efectos respiratorios	24
3.6.8 Efectos hematopoyéticos y hematológicos.....	24
3.6.9 Efectos reproductivos	24
3.6.10 Efectos carcinogénicos	25
3.6.11 Susceptibilidad de los niños a los compuestos arsenicales.....	25
Capítulo 4. Problemática y área de estudio	28
4.1 Hipótesis	28
4.2 Objetivos.....	29
4.3 Objetivos específicos	29
4.4 Justificación.....	30
4.5 Descripción geográfica del estado de San Luis Potosí	32
4.6 Regiones mineras en San Luis Potosí.....	33
4.7 Descripción geográfica de Matehuala, Encarnación de Arriba, Encarnación de Abajo y Cerrito Blanco	33
4.8. Geología del área de estudio	34
4.8.1 Rocas intrusivas.....	34
4.8.2 Rocas metamórficas	35
4.8.3 Diques Basálticos.....	35
4.8.4 Aluviones	35
Capítulo 5. Metodología.....	36

5.1 Muestreo y análisis de arsénico en cabello	36
5.2 Muestreo de agua en aprovechamientos hídricos potenciales.....	45
5.3 Muestreo de agua para beber	47
5.4 Recolección de información agropecuaria	49
5.5 Recolección de información de contacto con áreas de riesgo	51
5.6 Muestreo de agua de uso doméstico y agua para lavar loza.	52
Capítulo 6. Resultados y discusiones	55
Resultados	55
6.1 Arsénico en cabello de poblaciones expuestas	55
6.2 Arsénico en agua de aprovechamientos hídricos potenciales	62
6.3 Arsénico en agua para beber	66
6.4 Arsénico en agua utilizada para la preparación de alimentos.....	69
6.5 Agricultura	71
6.6 Ganadería.....	73
6.7 Contacto con áreas de riesgo y exposición arsénico	75
6.8 Arsénico en agua de uso doméstico	78
6.9 Arsénico en agua utilizada para lavar loza.....	80
Discusión	82
Conclusiones.....	88
Bibliografía	89
Apéndice A. Resultados de las campañas de muestreo.....	101
Apéndice B. Reportes de la campaña de muestreo 1.	106
Apéndice C. Reportes de la campaña de muestreo 2.....	151
Apéndice D. Encuesta	186

Índice de tablas

TABLA 1. COMPUESTOS DE ARSÉNICO COMÚNMENTE ENCONTRADOS EN AGUA MOSTRANDO SU ESTADO DE OXIDACIÓN Y FÓRMULA QUÍMICA.....	3
TABLA 2. NIVELES DE INTENSIDAD DE EXPOSICIÓN POTENCIAL A ARSÉNICO EN FUNCIÓN DE DIFERENTES FACTORES OCUPACIONALES Y/O LUGARES DE CONTACTO.	17
TABLA 3. RELACIÓN DE MUESTRAS DE CABELLO.	37
TABLA 4. RELACIÓN DE MUESTRAS DE AGUA RECOLECTADAS EN ESTE ESTUDIO.	45
TABLA 5. CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO EN CABELLO, AGUA PARA BEBER, AGUA PARA COCINAR Y AGUA DE USO DOMÉSTICO.	60

Índice de figuras

FIGURA 1 DIAGRAMA DE ESPECIES DE ARSÉNICO (V) Y ARSÉNICO (III) EN FUNCIÓN DEL PH.	4
FIGURA 2. SITIOS CONTAMINADOS CON ARSÉNICO EN MÉXICO.....	9
FIGURA 3. TRANSFERENCIA DE ARSÉNICO A CULTIVOS POR IRRIGACIÓN CON AGUA CONTAMINADA.....	14
FIGURA 4. RUTA METABÓLICA DE REDUCCIÓN DE ARSENIATO A ARSENITO EN EL ORGANISMO Y SU METILACIÓN.....	18
FIGURA 5. ILUSTRACIÓN DEL SÍNDROME DE GUANTE Y CALCETÍN OCASIONADO POR EXPOSICIÓN ARSÉNICO, ASÍ COMO ILUSTRACIONES DE QUERATOSIS PALMAR E HIPERPIGMENTACIÓN SEVERA EN LA ESPALDA OCASIONADAS POR INGESTA PROLONGADA POR AGUA CONTAMINADA CON ARSÉNICO POR LARGOS PERIODOS.....	23
FIGURA 6. MAPA DE LA ZONA DE ESTUDIO MOSTRANDO LA CIUDAD DE MATEHUALA Y LAS COMUNIDADES DE CERRITO BLANCO, ENCARNACIÓN DE ARRIBA Y ENCARNACIÓN DE ABAJO, ASÍ COMO LOS PUNTOS DE MUESTREO DE AGUA DE APROVECHAMIENTOS HÍDRICOS POTENCIALES Y CABELLO.	31
FIGURA 7. ILUSTRACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE MUESTREO Y ANÁLISIS DE CABELLO UTILIZADO EN ESTE ESTUDIO..	42
FIGURA 8. ILUSTRACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE MUESTREO DE AGUA DE APROVECHAMIENTOS HÍDRICOS POTENCIALES Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE CAMPO.....	46
FIGURA 9. CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO EN CABELLO, ACUMULACIÓN, GÉNERO, EDAD, TIEMPO DE RESIDENCIA, NÚMERO DE INDIVIDUOS CON ENFERMEDADES CON REFERENCIA A LA ACUMULACIÓN DE ARSÉNICO A NIVELES SUPERIORES AL VALOR GUÍA.....	58
FIGURA 10. TIEMPO DE RESIDENCIA EN LA ZONA DE ESTUDIO CONTRA LA EDAD DE LOS INDIVIDUOS ESTUDIADOS.	59
FIGURA 11. CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO EN AGUA DE APROVECHAMIENTOS HÍDRICOS POTENCIALES, NÚMERO DE INDIVIDUOS QUE SI PRESENTAN ACUMULACIÓN DE ARSÉNICO EN CONCENTRACIONES CONSIDERADAS PELIGROSAS PARA EL HUMANO DE ACUERDO AL VALOR GUÍA DE LA ATSDR Y NÚMERO DE INDIVIDUOS QUE NO PRESENTAN ACUMULACIÓN DE ARSÉNICO EN CONCENTRACIONES CONSIDERADAS PELIGROSAS PARA EL HUMANO DE ACUERDO AL VALOR GUÍA DE LA ATSDR. NÚMERO DE INDIVIDUOS CON ACCESO A APROVECHAMIENTOS HÍDRICOS NO CONTAMINADOS Y CONTAMINADOS Y CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO EN CABELLO CONTRA ARSÉNICO EN APROVECHAMIENTOS HÍDRICOS.....	64
FIGURA 12. GEOPOSICIÓN DE CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO EN APROVECHAMIENTOS HÍDRICOS POTENCIALES DE AGUA Y CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO EN CABELLO HUMANO, MOSTRANDO QUE LOS INDIVIDUOS QUE PRESENTAN ACUMULACIÓN DE ARSÉNICO EN CONCENTRACIONES CONSIDERADAS PELIGROSAS PARA EL HUMANO DE ACUERDO AL VALOR GUÍA DE LA ATSDR, SE LOCALIZAN EN LA VECINDAD DE LOS APROVECHAMIENTOS HÍDRICOS MÁS CONTAMINADOS.....	65
FIGURA 13. CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO EN AGUA PARA BEBER, ORIGEN DEL AGUA, NÚMERO DE INDIVIDUOS QUE SÍ PRESENTAN ACUMULACIÓN DE ARSÉNICO EN CONCENTRACIONES CONSIDERADAS PELIGROSAS PARA EL HUMANO DE ACUERDO AL VALOR GUÍA DE LA ATSDR Y NÚMERO DE INDIVIDUOS QUE NO PRESENTAN ACUMULACIÓN DE ARSÉNICO EN CONCENTRACIONES CONSIDERADAS PELIGROSAS PARA EL HUMANO DE	

ACUERDO AL VALOR GUÍA DE LA ATSDR SEGÚN LAS CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO EN AGUA PARA BEBER Y CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO EN CABELLO HUMANO.....	68
FIGURA 14. CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO EN AGUA PARA COCINAR, ORIGEN DEL AGUA, NÚMERO DE INDIVIDUOS QUE SÍ PRESENTAN ACUMULACIÓN DE ARSÉNICO A CONCENTRACIONES CONSIDERADAS PELIGROSAS PARA EL HUMANO DE ACUERDO AL VALOR GUÍA DE LA ATSDR Y NÚMERO DE INDIVIDUOS QUE NO PRESENTAN ACUMULACIÓN DE ARSÉNICO A CONCENTRACIONES CONSIDERADAS PELIGROSAS PARA EL HUMANO DE ACUERDO AL VALOR GUÍA DE LA ATSDR SEGÚN LAS CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO EN AGUA PARA COCINAR... ..	70
FIGURA 15. INDIVIDUOS QUE PRACTICAN LA AGRICULTURA, ORIGEN DEL AGUA QUE UTILIZAN, CATEGORIZACIÓN DE LA ACUMULACIÓN DE ARSÉNICO EN CABELLO EN RELACIÓN A LA PRÁCTICA DE AGRICULTURA ASÍ COMO CONSUMO DE ALIMENTOS POR LOS INDIVIDUOS DEL ESTUDIO Y ORIGEN DE PRODUCCIÓN DE CADA UNO DE ELLOS.. ..	73
FIGURA 16. INDIVIDUOS QUE PRACTICAN LA GANADERÍA, ORIGEN DEL AGUA QUE UTILIZAN, CATEGORIZACIÓN DE LA ACUMULACIÓN DE ARSÉNICO EN CABELLO DE ACUERDO A LA PRÁCTICA DE GANADERÍA Y CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO EN CABELLO ASÍ COMO CONSUMO DE ALIMENTOS POR LOS INDIVIDUOS DEL ESTUDIO, Y ORIGEN DE PRODUCCIÓN DE CADA UNO DE ELLOS.. ..	75
FIGURA 17. NÚMERO DE INDIVIDUOS CON CONTACTO CON LUGARES CONTAMINADOS.	77
FIGURA 18. CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO EN AGUA PARA ASEO PERSONAL, ORIGEN DEL AGUA, NÚMERO DE INDIVIDUOS QUE SÍ PRESENTAN ACUMULACIÓN DE ARSÉNICO A CONCENTRACIONES CONSIDERADAS PELIGROSAS PARA EL HUMANO DE ACUERDO AL VALOR GUÍA DE LA ATSDR Y NÚMERO DE INDIVIDUOS QUE NO PRESENTAN ACUMULACIÓN DE ARSÉNICO A CONCENTRACIONES CONSIDERADAS PELIGROSAS PARA EL HUMANO DE ACUERDO AL VALOR GUÍA DE LA ATSDR SEGÚN LAS CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO EN AGUA PARA PARA ASEO PERSONAL... ..	79
FIGURA 19. CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO EN AGUA PARA LAVAR LOZA (TRASTES) , ORIGEN DEL AGUA, NÚMERO DE INDIVIDUOS QUE SÍ PRESENTAN ACUMULACIÓN DE ARSÉNICO A CONCENTRACIONES CONSIDERADAS PELIGROSAS PARA EL HUMANO DE ACUERDO AL VALOR GUÍA DE LA ATSDR Y NÚMERO DE INDIVIDUOS QUE NO PRESENTAN ACUMULACIÓN DE ARSÉNICO A CONCENTRACIONES CONSIDERADAS PELIGROSAS PARA EL HUMANO DE ACUERDO AL VALOR GUÍA DE LA ATSDR SEGÚN LAS CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO EN AGUA PARA LAVAR TRASTES Y CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO EN CABELLO HUMANO. .	81

Resumen

La problemática de contaminación en agua por disolución de arseniatos de calcio en Matehuala, San Luis Potosí, México, ha sido propuesta como la más alta en el mundo a pH cercanos al neutro. No obstante, antes de este estudio, no se habían realizado esfuerzos por determinar la concentración de arsénico en la población. Lo anterior, probablemente debido a que los aprovechamientos hídricos contaminados no son utilizados para beber agua. Sin embargo, si se usan, eventualmente, para la irrigación de cultivos de traspatio, actividades pecuarias y recreativas. Derivado de estas prácticas, existen entonces rutas potenciales de entrada de arsénico al cuerpo humano y a la cadena alimenticia, lo que representa un riesgo por contacto e ingesta de arsénico a través del consumo de alimentos cultivados en suelos contaminados y/o de animales alimentados con forrajes cultivados en suelos enriquecidos con arsénico que, además, pudieran beber agua en abrevaderos contaminados. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar la concentración de arsénico en cabello de poblaciones expuestas, con la finalidad de utilizarlo como biomarcador de exposición, para determinar si, en su caso, la población presenta acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR, por sus siglas en inglés) de 1 mg/kg. Además, se buscó explicar el posible origen de la exposición por las vías oral, de inhalación y dérmica.

Para lo anterior se recolectaron 78 muestras de cabello de habitantes de poblaciones expuestas (Matehuala y Cerrito Blanco) y no expuestas (Encarnación de Arriba y Encarnación de Abajo) y se les determinó la concentración de arsénico en el mismo previa digestión ácida. Adicionalmente, también se recolectaron muestras de agua para beber y muestras de agua de uso doméstico con la finalidad de excluir su posible aportación a la exposición de arsénico en los habitantes del lugar. Por último, se recolectó información sobre la edad, el género, el tiempo de residencia de los habitantes en el sitio, los usos que le dan al agua, la práctica de actividades agropecuarias y hábitos alimenticios.

Se encontró presencia de arsénico en cabello de individuos expuestos. Dicha presencia excedió, en 13 de los 77 individuos sometidos a este estudio, el valor guía de 1 mg/kg evidenciando la acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano. Especialmente, los 13 individuos que presentaron acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR habitan en la cercanía de los aprovechamientos hídricos más contaminados por lo que la contaminación de arsénico por disolución de arseniatos de calcio podría estar impactando, de manera negativa, a los habitantes del lugar. Por otro lado, se encontró arsénico en concentraciones mayores a 0.025 mg/L en el 42,5% de las muestras de agua para beber, pero no se identificó relación alguna entre la presencia de arsénico en agua para beber y la acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR. Resultados similares fueron obtenidos para el agua de la red pública. Los resultados de esta tesis evidencian que la población expuesta a arsénico acuoso derivado de la disolución de residuos de arseniatos de calcio en la ciudad de Matehuala presenta acumulación de arsénico en cabello a pesar no beber directamente el agua contaminada y revelan, además, que el agua de beber comercial y de la red pública excede en algunos casos la normatividad mexicana.

Palabras clave: Arseniatos de calcio, acumulación, cabello,

Abstract

The contamination by calcium arsenate dissolution (at pH close to neutral) in Matehuala waters, in San Luis Potosi, Mexico, has been proposed as the highest in the world. Despite this, no efforts had been undertaken to determine the concentration of arsenic in Matehuala population previously. The cause of this fact is probably that arsenic contaminated water in the area is not in a drinking source; however, it is reported that this water is eventually used for crop irrigation, livestock, and recreational activities. Derived from these practices, there are, therefore, potential routes of arsenic intake into the human body and the food chain, representing a risk for arsenic contact and ingestion. The main sources of arsenic intake became, then, the crop plants grown in contaminated soil and / or animals fed with arsenic contaminated food and/or water. Therefore, the aim of this study was to identify the concentration of arsenic in hair of the Matehuala exposed population, in order to use it as a biomarker of arsenic exposure. This biomarker can be used as an indicator of arsenic accumulation or exposure permitting to determine if the population is exposure to arsenic values considered as dangerous to human according to the Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) guide value (1 mg / kg). In addition, this research intent to explain the probable origin of the oral, inhalation and dermal exposure. To accomplish this objective, 78 hair samples, from supposedly exposed individuals from Matehuala and Cerrito Blanco population and from unexposed individuals from Encarnación de abajo y Encarnación de arriba, were collected and analyzed to determine arsenic concentration. The samples were treated by acid digestion and arsenic concentration was determined by Flow Injection Analysis coupled with Atomic Absorption Spectrometry (FIAS-AA). In addition, drinking and domestic water samples were collected in order to determine the possible water contribution to the arsenic exposure in local residents. Finally, information about life conditions (age, gender, residence time, water uses and eating habits, among others) of the inhabitants of the region was collected. In the supposedly exposed individuals from Matehuala, and Cerrito Blanco population, the arsenic concentrations values in hair were higher than the background (assumed as the value of the unexposed individuals) and the ATSDR guide value. Arsenic concentration values exceed the ATSDR guide value (1 mg / kg) in 13 of the 78 individuals studied, indicating arsenic accumulation in concentration values considered as dangerous to humans. Spatially, these 13 individuals, with high hair concentration values, inhabit in the proximity of the most polluted exploitation hydric sources, leading to the conclusion that arsenic contamination by dissolution of calcium arsenates, impact in a negative way in the levels of arsenic exposure to the region inhabitants. On the other hand, specifically in the case of the drinking water analysis, the results show that 42.5% of samples exhibit arsenic concentration values superior to 0.025 mg / L (NOM-127-SSA-1996), nevertheless no relationship between the presence of arsenic in drinking water with the accumulation of arsenic in the inhabitants, was obtained. Analogous results were achieved in the water from the public network. The results obtained in this thesis show accumulation of arsenic in hair in people from Matehuala and Cerrito Blanco despite there is no consumption of contaminated water. However, this study also reveals that drinking and public network water arsenic values in some cases exceed the Mexican regulations.

Key words: calcium arsenate, accumulation, hair

Capítulo 1. Contaminación de agua con arsénico

1.1 El arsénico, sus compuestos y estados de oxidación

Debido a numerosos factores antropogénicos, los ambientes presentes en el planeta han sufrido y están sufriendo modificaciones a sus estados elementales produciendo efectos negativos en los seres vivos que los habitan, incluyendo a los seres humanos. Muchas de estas alteraciones provocan que venenos naturales que en un principio no estaban disponibles en el ambiente ahora lo estén, convirtiéndolos en elementos de riesgo potencial para las poblaciones expuestas.

El arsénico es un elemento químico ampliamente distribuido en la naturaleza, principalmente en la corteza terrestre, la cual contiene cerca de 2 ppm (BGS and DPHE, 2001; J. Bundschuh et al., 2008). La concentración de arsénico en el suelo varía ampliamente, en general entre 1 y 40 ppm con un promedio de 3 a 4 ppm (“ATSDR - Resumen de Salud Pública,” 2015). Los suelos y áreas agrícolas cercanos a depósitos geológicos ricos en arsénico, cerca de minas y fundiciones, pueden tener niveles de arsénico mucho más altos a los mencionados anteriormente (“ATSDR - Resumen de Salud Pública,” 2015).

Consecuencia de su presencia natural en la corteza terrestre y como resultado de la actividad antropogénica, podemos encontrar arsénico en la biosfera, la hidrosfera y la atmósfera, combinado con elementos como oxígeno, cloro y azufre, en forma de compuestos de arsénico inorgánico, asimismo combinado con hidrógeno y carbono, en forma de compuestos de arsénico orgánico (“ATSDR - Resumen de Salud Pública,” 2015). En su forma inorgánica está presente en diferentes tipos de rocas volcánicas, sedimentarias marinas y en diferentes depósitos minerales, de la misma forma se encuentra como producto de actividad geotermal (J. Bundschuh et al., 2008). Las formas orgánicas son producto de la transformación de organismos vivos como bacterias y hongos, o incluso seres humanos. También se encuentran como producto antropogénico ya que en algunos casos los compuestos arsenicales orgánicos son producidos para ser utilizados como pesticidas, o con fines terapéuticos (ATSDR, 2007).

La mayoría de los compuestos inorgánicos y orgánicos de arsénico son polvos de color blanco que no se evaporan. No tienen olor y la mayoría no tiene ningún sabor especial. Por esta razón, generalmente no se puede saber si están presentes en los alimentos, el agua o el aire. El arsénico inorgánico, como lo mencionamos anteriormente, ocurre naturalmente en el suelo y en muchos tipos de rocas, especialmente en minerales que contienen cobre, plomo u otros metales. Cuando estos minerales se calientan en hornos, la mayor parte del arsénico se elimina a través de la chimenea en forma de un polvo fino que entra a la atmósfera.

Las fundiciones pueden recuperar este polvo y remueven el arsénico en la forma de un compuesto llamado trióxido de arsénico (As_2O_3) (“ATSDR - Resumen de Salud Pública,” 2015).

Las actividades antropogénicas minero-metalúrgicas están permitiendo que el arsénico se incorpore a sistemas donde nunca había estado presente, como lo es la cadena trófica. Los organismos vivos, incluidos el humano, tienen la capacidad de mantener una condición interna estable compensando los cambios en su entorno mediante el intercambio regulado de materia y energía con el exterior. Dicha condición natural se ve directamente afectada cuando el sistema es alterado con factores como la incorporación de una sustancia extraña al sistema. Alterando, y en algunos casos inhibiendo todos los procesos de homeostasis o equilibrio, provocando efectos negativos en la salud que se manifiestan en la presencia de enfermedades.

Las principales fuentes de exposición a arsénico son: el agua destinada a consumo humano, los cultivos regados con agua contaminada y los alimentos preparados con agua contaminada (“OMS | Arsénico,” 2012). En este trabajo, evaluaremos la exposición a arsénico en cabello de individuos que no consumen agua contaminada pero sí cultivos irrigados con agua originalmente contaminada con residuos de arseniatos de calcio de la industria metalúrgica (Martínez-Villegas et al., 2013).

Hasta el descubrimiento del envenenamiento masivo con arsénico en la India y Bangladesh, el arsénico no estaba considerado como un parámetro que fuera analizado de forma rutinaria en aguas de consumo humano (Smith et al., 2000), por lo que la información sobre su distribución no era tan bien conocida como para otros constituyentes. Contenidos altos de arsénico en aguas naturales se han reportado en diversos ambientes (Ahmed et al., 2004; Armienta et al., 2001; J. Bundschuh et al., 2008; Del Razo et al., 1990a; Fendorf and Kocar, 2009; Martínez-Villegas et al., 2013; Mukherjee et al., 2009; Planer-Friedrich et al., 2001), y, por lo general, las mayores concentraciones se encuentran en las aguas subterráneas (Smedley and Kinniburgh, 2002).

Existen diferentes especies de arsénico identificadas en agua (Tabla 1), las cuales se presentan, por lo común, como oxianiones, con el arsénico en dos estados de oxidación, arsénico trivalente As(III) , llamado arsenito, y arsénico pentavalente As(V) , llamado arseniato, y con menos frecuencia como As(0) y As(-I) . El As(V) se presenta, a su vez, como H_3AsO_4 y sus correspondientes productos de disociación (H_2AsO_4^- , HAsO_4^{2-} y AsO_4^{3-}) mientras que el As(III) se presenta como H_3AsO_3 y sus correspondientes productos de disociación (H_4AsO_3^+ , H_2AsO_3^- , HAsO_3^{2-} y AsO_3^{3-}). Tanto As(V) como As(III) son móviles en el medio y comúnmente se reporta que el As(III) es el estado más lábil y biotóxico (Lillo, 2003). El estado de oxidación del arsénico y su movilidad están controlados fundamentalmente por las condiciones redox y el pH (Figura 1).

El arsénico es un elemento singular entre los metaloides pesados y elementos formadores de oxianiones por su sensibilidad a movilizarse en los valores de pH

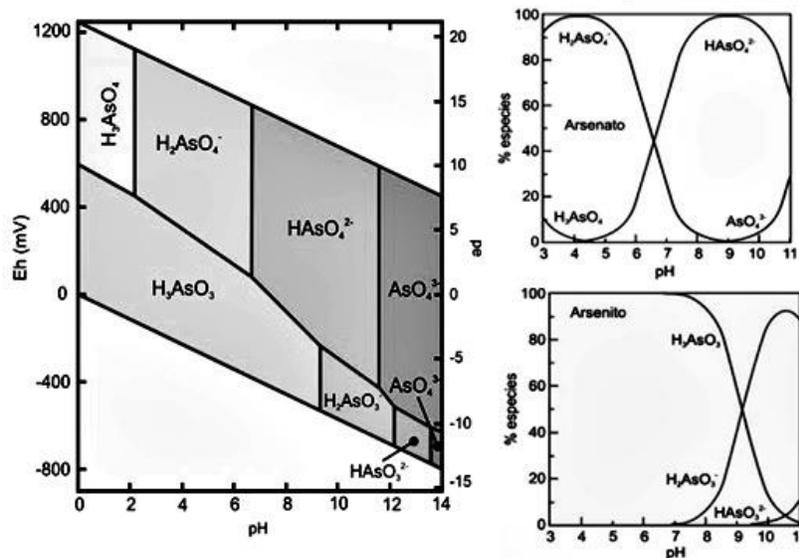
típicos de las aguas subterráneas (pH 6.5-8.5). Como aproximación, y sin tener en cuenta otros factores como contenido en materia orgánica, en condiciones oxidantes, el As(V) predomina sobre el As(III), encontrándose fundamentalmente como H_2AsO_4^- a valores de pH bajos (inferiores a 6.9) (Figura 1), mientras que a pH más alto, la especie dominante es HAsO_4^{2-} (Figura 1), en condiciones de extrema acidez, la especie dominante será H_3AsO_4^0 , mientras que en condiciones de extrema basicidad, la especie dominante será AsO_4^{3-} (Figura 1). En condiciones reductoras, a pH inferior a 9.2, predominará la especie neutra (Figura 1) (Brookins, 1988; Yan et al., 2000).

Tabla 1. Compuestos de arsénico comúnmente encontrados en agua mostrando su estado de oxidación y fórmula química.

Nombre	Abreviatura y/o estado de oxidación del arsénico	Fórmula química
Ácido arsenioso Arsenito	As(III)	As(OH)_3
Ácido arsénico Arseniato	As(V)	AsO(OH)_3
Ácido monometilarsónico	MMA(V)	$\text{CH}_3\text{AsO(OH)}_2$
Ácido monometilarsenioso	MMA(III)	$\text{CH}_3\text{As(OH)}_2$
Ácido dimetilarsínico	DMA(V)	$(\text{CH}_3)_2\text{AsO(OH)}$
Ácido dimetilarsenioso	DMA(III)	$(\text{CH}_3)_2\text{AsOH}$
Óxido de trimetil arsina	TMAO	$(\text{CH}_3)_3\text{AsO}$

Modificada de (NCR, 2000; William and Frankenberger, 2001)

En general, la forma pentavalente del arsénico As(V) tiende a predominar frente a la forma trivalente As(III) en las aguas superficiales, que son más oxigenadas que las aguas subterráneas. Sin embargo, en estas últimas no siempre predomina la forma trivalente, pudiéndose encontrar ambos estados de oxidación (Smedley and Kinniburgh, 2002). Las concentraciones y proporciones relativas de As(III) y As(V) dependen de la entrada de arsénico al sistema, las condiciones redox y la actividad biológica. Por otra parte, la cinética de las reacciones redox es muy lenta por lo que las relaciones As(V)/As(III) observadas en muchas ocasiones no corresponden exactamente con las condiciones redox del medio, reflejando desequilibrio termodinámico (Kuhn and Sigg, 1993).



Modificada de Brookins. (1988).

Figura 1 Diagrama de especies de arsénico (V) y arsénico (III) en función del pH.

Las formas orgánicas de arsénico suelen aparecer en concentraciones menores que las especies inorgánicas, aunque pueden incrementar su proporción como resultado de reacciones de metilación catalizadas por actividad microbiana de bacterias, y algas. Las formas orgánicas dominantes son el ácido dimetilarsínico (DMA), y el ácido monometilarsónico (MMA), donde el arsénico está presente en ambos casos como As(V) (Tabla 1). Aunque también han sido detectadas las formas trivalentes de ácido monometilarsónico y dimetilarsínico en algunos lagos (Tabla 1) (Hasegawa et al., 1999, 1994).

1.2 Distribución y abundancia de arsénico en aguas naturales

Las concentraciones de arsénico presentes en diferentes cuerpos de agua varían considerablemente dependiendo de la fuente de arsénico y su ambiente geoquímico, encontrando que sobre condiciones naturales los rangos más altos de concentraciones de arsénico son resultado de las interacciones agua-roca y condiciones como el pH y el potencial de oxidación-reducción (Lillo, 2003). En bastantes casos los rangos de concentración de los cuerpos de agua son valores muy diversos y difíciles de obtener. Muchos estudios de arsénico reportados en la literatura tienen como blanco áreas de problemas conocidos y por lo tanto las concentraciones reportadas son límites extremos y poco representativos de las aguas naturales como un todo (Smedley and Kinniburgh, 2002). Sin embargo, la siguiente recopilación de datos para rangos de concentraciones de varias partes de la hidrósfera y litósfera da una amplia predicción de los rangos de concentración previstos y su variación en el medio ambiente (Lillo, 2003).

1.2.1 Ríos

Los valores de fondo de contenido de arsénico en ríos son relativamente bajos, en general, inferiores a 0.8 µg/L aunque pueden variar dependiendo de factores como recarga (superficial y subterránea), litología de la cuenca, drenaje de zonas mineralizadas, clima, actividad minera y vertidos urbanos o industriales. Por ejemplo, en áreas de clima árido, el aumento de la concentración de arsénico en las aguas superficiales se ve favorecido por procesos de evaporación, que además provocan un aumento en la salinidad y pH de las aguas. El proceso de saturación evaporativa ha causado en el río Loa en el norte chileno, parcialmente, la presencia de concentraciones extremadamente altas (190.0–21.8 µg/L) (Cáceres et al., 1992). En relación a procesos asociados con la circulación geotermal, en el área de Waikato, Nueva Zelanda se han observado concentraciones en el rango 28.0-36.0 µg/L (McLaren and Kim, 1995). También se han citado valores de concentración de arsénico de hasta 370.0 µg/L en zonas de influencia de sistemas geotermales como el Río Madison, sistema de Yellowstone (Nimick et al., 1998). Las corrientes fluviales de zonas mineras o con mineralizaciones muestran contenidos altos de arsénico, generalmente en el rango de 200.0-400.0 µg/L (Smedley et al., 1996). En el caso de drenaje ácido de minas, se han citado en la literatura contenidos de arsénico muy variables, en ocasiones extremadamente altos, de hasta 850.0 µg/L (Nordstrom and Alpers, 1999).

1.2.2 Lagos

Los valores de fondo de contenido de arsénico en aguas lacustres (0.1 µg/L) no difieren mucho de los observados en ríos al estar básicamente controlados por los mismos factores (Smedley and Kinniburgh, 2002), excepto en lo que se refiere a la dinámica del agua. La circulación restringida de agua en los lagos tiene como consecuencia que determinados procesos geoquímicos evaporativos sean facilitados. Un ejemplo de estos procesos evaporativos son los lagos de climas áridos (Maest et al., 1992), o la propia estratificación de algunos lagos en términos redox, con la existencia de un ambiente relativamente oxigenado en el epilimnion y de condiciones anóxicas en el hipolimnion, lo que determinará a su vez una estratificación relativa a la especiación de arsénico, con tendencia al predominio de As(V) en el epilimnion y As(III) en el hipolimnion, además de una variación de la concentración de arsénico con la profundidad (Azcue and Nriagu, 1995), aunque como se ha demostrado la especiación de arsénico en los lagos no siempre sigue esas pautas (Newman et al., 1998).

1.2.3 Agua de mar y estuarios

El valor medio de la concentración de arsénico en el agua de mar abierto presenta, por lo general, muy pocas variaciones situándose en torno a 1.5 µg/L (Navarro et al., 1993), contrastando con esos valores, las concentraciones en medios estuarinos, donde son más variables, como resultados de los aportes de las aguas continentales y variaciones locales de salinidad y gradientes redox.

Estos sistemas siguen estando en la mayor parte de los casos, no afectados antropogénicamente, por debajo de 4 µg/L. En esos ambientes mixtos tienen lugar procesos fisicoquímicos complejos como consecuencia de la mezcla de aguas de distinta naturaleza en cuanto a densidad, temperatura, pH, salinidad, procesos que pueden controlar la entrada de arsénico procedente de tierra firme al mar (por ejemplo, la floculación de coloides formados por óxidos de hierro en la interface agua dulce-agua salada contribuye a reducir el flujo de arsénico al mar (Cullen and Reimer, 1989).

1.2.4 Aguas continentales subterráneas

En general, los valores de fondo de concentración de arsénico en aguas subterráneas son, para la mayoría de los casos, inferiores a 1 µg/L (Edmunds et al., 1990; Welch et al., 2000). Sin embargo, los valores citados en la literatura para aguas en condiciones naturales definen un rango muy amplio entre 0.5 y 5.0 µg/L (BGS and DPHE, 2001; Boyle et al., 1998; Smedley and Kinniburgh, 2002).

Las concentraciones altas de arsénico, por encima de valores guía, por ejemplo, por encima de la guía de la Organización Mundial de la Salud (0.01 mg/L) (“OMS | Arsénico,” 2012) a nivel mundial, no se restringen a determinadas condiciones o ámbitos, apareciendo en acuíferos en condiciones oxidantes y de pH alto, acuíferos en condiciones reductoras, acuíferos con circulación geotermal, acuíferos afectados por procesos ligados a la actividad minera o relacionados con depósitos minerales, y acuíferos ligados a otros procesos antropogénicos (actividad industrial, asentamientos urbanos, actividad agropecuaria, etc.). Sin embargo, la mayor parte de los acuíferos con contenidos altos de arsénico tienen un origen ligado a procesos geoquímicos naturales. A diferencia de la contaminación antropogénica, la cual genera una afección de carácter más local, la ocurrencia de concentraciones altas de arsénico de origen natural afecta a grandes áreas. Los numerosos casos de “contaminación” natural de aguas subterráneas por arsénico que existen en el mundo están relacionados con ambientes geológicos muy diferentes: metasedimentos con filones mineralizados, formaciones volcánicas, formaciones volcano-sedimentarias, distritos mineros, sistemas hidrotermales actuales, cuencas aluviales terciarias y cuaternarias, etcétera (BGS y DPHE, 2001; Boyle et al, 1998; Smedley y Kinniburgh, 2002). Se han identificado un gran número de áreas con aguas subterráneas que presentan contenidos de arsénico superiores a 50 µg/L en distintos lugares del planeta.

Se han realizado importantes investigaciones citadas en la literatura en lugares como Argentina, Bangladesh, Nepal, Chile, China, Hungría, India (Bengala Oeste), México, Rumania, Taiwán, Vietnam y EE.UU., siendo este último país y Bangladesh donde los estudios son más profundos. Además se encuentran otras áreas, directamente relacionadas con procesos hidrotermales en Argentina, Chile, Japón, Nueva Zelanda, EE.UU., Islandia, Francia, Dominica y Kamchatka. Áreas con problemas de arsénico en relación a depósitos minerales y minería han sido reconocidas en numerosas partes del mundo, siendo los casos más sobresalientes los de Ghana, Grecia, Tailandia, Chile y EE.UU.

1.3 Estándares de seguridad y exposición de arsénico en agua

La dispersión global de sitios contaminados por arsénico, junto con el hecho de que cada año se descubren nuevas regiones afectadas por arsénico, subraya la importancia global del problema (Ravenscroft et al., 2009). Como resultado de estudios de efectos crónicos toxicológicos de arsénico en agua potable, los cuerpos regulatorios percibieron la severidad del problema y comenzaron a introducir o reforzar los límites permisibles de arsénico para el consumo de agua potable segura.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) redujo provisionalmente el valor guía de arsénico en agua potable de 50 a 10 $\mu\text{g/L}$ en 1993 (World Health Organization, 1993). Este límite de arsénico en agua potable fue llevado a la regulación por ley en Jordania (1993), Japón (1993), Namibia (1994), Siria (1994), Honduras (1995), Costa Rica (1997), El Salvador (1997), Unión Europea (1998), Mongolia (1998), Colombia (1998), Guatemala (1998), Nicaragua (1999), Panamá (1999), Laos (1999), Taiwán (2000), USA (2001), Bolivia (2004), Brasil (2005), Argentina (2007), Chile (2008) y Vietnam (2008). Otros países aún mantienen el límite de los 50 $\mu\text{g/L}$, y otros tienen límites regulatorios entre 10 y 50 $\mu\text{g/L}$ como por ejemplo Canadá 25 $\mu\text{g/L}$ (1999) y México 25 $\mu\text{g/L}$ (2005), y sólo Australia tiene un límite menor que 10 $\mu\text{g/L}$ (7 $\mu\text{g/L}$ desde 1996) (Litter and Bundschuh, 2010).

Aunque se han reportado manifestaciones tóxicas e impactos sobre la salud debido a la exposición al arsénico en muchos lugares, actualmente no es posible estimar precisamente el número de personas potencialmente expuestas en todo el mundo. Sin embargo, existen algunas estimaciones regionales o nacionales. La mayor población expuesta a agua subterránea con arsénico vive en el área del delta de Bengala: India y Bangladesh (Pearce, 2003). Situación conocida como el “mayor caso de envenenamiento masivo de la humanidad”. En Bangladesh alrededor de 50 millones de personas están en riesgo de consumir agua potable con niveles tóxicos de arsénico, lo que corresponde a casi la mitad de la población de ese país (Bhattacharjee, 2007; Chowdhury et al., 2000). Durante los estudios en este lugar se notó que los efectos sobre la población excedían los efectos del accidente de Chernobyl en uno o dos órdenes de magnitud, sin la debida atención pública (Wilson, 2006).

En América Latina, se estima que por lo menos 4.5 millones de personas están expuestas a los efectos de agua potable con concentraciones de arsénico superiores 50 $\mu\text{g/L}$ (J. Bundschuh et al., 2008). Este valor normativo está todavía en regulación en países como Uruguay, Venezuela y Perú. La posible reducción del límite a 10 $\mu\text{g/L}$ aumentaría varias veces el número de población expuesta al arsénico por arriba del nivel regulatorio y clasificaría a varios países, que hasta ahora tuvieron niveles de arsénico “seguros”, como países con aguas no seguras por el problema de arsénico. De ser el caso, el número de personas expuestas aumentaría a cerca de 14 millones.

En Argentina, el número de personas expuestas llegaría a 4 millones si consideramos el límite de 10 µg/L, introducido en 2007 (J. Bundschuh et al., 2008). Las consecuencias de no tener en cuenta los valores de arsénico en agua potable se hacen evidentes si se toma un incidente ocurrido en Nicaragua. Allí, en 1994, la compañía nacional del agua perforó un pozo en El Zapote para suministrar a la población agua potable bacteriológicamente limpia. Sin embargo, el agua explotada no fue analizada en relación al arsénico y las aguas del pozo contenían 1320 µg/L. Esto ocasionó el envenenamiento de la población durante 2 años por ingestión de agua con altas concentraciones de arsénico (J. Bundschuh et al., 2008; Wilson, 2006)

En nuestro país el marco normativo en cuestión de concentraciones de arsénico está regulado por dos normas, la NOM-127-SSA-1994 (Secretaría de Salud, 2000) y la NOM-001-SEMARNAT-1996 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 1996). La primera establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional. En la actualidad, el límite de concentraciones de arsénico establecido es de 0.025 mg/L. La segunda establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, estableciendo que la concentración de arsénico en aguas residuales para riego agrícola, cuerpos de agua y/o con fines recreativos no deberá exceder un promedio mensual de 0.2 mg/L.

1.4 Perspectiva de la presencia de arsénico en cuerpos de agua en México

En México, la extensión del territorio y la complejidad geológica se refleja en la variación de los contenidos y orígenes del arsénico presentes en el agua subterránea, entre las distintas áreas. En el país se han medido niveles de arsénico en agua de diferentes regiones como las apreciadas en la Figura 2. Los niveles de arsénico que se han encontrado en los diferentes cuerpos agua subterránea de estos sitios superan, en algunos casos, los 0.025 mg/L que es el límite máximo permitido por la normatividad mexicana NOM-127-SSA (Secretaría de Salud, 2000) para agua de consumo humano.

Se han determinado niveles elevados en varios campos geotérmicos como el de los Humeros y el de los Azufres, aunque ésta no es una condición que pueda generalizarse a todas las zonas geotérmicas. La disolución de ciertos tipos de rocas volcánicas se ha postulado como el origen del arsénico en algunos acuíferos (Arreguin-Cortés et al., 2009).

Por otra parte las actividades minero-metalúrgicas juegan un papel importante en la generación e incorporación de arsénico en el ambiente, y en lo que respecta a la historia de la minería y la metalurgia, en México data de al menos 500 años atrás. En la actualidad se encuentra en los primeros lugares del mundo en producción de cadmio, plomo, mercurio, fluorita, bario, y plata (Coll-Hurtado et al., 2002;

“Secretaría De Economía,” 2015), fomentando la aparición de diversos espacios ambientales, como lo son aire, suelo y agua, donde el arsénico pudiera tener presencia en forma de acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR para la población expuesta.

En regiones mineras, principalmente las ubicadas en el cinturón de Ag, Pb y Zn que se extiende desde el sureste de México en Taxco, Guerrero, hasta el norte de Chihuahua, el desarrollo de procesos geoquímicos como la oxidación de arsenopirita y de otros minerales que contienen arsénico, y la disposición inadecuada de los residuos de las operaciones de explotación y procesamiento han ocasionado problemas de contaminación de suelos, aguas superficiales y subterráneas, (Armienta et al., 1997; Castro-Larragoitia et al., 1997; Jasso-Pineda et al., 2007; Razo, 2012) y presencia de concentraciones elevadas en la vegetación



Figura 2. Sitios contaminados con arsénico en México.

En la actualidad existen estudios que muestran la presencia de altas concentraciones de arsénico en una gran parte del país como producto de actividades mineras y metalúrgicas. Un gran número de estos estudios han sido realizados principalmente por CONAGUA (“CNA,” 2015) y algunas universidades públicas como los trabajos realizados por (Armienta et al., 1997; Arreguin-Cortés et al., 2009; J. Bundschuh et al., 2008; Martínez-Villegas et al., 2013).

El estado de San Luis Potosí no es la excepción a la problemática de la contaminación por arsénico mencionada con anterioridad, ya que cuenta con 14 regiones mineras entre las que destacan: la región minera de San Luis Potosí, la región de Sierra de Catorce, y la región minera de Charcas (SGM, 2011); inclusive

es conocido que se han efectuado algunas investigaciones que han hecho evidente el problema de contaminación en la región minera de la Sierra de Catorce, en uno de sus principales distritos mineros: "Santa María de la Paz" (Coronado-Salas et al., 2012; Monroy et al., 2012; Razo, 2012). Así mismo existen también unos cuantos reportes del distrito; donde se evidencian el impacto directo a la salud de las poblaciones expuestas a esta zonas, donde existen residuos mineros sólidos tales como jales, depositados ahí, y derivados de la intensa minería de dos siglos (Castro-Larragoitia et al., 1997; Gamiño-Gutiérrez et al., 2013; Jasso-Pineda et al., 2007; Mejía et al., 1999; Perez-Vazquez et al., 2015; Razo, 2012; Yanez et al., 2003).

Los dos siglos de minería no sólo han causado afecciones al distrito Minero de Santa María de la Paz sino que el daño se ha hecho extensivo a otros lugares cercanos bajo escenarios no esperados. De acuerdo a estudios realizados por Martínez-Villegas et al. 2013, se han encontrado altas concentraciones de arsénico acuoso (91.05 mg/L en promedio) en un manantial ubicado en la ciudad de Matehuala el cual abastece de agua a un complejo hidráulico artesanal que descarga aguas abajo en una laguna utilizada como centro recreativo y, eventualmente, como fuente de agua disponible para actividades agropecuarias en la zona. Cercano a dicho manantial, aproximadamente 200 metros, se localizan las ruinas de lo que fue una antigua planta de fundición, dónde se encontraron presencia de arseniatos de calcio en una proporción de hasta 4.5 % (w/w) de arsénico en suelos (Martínez-Villegas et al., 2013). Al contacto con el agua, dichos arseniatos de calcio se disuelven y contaminan el acuífero, ocasionando concentraciones ultra altas de arsénico de hasta 158 mg/L (Martínez-Villegas et al., 2013). Dichas concentraciones se han propuesto como las más altas en el mundo y rebasan indudablemente cualquier límite de seguridad de arsénico en agua por lo que representan un riesgo para la población expuesta.

Para finalizar este capítulo podemos concluir que la contaminación de arsénico en el agua es resultado de su presencia natural en la corteza terrestre y de procesos antropogénicos. Por un lado, al ser un componente del suelo, y bajo acción de procesos de interacción agua roca, se encuentra presente en diversos tipos de aguas naturales como lo son ríos, lagos, aguas de mar, estuarios y aguas continentales subterráneas por todo el planeta, distribuido en diferentes formas de compuestos y estados de oxidación. Por otra parte, existen actividades antropogénicas que permiten que este elemento sea liberado al ambiente (agua, suelo, aire) y por tanto que sus concentraciones aumenten derivando en diferentes problemáticas de salud.

En la actualidad diversos organismos entre los cuales se incluyen los de México, adoptaron medidas de prevención y estándares de seguridad de arsénico en agua con la finalidad de proporcionar agua de calidad a la población. Sin embargo, esto no es un proceso puntual por lo que la contaminación de agua con arsénico es un tema que aún sigue en investigación ante los diferentes escenarios que día a día aparecen.

Capítulo 2. Contaminación de suelos, cultivos y ganado con arsénico

El agua de consumo humano contaminada con arsénico es considerada la principal ruta por la que las personas pueden ingerir excesivas concentraciones de arsénico. No obstante, los productos de origen agrícola pueden también absorber arsénico de los suelos, lo que provoca, posteriormente, que al ser ingeridos por los seres humanos, que estos absorban concentraciones considerables de arsénico a sus organismos (Ravenscroft et al., 2009). Algunos suelos contienen grandes concentraciones de manera natural pero otros lo obtienen de contaminación industrial, de contaminación producto de explotación agropecuaria y por el uso de agroquímicos y/o irrigación con agua contaminada con arsénico. En la actualidad la fuente de contaminación más importante para el suelo, es la irrigación con agua contaminada con arsénico (Ravenscroft et al., 2009). Esta última se caracteriza por la adición gradual y continua de arsénico al suelo. El efecto acumulativo es una amenaza para la sostenibilidad de la agricultura en las zonas afectadas (Heikens, 2006; Heikens et al., 2007).

En lo que se refiere a las plantas, éstas tienen diferente tolerancia a suelos contaminados con arsénico y los límites de tolerancia de las plantas son, además, diferentes en suelos anegados, tales como los usados para el cultivo de arroz, que en suelos aireados de tierras secas como las utilizadas para el cultivo de trigo y vegetales. Debido a esto, no puede establecerse un único límite para toxicidad de arsénico en plantas. Además de que la cantidad de arsénico absorbido varía para la diversidad de plantas y cultivos. Las relaciones entre el arsénico en agua de irrigación, suelos y plantas son complejas, y aún no están plenamente comprendidas (Ravenscroft et al., 2009).

Por otra parte también se considera que la contaminación de suelos puede impactar las actividades pecuarias, ya que una gran cantidad de forrajes son utilizados en la alimentación del ganado; y en algunos casos el forraje puede provenir de suelos con altos contenidos de arsénico o dichos suelos pueden ser utilizados como agostaderos. Adicional a lo anterior el uso de abrevaderos con agua contaminada con arsénico también puede ser un factor considerado como una ruta de aporte de arsénico a las actividades pecuarias.

Por lo anterior, los productos alimenticios derivados de las actividades agropecuarias pueden convertirse en una ruta de entrada en la que el arsénico puede incorporarse a la cadena alimenticia y afectar a los seres humanos. Tales productos pueden reflejar los niveles de arsénico que existen en el entorno en el que se producen: suelo, agua de riego y agua de abrevaderos ganaderos. La acumulación de arsénico en suelos de cultivo y su introducción a la cadena alimenticia a través de diferentes actividades agropecuarias es un tema de gran preocupación.

2.1 Arsénico en suelos irrigados con agua contaminada

Actualmente no existe mucha información sobre los riesgos que ocasiona la irrigación de suelos con agua contaminada con arsénico, ya que dicha problemática no ha sido lo suficientemente estudiada (Ravenscroft et al., 2009). Sin embargo, es conocido y reportado por algunos autores que el impacto de irrigar suelos con agua con arsénico es el enriquecimiento del suelo con arsénico (Bhatti et al., 2013; Brammer, 2009; De La Garza-Varela, 2015; Heikens, 2006; Heikens et al., 2007; Norra et al., 2005; Roychowdhury, 2008; Ruiz Huerta and Armienta Hernández, 2012). En países como Bangladesh, el enriquecimiento del suelo ha alcanzado hasta 67 mg/kg de arsénico en suelo y se estima que, por ejemplo, después de 50 años de irrigación con agua rica en arsénico (500 mg/L), suelos con un contenido inicial de 5 mg/kg podrían alcanzar hasta 139 mg/kg (Ravenscroft et al., 2009). En Matehuala, suelos con un fondo natural de entre 4 y 35 mg/kg de arsénico inicial (Chiprés et al., 2009) han alcanzado hasta 172 mg/kg como resultado de la irrigación de cultivos con agua contaminada con arsénico (De La Garza-Varela, 2015). Como se mencionó anteriormente, el problema de la contaminación de suelos agrícolas con arsénico es la transferencia del contaminante hacia los cultivos y, por ende, hacia a la cadena trófica y alimenticia, de las que el ser humano, es el destinatario final. La acumulación de arsénico en plantas ocurre primeramente en la raíz (Meharg y Macnair, 1990). En las raíces, todos los aniones son fuertemente adsorbidos a la superficie de la membrana, posteriormente sigue una conducción metabólica, una transferencia selectiva al simplasto y por último son transportados a la parte superior de la planta.

2.2 Estándares de seguridad en suelos contaminados

Dos tipos de estándares de seguridad se utilizan para las concentraciones de arsénico en suelos. El primero está relacionado directamente con la salud de la población expuesta especialmente niños que consumen directamente el suelo contaminado, o por inhalación del polvo de suelos contaminados o por ingesta de hojas y raíces con residuos de suelos contaminados. El otro está relacionado al crecimiento de la planta y el rendimiento de la producción de los cultivos. Estos niveles han sido establecidos por estudios realizados a minas, industrias y desechos urbanos, y no a suelos no contaminados. Adicionalmente son requeridos niveles para las concentraciones mínimas en suelo que permiten que la acumulación de arsénico sea viable en la planta y en sus partes comestibles (Ravenscroft et al., 2009).

2.2.1 Riesgo para la salud humana

En el Reino Unido, los lineamientos de suelo de la Agencia Ambiental dictan un valor de 20 mg As/kg suelo para sitios residenciales y de asignación (DEFRA and EA, 2002a, 2002b; Ravenscroft et al., 2009). Los estándares de Canadá y Países Bajos varían entre 10 y 20 mg/kg (Duxbury and Zavala, 2005), mientras en Alemania los niveles permitidos son de 25 mg/kg para campos de juego para niños (Norra et al., 2005). Naidu et al. (2006) reportó en una reciente revisión de umbrales en Australia para la evaluación de riesgos aceptables para suelos residenciales las concentraciones de 100 mg/Kg, 200mg/kg para suelos recreacionales y 500 mg/Kg para uso industrial o comercial.

En México, la NOM-147-SEMARNAT-SSA1-2004 establece los criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio, decreta como concentración de referencia total, 22 mg/kg de arsénico total en suelos agrícolas, residencial y comercial; y para uso industrial 260 mg/Kg concentración por encima de la cual, se considera que pueden aparecer efectos nocivos para la salud de una población expuesta.

Los niveles de seguridad establecidos, tanto en México como otras regulaciones en el mundo, pueden ser solo tomados como lineamientos, debido a que existen diversos factores que pueden influenciar la biodisponibilidad del arsénico presente en los suelos, de igual forma que los riesgos de exposición tanto en humanos como en animales. Los lineamientos son adecuados para monitoreo de sitios contaminados, pero cada uno de ellos debe estar soportado por una específica evaluación de riesgo donde no exista duda de presencia de efectos.

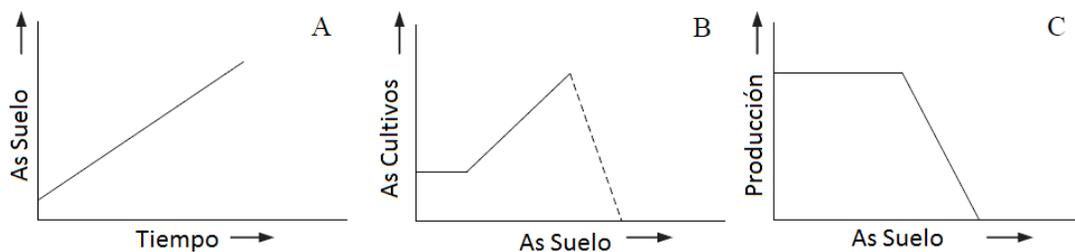
2.2.2 Toxicidad en las plantas

Es más difícil establecer niveles peligrosos en relación al crecimiento en plantas debido a que existen variaciones de tolerancia al arsénico entre diferentes especies de plantas y cultivos (Ravenscroft et al., 2009). La mayoría de los estudios se han llevado a cabo en suelos de cultivos de arroz donde siempre se encuentran inundados, y no tanto en suelos aireados tales como los de cultivo de vegetales y hortalizas. Warren et al. (2003) citan un valor de referencia en el Reino Unido de 50 mg/kg para suelo en el que los productos alimenticios frescos pueden ser cultivados con seguridad (DEFRA, 2009; Warren et al., 2003). Ant et al. (1997) mencionan un nivel de 25 mg/kg en Ontario, para suelos de cultivo en Canadá. Norra et al. (2005) alude diferentes referencias internacionales que van de 20 a 50 mg/kg. Naidu et al. (2006) cita una gama similar de valores umbral para los suelos de cultivo en Australia. Estos lineamientos se aplican al parecer a los suelos de las tierras secas y no a las inundadas. Para los suelos inundados, Norra et al., 2005 citan una directriz alemana de 50 mg/kg en suelos con una producción reducida de cultivos.

Sin embargo, las principales reducciones en el rendimiento de producción se han observado en el arroz de Bangladesh aún por debajo de esta concentración (Duxbury and Panaullah, 2007). Huang et al. (2006) refiere a los límites de 30 mg/kg en China para los suelos de arroz con pH <6,5 y 25 mg/kg en suelos con pH 6.5 a 7.5. Todos estos niveles se refieren al total de arsénico en suelos y no al disponible para la planta y consistentemente se reporta que esta última es sólo una pequeña fracción del total del arsénico. Por lo anterior, se considera que los datos totales de arsénico son un indicador imperfecto de riesgo real que representan los suelos contaminados con arsénico.

2.3 Impacto del arsénico en suelos y cultivos contaminados

La transferencia de arsénico a través del sistema cultivo-suelo-agua es una de las implicaciones más importantes del uso de agua contaminada en la irrigación. Además la acumulación de arsénico con el tiempo puede ocasionar disminución en los rendimientos de producción de los cultivos (Figura 3) (Heikens, 2006).



Modificada de (Heikens, 2006)

Figura 3. Transferencia de arsénico a cultivos por irrigación con agua contaminada. A) Incremento hipotético de la concentración de arsénico en el suelo a lo largo del tiempo por irrigación con agua contaminada. B) Comportamiento hipotético de la concentración de arsénico en cultivos en función de la concentración de arsénico en suelo. C) Rendimiento hipotético de cultivos agrícolas con respecto a la concentración de arsénico en suelo.

La entrada de arsénico a través del riego puede ocasionar acumulación de arsénico en el suelo con el tiempo (Figura 3A). Dependiendo de la biodisponibilidad, absorción y transporte, las altas concentraciones del suelo se pueden reflejar en los cultivos, como se muestra en la Figura 3B, donde la línea punteada indica que a cierto nivel el crecimiento de las plantas puede ser severamente inhibido, mientras que en otros estatus de crecimiento las concentraciones de arsénico ya no son relevantes. Finalmente, con un incremento en las concentraciones del suelo, los rendimientos permanecen más o menos constantes hasta que se supera el umbral y disminuye entonces la producción, como se puede notar en la Figura 3C (Heikens, 2006).

En México existen algunos estudios de acumulación de arsénico en plantas cultivadas en suelos contaminados por agua enriquecida en arsénico, aguas residuales o residuos mineros (Caballero-Gutiérrez et al., 2010; García et al., 2007; Mancilla-Villa et al., 2012; Prieto García et al., 2010; Rosas-Castor et al., 2014).

Se ha reportado la acumulación de arsénico en suelo, raíces, tallo y hoja de plantas de maíz cultivado en suelos irrigados con agua enriquecida con arsénico (Ruíz-Huerta et al., In preparation) donde las concentraciones de arsénico exceden hasta 6 veces el límite considerado como seguro para suelos de cultivo (22 mg/kg) (NOM-147-SEMARNAT-SSA1-2004, 2004) y un porcentaje importante del arsénico total (30%) se encuentra fácilmente disponible (De La Garza-Varela, 2015). Los impactos de dicha contaminación fueron también fácilmente observables en la disminución del crecimiento de los cultivos (Ruíz-Huerta et al., In preparation) revelando por lo tanto un riesgo potencial para la población expuesta.

2.4 Contaminación de ganado con arsénico

A la fecha, la acumulación de arsénico en animales, a niveles peligrosos que pudieran afectar la salud humana, no está reportada (el Bahri and Ben Romdane, 1991) pero es conocido que es un tóxico que produce intoxicaciones severas en diferentes especies animales (Alonso et al., 2002). Los grados de intoxicación varían con la forma química, estados de oxidación y solubilidad (el Bahri and Ben Romdane, 1991). Existen estudios donde se ha reportado toxicidad por el consumo de compuestos arsenicales presentes en alimentos de cerdos y aves de corral; el mecanismo de intoxicación responde a la reacción con grupos sulfidrilos, y disminución de funciones enzimáticas, además de que afectan la capacidad de desacoplar la fosforilación oxidativa (el Bahri and Ben Romdane, 1991). Pese a esto no existe evidencia de acumulación de arsénico en animales expuestos al arsénico, lo cual puede ser explicado hasta cierto punto por los rápidos y eficientes procesos de eliminación del contaminante por los animales (Davey, 1941; el Bahri and Ben Romdane, 1991; Mclennan et al., 1972). El conocimiento de concentraciones de arsénico en el ganado producido por la ingesta de agua contaminada o de otros procesos es de suma importancia, debido a que es una fuente de alimentación para el ser humano. Actualmente la información sigue apuntando a la ausencia de acumulación de arsénico en niveles peligrosos para el ser humano; pero se destaca como un problema socioeconómico para el desarrollo de la ganadería ya que las intoxicaciones con este tóxico generan considerables bajas en el número de poblaciones de ganado (Alonso et al., 2002; López Alonso et al., 2002, 2000a, 2000b). En México no existe ningún reporte generado sobre intoxicación del ganado como consecuencia de ingesta de arsénico por lo que se requieren estudios de como la contaminación del ganado aportaría al riesgo de las poblaciones expuestas.

Concluyendo lo anterior a pesar de que durante mucho tiempo se consideró como ruta principal de entrada de arsénico al organismo la ingesta de agua contaminada. En la actualidad se ha demostrado que el consumo de alimentos agropecuarios producidos en suelos con altas concentraciones de arsénico puede permitir la absorción de concentraciones considerables de arsénico en los seres humanos.

Capítulo 3. Exposición a arsénico y acumulación en cabello

3.1 ¿Qué es la exposición a arsénico?

La exposición a un contaminante ocurre mediante la presencia del contaminante en el ambiente y su contacto con el hombre. En el caso del arsénico, la exposición a éste ocurre mediante la presencia del arsénico en agua, suelo, cultivos, productos agrícolas y ganaderos, entre otros, y su contacto con el hombre. En el planeta, el mayor problema, sin duda, lo presenta la contaminación natural del agua en determinadas regiones geográficas, como el caso de Bangladesh (Smith et al., 2000) aunque a recientes fechas también se considera la contaminación de suelos y alimentos como un factor importante en la exposición (De La Garza-Varela, 2015; Huang et al., 2006; Norra et al., 2005).

3.2 ¿Qué es una población expuesta?

Una población expuesta es un conjunto de individuos que, debido a ciertas características, ya sea biológicas, físicas o de espacio geográfico del hábitat, tienen mayor probabilidad de contraer determinadas intoxicaciones, enfermedades o accidentes, llamadas "factor de riesgo" (Bhopal, 2015; Cohrssen and Covello, 1999; "Evaluación de salud pública II - Evaluación de vías de exposición," 2015; Galvao and Corey, 1987; Samet et al., 2009). En el caso del arsénico una población expuesta es aquella que se encuentra cerca de fuentes naturales o antropogénicas de arsénico y/o de rellenos sanitarios con presencia del mismo. Esta población denominada "expuesta" no necesariamente presenta acumulación del contaminante o efectos que perjudiquen su salud.

3.3 ¿Qué es una población de alto riesgo?

Son aquellas poblaciones en donde la probabilidad de que exista acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR sea alta, o de que los efectos de intoxicación en la población puedan ser graves. Por ejemplo: personas expuestas ocupacionalmente, personas que vivan donde exista contaminación natural o antropogénica de aguas, suelos contaminados, alimentos contaminados, regiones donde se lleven a cabo actividades mineras, entre otras. Bajo las condiciones mencionadas en la Tabla 2, el riesgo de que exista una población expuesta aumenta.

Tabla 2. Niveles de intensidad de exposición potencial a arsénico en función de diferentes factores ocupacionales y/o lugares de contacto.

Exposición alta	Exposición mediana	Exposición baja	Exposición muy limitada
Agricultores con uso de agua contaminada	Uso de fármacos con arsénico	Fábrica de municiones	Fábricas de pinturas
Agricultores con uso de suelo contaminado	Minería regularizada	Fábrica de plata	Trabajadores de bronce
Ganadería con agostaderos y bebederos contaminado	Trabajadores de fundiciones	Refinadores de vidrios	Fabricantes de semiconductores
Uso de químicos con arsénico	Preservadores de madera		Fabricantes de fertilizantes
Lugares contaminados	Viticultores		Laboratorios químicos

Modificada de (Galvao and Corey, 1987).

En México, se reportan poblaciones expuestas a arsénico en la Región Lagunera, en los estados de Coahuila y Durango (Cebrián et al., 1983a; Chávez V. et al., 1964; Del Razo et al., 1990b), en Zimapán, Santa María de la Paz y San Luis Potosí, entre otros (Armienta et al., 1993; Diaz-Barriga et al., 1997; Grimaldo et al., 1995; Medellín-Milán et al., 1993; Ortiz, et al., 1998; Sarabia-Melendez, 1989).

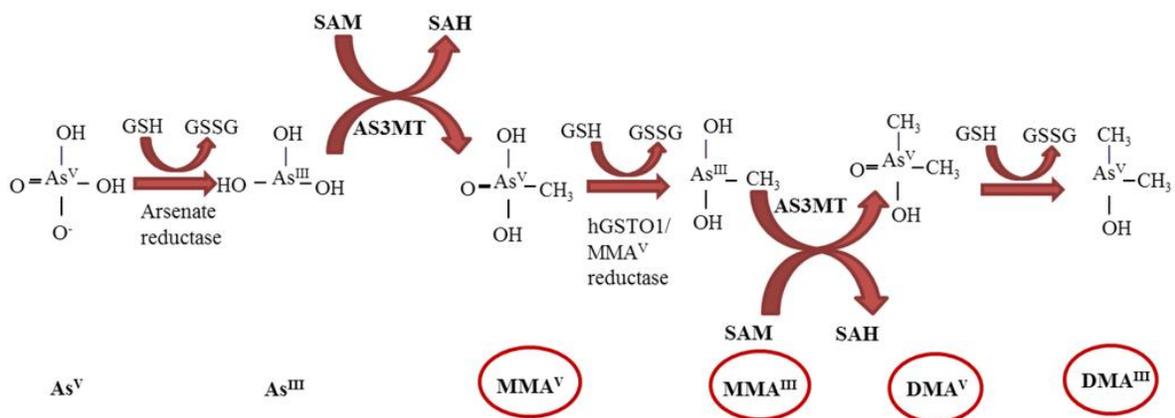
Y cabe destacar que el riesgo de intoxicación para cualquier persona expuesta a compuestos de arsénico en el ambiente es latente, aunque la forma química en la que se encuentre el arsénico sea la menos tóxica. Esto se debe a la capacidad de transformación del arsénico dentro del organismo (Galvao and Corey, 1987).

3.4 ¿Cómo se acumula el arsénico en el humano y el cabello?

El arsénico y sus componentes se introducen al organismo por tres principales vías de exposición: la inhalación, la ingestión y la vía dérmica (“ATSDR - Toxicological Profile,” 2014; Galvao and Corey, 1987). La toxicocinética que presenta el arsénico se caracteriza porque en ella los arseniatos y arsenitos son absorbidos mayoritariamente por 2 vías, la vía oral y la de inhalación (“ATSDR - Toxicological Profile,” 2014). Por la vía oral, el sistema gastrointestinal absorbe en promedio 80 % del arsénico ingerido, aunque esto varía según las características del compuesto y factores propios del individuo (Galvao and Corey, 1987). Por otro lado, se sabe que al aspirar polvo contaminado con arsénico se absorbe hasta 50% de lo inhalado (Galvao and Corey, 1987). Dos procesos involucran la absorción de arsénico a través de esta vía, el primero es la deposición de partículas de arsénico sobre la superficie de la laringe y el segundo la absorción del arsénico depositada sobre la misma (“ATSDR - Toxicological Profile,” 2014).

En lo que se refiere a la vía dérmica, ésta no ha sido bien caracterizada pero la absorción es baja en comparación con las otras vías (“ATSDR - Toxicological Profile,” 2014). Una vez en el torrente sanguíneo el arsénico se distribuye por todo el cuerpo a nivel celular y se incorpora en glóbulos blancos, glóbulos rojos (Wang et al., 1996; Winski and Carter, 1995). Algunas horas después se pueden verificar altas concentraciones de este tóxico en el hígado y los riñones. El nivel de arsénico tanto en la sangre como en hígado y riñones baja rápidamente. Sin embargo, el arsénico ingerido sufre eliminación en concentraciones que son detectables en cerebro, corazón, útero, pulmón, pelo, dientes, uñas, piel, huesos y músculos. Con el tiempo los principales depósitos de arsénico en el organismo son los huesos, músculos y tejidos ricos en queratina, como el cabello.

La tasa de absorción de formas de arsénico altamente insolubles (como sulfuro de arsénico, arseniato de plomo) es mucho más baja en comparación con las de formas solubles (como los arseniatos de calcio que dan origen a esta investigación) para los procesos de absorción vía oral e inhalación. El arsénico inorgánico de los suelos es absorbido en menor proporción que aquellas sales de arsénico en solución (“ATSDR - Toxicological Profile,” 2014). Una vez absorbido es necesario que el arseniato [As(V)] se reduzca a arsenito [As(III)], antes de que pueda ocurrir la metilación y los procesos de eliminación. Esta reacción requiere del glutatión y obtiene como resultado metabolitos de arsénico dimetilados (Vahter et al., 1983). Una parte del arsenito [As(III)] es metilada en el hígado por la transferencia enzimática del grupo metilo de la S-adenosilmetionina que forma el arseniato de metilo (MMA V) y el arseniato de dimetilo (DMA V) (Figura 4)(Aposhian et al., 2004; Stýblo et al., 2002).



Modificada de (Faita et al., 2013)

Figura 4. Ruta metabólica de reducción de arseniato a arsenito en el organismo y su metilación.

La concentración y tipo de metabolitos en un organismo varían dependiendo de la especie química de arsénico. La mayoría del arsénico es excretado rápidamente en la orina como una mezcla de As(III), As(V), MMA(V) y DMA(V). El DMA(V) es usualmente la primera forma en la orina. Pequeñas concentraciones son excretadas en las heces.

El arsénico y sus metabolitos se excreta en la orina principalmente a través de los riñones. Cerca de 50% del arsénico excretado en la orina humana es arsénico dimetilado, 25% es arsénico monometilado, y el resto es arsénico inorgánico (Buchet et al., 1981). No obstante, puede haber variaciones individuales en estos porcentajes. Algunos estudios relacionados con dosis-respuesta reflejan variabilidad en la respuesta al empleo de determinada forma química del arsénico; así las sales en forma de arsenito se eliminan por la vía biliar, mientras que los compuestos en forma de arseniato se eliminan principalmente por vía renal (Galvao and Corey, 1987).

Según los datos de la Encuesta Nacional sobre Salud y Nutrición 2003-2004 conforme aumentan los niveles urinarios de arsénico total, el porcentaje de las formas metiladas también aumenta. A niveles menores de arsénico total en orina, predomina el arsénico inorgánico (Caldwell et al., 2009).

Se considera que la metilación es la principal vía de desintoxicación de arsénico en humanos, aunque recientemente diversos estudios proponen otros mecanismos alternos de desintoxicación. Por ejemplo, se sabe que varias especies animales carecen de mecanismos de metilación del arsénico pero son capaces de excretar arsénico inorgánico (Vahter, 2002). Esto sugiere que puede haber en los mamíferos otros mecanismos importantes de desintoxicación de arsénico. Distintas investigaciones sugieren la existencia de mecanismos adicionales de desintoxicación, como defensas antioxidantes, resistencia a la apoptosis, y transporte (Yoshida et al., 2004). Algunas investigaciones centradas en el metabolismo del arsénico sugieren que la metilación del arsénico inorgánico puede ser una ruta de intoxicación más que de desintoxicación. Más aún, sugieren que los metabolitos metilados de arsénico trivalente, especialmente el ácido monometilarsenoso (MMA III) y el ácido dimetilarsenoso (DMA III), "rara vez son capaces de interactuar con objetivos celulares como proteínas y ADN" (Kitchin, 2001).

Los seres humanos excretan una mezcla de arsénico inorgánico, arsénico monometilado y arsénico dimetilado (pero no de arsénico trimetilado). Los metabolitos pentavalentes MMA y DMA son menos tóxicos que los arsenitos o los arseniatos (Marafante et al., 1987). La vida media del arsénico en el ser humano es de 10 horas para las formas inorgánicas, 30 horas para las formas orgánicas y 20 para alimentos de origen marino. El arsénico que se encuentra presente en peces y crustáceos marinos, el cual está en una forma compleja parece que en humanos es extensivamente absorbido y eliminado rápidamente bajo la forma organoarsenical original intacta por lo que en algunos casos no se considera un riesgo para la salud (Galvao and Corey, 1987). Se estima que la vida media del "arsénico de los pescados" en los seres humanos es de menos de 20 horas, desalojado completamente por vía urinaria en aproximadamente 48 horas. Aparentemente, la eficiencia de la metilación en los seres humanos decrece a dosis altas de arsénico (Chung et al., 2002).

Derivado de lo anterior se sobrentiende que cuando una persona sobrepasa la capacidad de metilación del hígado, y sigue expuesta a niveles peligrosos de arsénico inorgánico, se observa un incremento en la retención del arsénico en los tejidos blandos y los ricos en queratina, como consecuencia de la falta de eficiencia en la desintoxicación (Calabrese, 1992). De dos a cuatro semanas después de que cesa o continúa la exposición al arsénico, esta sustancia puede encontrarse en diferentes tejidos ricos en queratina como cabello, huesos y dientes, en menor medida, piel, y uñas (Yip and Dart, 2001). Es así como el proceso de acumulación de arsénico en el cabello es posible derivado de diferentes procesos toxicocinéticos, ya que estos tejidos no lo pueden desechar (Lansdown, 1995). Lo anterior fundamenta la importancia del mismo en análisis toxicológicos ya que los niveles de arsénico en cabello son utilizados como biomarcadores de exposición crónica (“ATSDR - Public Health Statement,” 2014; Hindmarsh, 2002; Hinwood et al., 2003; Hughes, 2006; Ramírez, 2013; Vahter, 2002).

3.5 Biomarcador y estándar de diagnóstico de exposición

El monitoreo biológico es el procedimiento por el cual se mide un tóxico potencial, sus metabolitos o un efecto químico no deseado en una muestra biológica con la finalidad de evaluar la exposición a ese agente (Apostoli et al., 1999; Lew, 2008; World Health Organization, 1996). La exposición puede ser valorada midiendo las concentraciones del tóxico en diferentes muestras biológicas en donde de acuerdo a su naturaleza química presenta mayor acumulación. La finalidad es medir la cantidad de tóxico absorbido, independiente a la vía de exposición (la inhalación, la ingestión y/o la vía dérmica). Un biomarcador es, entonces, una sustancia química, generalmente un tóxico, o los metabolitos que resulten de su biotransformación o cualquier alteración bioquímica precoz, cuya determinación en los líquidos biológicos, tejidos o aire exhalado permita evaluar la intensidad de exposición o riesgo para la salud de una población expuesta (World Health Organization, 1996).

El cabello, en comparación con otras partes del cuerpo, retiene una gran cantidad de arsénico As(III), derivado de una alta afinidad por los grupos sulfidrilos de proteínas como la queratina (Lansdown, 1995; Vahter and Envall, 1983). Sin embargo, el total de arsénico acumulado en el cabello no refleja la absorción específica de una sola vía; sino el de las 3 vías implicadas en el proceso de exposición (“ATSDR - Toxicological Profile,” 2014). Debido a esto, el cabello se utiliza como biomarcador para evaluar la acumulación, exposición y/o el riesgo del humano a diferentes metales (como bario, cromo, plomo, mercurio, níquel, estroncio) y al arsénico en poblaciones expuestas (María, 2008). Aunado, para diagnosticar la exposición a niveles peligrosos, se utiliza el estándar de exposición a niveles peligrosos de arsénico de la Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR, por sus siglas en inglés) de 1 mg/kg, valor por encima del cual las poblaciones se consideran expuestas a niveles peligrosos de arsénico (“ATSDR - Toxicological Profile,” 2014).

3.6 Efectos en la salud

Derivado de su compleja toxicocinética, el arsénico afecta a prácticamente todos los aparatos y sistemas del cuerpo, puesto que interfiere con reacciones enzimáticas de amplia distribución. Los efectos más claros de la exposición al arsénico se observan en la piel (ATSDR, 2007). Algunos de los efectos fisiológicos de la exposición al arsénico son la hiperpigmentación cutánea en parches, queratosis focal pequeña, y otras lesiones dérmicas que aparecen posteriormente a una exposición alta y crónica al arsénico. De hecho, la principal consecuencia derivada de la presencia de arsénico en agua es el hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE), enfermedad crónica cuya etiología es la ingesta de agua contaminada con arsénico, y en cuyas manifestaciones de enfermedad se destacan alteraciones dermatológicas como melanodermia, leucodermia y/o queratosis palmoplantar, evolucionando hacia patologías más graves como distintos tipos de cáncer (Marisa et al., 2009; Tello, 1951). Puede provocar cáncer en pulmón y piel, e inclusive puede causar otros tipos de cánceres. Se observa una mayor fuerza de asociación entre la exposición crónica al arsénico y los cánceres de piel, pulmón y vejiga. Por otra parte, se observa una menor fuerza de asociación entre la exposición al arsénico y los cánceres de hígado (angiosarcoma), riñón y otros tipos de cáncer (IARC, 2004; NCR, 2000).

La presencia de altos niveles de arsénico en el agua no sólo es la causa principal de presencia de enfermedades como el HACRE, sino que en algunas poblaciones esta problemática limita también el uso del recurso para agua potable y otros propósitos, impidiendo el crecimiento socioeconómico, la sostenibilidad del uso racional de los suelos y el desarrollo sostenible tanto de la agricultura, como de la ganadería (Heikens, 2006). Además de que existe el peligro del uso de agua de irrigación contaminada con arsénico (Heikens, 2006); dónde el flagelo indiscutiblemente vuelve a ser una población expuesta. A continuación se describen algunos de los efectos del arsénico en la salud.

3.6.1 Efectos gastrointestinales

Uno de los efectos presentes derivados de la exposición al arsénico son los efectos gastrointestinales generalmente resultado directo de la ingesta de arsénico. Sin embargo, otras rutas de exposición diferentes pueden producir también efectos gastrointestinales. Los efectos gastrointestinales se observan de manera aguda después de la ingesta del arsénico. Y se observan menos después de la inhalación o de la absorción por vía dérmica. La principal lesión en el tracto gastrointestinal consiste en un aumento en la permeabilidad de los vasos sanguíneos pequeños, que lleva a la pérdida de fluidos y a la hipotensión. Puede presentarse una inflamación extensiva y una necrosis en la mucosa y submucosa del estómago e intestino, las cuales pueden derivar en la perforación de la pared de la víscera.

Puede presentarse una gastroenteritis hemorrágica que provoca diarrea sanguinolenta (ATSDR, 2009). Algunos de los padecimientos directamente relacionados con este tipo de efectos son: dolor de estómago, náuseas, vómitos y cáncer de estómago.

3.6.2. Efectos hepáticos

En el hígado la toxicidad aguda al arsénico puede asociarse a una necrosis hepática y a niveles elevados de las enzimas hepáticas (ATSDR, 2009). Algunos de los padecimientos directamente relacionados con este tipo de efectos son: necrosis hepática, cáncer de hígado, elevación de las transaminasas, cirrosis.

3.6.3 Efectos renales

El arsénico puede tener efectos negativos en los riñones. La toxicidad sistémica que se presenta en la intoxicación aguda severa por arsénico puede incluir una necrosis tubular aguda junto con una falla renal aguda. También se ha reportado insuficiencia renal crónica por necrosis cortical. El agente precipitante del fallo renal puede ser el shock hipotensivo, el daño tubular hemoglobínico o mioglobínico, o los efectos directos del arsénico en las células del túbulo renal. El daño glomerular puede provocar una proteinuria. El riñón no es el órgano más sensible a la intoxicación crónica por arsénico, ya que otros aparatos y sistemas pueden verse afectados a dosis menores (ATSDR, 2009). Algunos de los padecimientos directamente relacionados con este tipo de efectos son: cáncer de riñón y de vejiga.

3.6.4 Efectos cardiovasculares

Tanto la exposición aguda como la exposición crónica a altos niveles de arsénico pueden provocar una amplia gama de efectos cardiovasculares adversos. La intoxicación aguda por arsénico puede causar tanto una fuga capilar difusa como una cardiomiopatía, las cuales pueden conducir a un shock. La amplitud del daño cardiovascular puede variar dependiendo de la edad, la dosis de arsénico, y la susceptibilidad individual (ATSDR, 2009). Algunos de los padecimientos directamente relacionados con este tipo de efectos son: enfermedades cardiovasculares.

3.6.5 Efectos neurológicos

Algunas investigaciones que apoyan una asociación entre el arsénico y la presencia de enfermedades, revelan que los pacientes expuestos al arsénico pueden presentar destrucción de los cilindros del axón, lo cual puede conducirlos a sufrir una neuropatía periférica. Esto se ha reportado tanto en exposiciones agudas a dosis altas (>2 mg As/kg/día), como en exposiciones repetidas a niveles menores (.03–0.1 mg As/kg/día) (ATSDR, 2009, 2007; Chakraborti et al., 2003).

La intoxicación por arsénico puede provocar una neuropatía periférica. La lesión es una axonopatía sensomotora. El hallazgo clásico consiste en una neuropatía

periférica que involucra más neuronas sensitivas que motoras, siguiendo una distribución simétrica de guante y calcetín (Figura 5A) (Murphy et al., 1981).

En las exposiciones a altos niveles de arsénico, el inicio de la neuropatía puede ocurrir, presentándose de manera intensa: adormecimiento, calambres musculares, dolor espontáneo, parestesia, sensibilidad muscular, y sudoración en la parte distal de las extremidades inferiores esto alrededor de los 7 a 14 días posteriores a la exposición (Bleecker, 2007).



Modificada (ATSDR, 2009)

Figura 5. Ilustración del síndrome de guante y calcetín ocasionado por exposición arsénico, así como ilustraciones de queratosis palmar e hiperpigmentación severa en la espalda ocasionadas por ingesta prolongada por agua contaminada con arsénico por largos periodos.

Algunos estudios de seguimiento de niños japoneses que consumieron crónicamente leche contaminada con arsénico apuntan hacia una mayor incidencia de déficits cognitivos, epilepsia, otros daños cerebrales, pérdida severa de audición (ATSDR, 2009, 2007). Los estudios epidemiológicos y los reportes de casos no han confirmado la pérdida de audición como secuela de una intoxicación aguda o crónica por arsénico (ATSDR, 2009, 2007).

3.6.6 Efectos dérmicos

Las hiperqueratosis palmo-plantares y los cambios en la pigmentación de la piel son característicos de la exposición crónica al arsénico. Las queratosis benignas causadas por el arsénico pueden tornarse malignas. Un efecto retardado de la exposición crónica o aguda al arsénico es la aparición de líneas de Mee en las uñas. Las líneas de Mee son líneas horizontales que aparecen en las uñas de los dedos (ATSDR, 2009).

Las lesiones cutáneas que se presentan más frecuentemente en personas expuestas al arsénico son hiperqueratosis, hiperpigmentación (Figura 5C) y cáncer de piel. La hiperpigmentación irregular, un elemento patológico distintivo de la exposición crónica, puede presentarse en cualquier parte del cuerpo. La hiperpigmentación irregular ocurre particularmente en axilas, cuello, ingle, párpados, pezones y/o sienes.

La aparición común en la piel de zonas café oscuras con manchas pálidas dispersas se describe como “gotas de lluvia en un camino polvoriento” (ATSDR, 2009). 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 400 ppb o más de arsénico (ATSDR, 2007). La hiperqueratosis por arsénico ocurre con más frecuencia en las palmas de las manos y en las plantas de los pies (Figura 5B).

Como se mencionó anteriormente, algunos de los padecimientos directamente relacionados con este tipo de efectos son: hiperqueratosis palmar y plantar, dermatitis folicular junto a la hiperpigmentación.

3.6.7 Efectos respiratorios

La inhalación de altas concentraciones de compuestos de arsénico provoca una irritación de la mucosa respiratoria. Los trabajadores de fundidoras que estuvieron sujetos a exposiciones prolongadas de altas concentraciones de arsénico en niveles que ya no se encuentran en la actualidad, presentaron lesiones inflamatorias y erosivas en la mucosa respiratoria. Tales lesiones podían llegar inclusive a la perforación del tabique (septo) nasal. Se ha asociado al cáncer de pulmón con la exposición crónica al arsénico en los trabajadores de fundidoras y de industrias que producen pesticidas (ATSDR, 2007). Algunos de los padecimientos directamente relacionados con este tipo de efectos son: cáncer de pulmón y alergias.

3.6.8 Efectos hematopoyéticos y hematológicos

La intoxicación crónica o aguda por arsénico puede provocar un abatimiento en la actividad de la médula ósea, la cual puede manifestarse inicialmente como una pancitopenia. Tanto la intoxicación aguda como la crónica con arsénico pueden afectar al sistema hematopoyético. Puede presentarse un abatimiento reversible en la actividad de la médula ósea, con pancitopenia. La anemia y la leucopenia son comunes en la intoxicación crónica con arsénico, y comúnmente se acompañan de trombocitopenia y eosinofilia moderada. La anemia puede ser normocítica o macrocítica, y puede notarse un punteado basofílico en los frotis de sangre periférica (Kyle and Pease, 1965; Selzer and Ancel, 1983).

3.6.9 Efectos reproductivos

La exposición al arsénico está ligada a un aumento en la frecuencia de abortos espontáneos y a un aumento en las malformaciones congénitas. El arsénico es un teratógeno que tiene efectos tóxicos en el sistema reproductor (Shalat et al., 1996). Atraviesa la membrana placentaria y sus concentraciones en la sangre del cordón umbilical son similares a las concentraciones en la sangre materna. Un reporte de caso publicado describe la ingesta aguda de arsénico durante el tercer trimestre del embarazo, con la muerte del bebé 12 horas después del parto.

La autopsia reveló una hemorragia intraalveolar, así como altos niveles de arsénico en el cerebro, hígado y riñones (ATSDR, 2007).

Otro estudio encontró que mujeres que trabajaban o vivían cerca de una fundidora de cobre que emitía arsénico al ambiente en niveles elevados presentaban frecuencias altas de abortos espontáneos y de malformaciones congénitas (ATSDR, 2009; Nordström et al., 1979). La frecuencia de malformaciones totales era dos veces mayor que la frecuencia esperada. La frecuencia de malformaciones múltiples era cinco veces más alta (Nordström et al., 1979). Aunque otros contaminantes (plomo, cadmio y dióxido de azufre) también estaban presentes, es difícil determinar el papel del arsénico en la etiología de estos padecimientos. Algunos de los padecimientos directamente relacionados con este tipo de efectos son: bajo peso del recién nacido, abortos, problemas sobre la reproducción.

3.6.10 Efectos carcinogénicos

En los humanos, la ingesta crónica de arsénico puede provocar cánceres de hígado, piel, pulmón, próstata, riñón, y o vejiga (ATSDR, 2007). Se ha asociado a la inhalación crónica de compuestos de arsénico con el cáncer de pulmón y el angiosarcoma, una forma poco común de cáncer de hígado (Falk et al., 1981).

3.6.11 Susceptibilidad de los niños a los compuestos arsenicales

Este apartado discute los potenciales efectos a la salud por exposiciones de arsénico en el periodo de concepción hasta la madurez (18 años) en humanos, cuando todos los sistemas biológicos encuentran su desarrollo. Los niños no son pequeños adultos, por lo que la susceptibilidad a los tóxicos es diferente y depende del químico (Adinolfi, 1985; Miller et al., 2002; NCR, 1993).

Los niños pueden ser más o menos propensos en comparación con los adultos en lo que respecta a efectos en la salud por exposición algún químico, y esta susceptibilidad cambia con la edad de desarrollo (NCR, 1993). A menudo, la vulnerabilidad depende del curso del proceso de un nuevo individuo, existen periodos críticos en el desarrollo estructural y funcional principalmente en etapas prenatales y postnatal. El daño no puede ser obvio hasta el final del desarrollo. Lo que marca claramente diferencias en la farmacocinética y metabolismo entre niños y adultos. Por ejemplo, la absorción puede ser diferente en los recién nacidos debido a la inmadurez de su tracto gastrointestinal y su área de superficie, y sobre todo por su peso (Morselli et al., 1980; NCR, 1993). Los infantes tienen mayor proporción de cuerpos extracelulares como el agua y sus cerebros e hígados son de mayor proporción (Altman and Dittmer, 1974). Los infantes también tienen barreras inmaduras en sangre y cerebro (Adinolfi, 1985; Johanson, 1980) y probablemente en testículos (Setchell and Waites, 1972).

Además los niveles enzimáticos en adultos son diferentes en concentración en comparación con los infantes, incluso algunas enzimas están presentes solo en la etapa infantil (Komori et al., 1990; Leeder and Kearns, 1997; NCR, 1993; Vieira et al., 1996). Conjuntamente ciertos metabolitos resultantes de la destoxicación pueden volver más vulnerables a los infantes, esto depende del tipo de enzimas

presentes. Junto a esto se debe considerar la excreción relacionada a las cuestiones glomerulares y hepáticas (Altman and Dittmer, 1974; NCR, 1993).

Es conocido que los infantes expuestos a arsénico presentan los mismos síntomas y enfermedades que los adultos: problemas respiratorios, cardiovasculares, dérmicos, neurológicos náuseas y vómitos (Borgoño et al., 1980; Foy et al., 1992; Kersjes et al., 1987; Muzi et al., 2001; Rosenberg, 1974; Zaldívar and Guillier, 1977). También se ha encontrado el posible engrosamiento de las paredes arteriales del páncreas tal como el caso ocurrido en Chile en donde niños de 5 años que murieron después de una exposición crónica arsénico presentando esta afección (Rosenman, 2007).

En Tailandia también se han descrito efectos sistémicos en niños expuestos a una mina de tungsteno en operación, en dicho lugar se midieron concentraciones de arsénico en 35 muestras de agua superficial las cuales exhibieron concentraciones promedio de 0.82 mg/L, en un rango de 0.02 mg/L- 2.7 mg/L. El agua entubada que abastecía los hogares mostró concentraciones de arsénico de 0.07 mg/L (Foy et al., 1992; Rosenberg, 1974). Otros estudios realizados en el mismo lugar durante el otoño de 1987 dirigidos a afecciones en la piel en infantes expuestos demostró la presencia de hiperqueratosis y de hiperpigmentación en las extremidades: tibia, palmas y plantas. Solo un niño presentó debilidad, anorexia y tos crónica; además de que presentó un bajo aprendizaje en la escuela. El infante presentó hígado inflamado. Los niveles de arsénico en la sangre variaron desde 0.087 g/ml hasta 0.46 g/ml y el nivel de arsénico en el cabello osciló desde 14 mg/kg hasta 20 mg/Kg. Los autores concluyeron que el hallazgo de las manifestaciones cutáneas típicas de envenenamiento crónico por arsénico sugiere que puede tomar un período mucho más corto de tiempo para desarrollar estas manifestaciones. Sin embargo, no se sabe qué efecto de coexposición al estaño y tungsteno podría haber tenido en las manifestaciones cutáneas en estos niños.

La exposición a altos niveles de arsénico durante la gestación y/o durante la primera infancia también se asoció con un aumento significativo en los estándares de mortalidad estandarizada SMRs (por sus siglas en inglés) para el cáncer de pulmón y bronquiectasias en la edad adulta en un estudio realizado a los habitantes de una ciudad de Chile con altos niveles de arsénico en el agua potable (cerca de 0.9 mg/L) durante varios años (Smith et al., 2006).

Finalmente el arsénico inorgánico se ha caracterizado como un tóxico del desarrollo, se sabe que cruza la barrera placentaria y se acumulan selectivamente en el neuroepitelio de embriones animales en desarrollo (Hanlon and Ferm, 1977).

Los estudios en animales también han revelado que varias malformaciones fetales ocurren después de la exposición al arsénico embrionario in vitro; defectos del tubo neural son la malformación predominante y coherente en estos estudios (Chaineau et al., 1990; Mirkes and Cornel, 1992; Morrissey and Mottet, 1983; Mottet and Ferm, 1983; Tabacova et al., 1996; Willhite and Ferm, 1984; Wlodarczyk et al., 1996).

Estudios in vivo han demostrado que las dosis altas de arsénico ingerido pueden producir efectos sobre el desarrollo (mortalidad fetal, defectos esqueléticos), pero por lo general sólo a dosis tóxicas para la madre (Baxley et al., 1981; Holson et al., 2000; Hood, 1998; Hood and Harrison, 1982; Nemec et al., 1998; Stump et al., 1999). Una serie de estudios mostró una mayor incidencia de tumores en las crías de ratones expuestos al arsénico a partir del día 8 de gestación hasta el día 18 (Waalkes et al., 2006, 2004; Walker et al., 2009).

Es así como en el contexto de exposición de arsénico a niveles peligrosos se refiere la problemática de la misma deriva en la presencia de diversas enfermedades sistémicas en todas aquellas poblaciones expuestas, situación por la cual el biomonitoreo de cabello como tejido diana es de vital importancia en el diagnóstico temprano y preventivo de esta problemática.

Capítulo 4. Problemática y área de estudio

En el municipio de Matehuala, en el estado de San Luis Potosí, México, se ha reportado contaminación de arsénico en agua entre 4.7 y 158 mg/L. A la fecha se sabe que dicha contaminación deriva de ciclos de disolución y precipitación de arseniatos de calcio (Castillo et al., 2014; Martínez-Villegas et al., 2013), procesos que toman lugar en un acuífero somero que comprende una surgencia de agua conocida como Club de Tiro y un complejo hidráulico artesanal compuesto de varias lumbreras, un canal y una laguna. Originalmente, la disolución de arseniatos de calcio ocurrió, y sigue ocurriendo, en los terrenos de una fundición abandonada dentro de la ciudad de Matehuala donde se libera As(V) al agua, que es transportado por la misma hacia el Club de Tiro y emerge posteriormente en el complejo hidráulico hasta llegar a la laguna de la comunidad de Cerrito Blanco, 6 km al este de la ciudad de Matehuala (Figura 6) (Martínez-Villegas et al., 2013). En lo que se refiere a la magnitud de la contaminación, se ha sugerido que el acuífero somero de Matehuala es el más contaminado del mundo a pH neutro (Martínez-Villegas et al., 2013). Las concentraciones de arsénico en agua exceden casi 400 veces el límite de arsénico en descargas de agua residuales (0.4 mg/L) (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 1996) y más de 6000 veces el límite máximo permisible de agua en consumo humano (0.025 mg/L) (Secretaría de Salud, 2000). Dado que la población del lugar tiene libre acceso a esta agua puede considerarse entonces como expuesta al contaminante. No obstante, no bebe el agua contaminada, por lo que, en términos de riesgo, la ingesta de arsénico vía oral podría considerarse nula.

4.1 Hipótesis

De lo anterior, la hipótesis de este trabajo es:

La población expuesta a arsénico acuoso derivado de la disolución de residuos de arseniatos de calcio en la ciudad de Matehuala no presenta acumulación de arsénico debido a que no bebe el agua contaminada.

Por otro lado, también debe considerarse que la población sí utiliza esta agua para, eventualmente, irrigar cultivos de subsistencia de temporal en parcelas aledañas al canal y/o laguna, trabajadas por las mismas familias, quienes, durante periodos de secas, riegan sus cultivos con esta agua a través de canales excavados en las parcelas que conducen el agua hacia las plantas de cultivo y/o sistemas de bombeo eléctrico (De La Garza-Varela, 2015; Ruíz-Huerta et al., In preparation). Derivado de esta práctica, los suelos de cultivo presentan actualmente una acumulación de arsénico con concentraciones de arsénico que varían entre 6 y 172 mg/kg (De La Garza-Varela, 2015; Ruíz-Huerta et al., In preparation).

Dichas concentraciones exceden hasta 6 veces los valores de fondo en la región (4-35 mg/kg) (Chiprés et al., 2009) y, en algunos casos, la guía Mexicana de 22 mg/kg para suelos que se utilizan para la agricultura (NOM-147-SEMARNAT-SSA1-2004, 2004).

Estudios llevados a cabo en cultivos de maíz en la zona demuestran la absorción de arsénico por parte de las plantas, en las que se han encontrado hasta 217 mg/kg de arsénico en raíces, 28.43 mg/kg de arsénico en tallo y 13.36 mg/kg de arsénico en hojas (Ruíz-Huerta et al., In preparation). Adicionalmente, se ha observado que la población lleva a sus rebaños de cabras y ganado a beber agua al canal y/o a la laguna. Tanto la irrigación de suelos como la hidratación de ganado con agua contaminada con arsénico, representan vías de ingesta de arsénico con potencial para incrementar la acumulación de arsénico en las poblaciones expuestas, no obstante, no existen, a la fecha, reportes del impacto del arsénico en las poblaciones de la región expuestas a esta problemática. Adicionalmente, la vía dérmica representa también un riesgo de exposición alta en la región para los agricultores que usan agua y/o suelo contaminado, los pastores que usan bebederos contaminados, y los habitantes que visitan y entran en contacto directo con los lugares contaminados, como la laguna y/o el Club de Tiro, entre otros. Así, con la finalidad de determinar si el arsénico está llegando a la población en la región y diagnosticar si, en su caso, está expuesta a niveles peligrosos de arsénico, en este trabajo se plantearon los siguientes objetivos:

4.2 Objetivos

Determinar la concentración de arsénico en cabello en poblaciones expuestas a arsénico en la ciudad de Matehuala, Cerrito Blanco, Encarnación de Arriba y Encarnación de Abajo y diagnosticar, en su caso, acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR.

4.3 Objetivos específicos

- Determinar la concentración de arsénico en cabello de poblaciones expuestas.
- Determinar la concentración de arsénico acuoso en aprovechamientos hídricos potenciales en poblaciones expuestas.
- Georreferenciar las concentraciones de arsénico en aprovechamientos hídricos potenciales y poblaciones expuestas.
- Determinar la concentración de arsénico en agua de consumo humano de los individuos muestreados y evaluar su relación con la acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR

- Determinar la concentración de arsénico en agua utilizada en la preparación de alimentos de los individuos muestreados y evaluar su relación con la acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR.
- Determinar el número de individuos muestreados que practican agricultura y evaluar su relación con la acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR.
- Determinar el número de individuos muestreados que practican ganadería y evaluar su relación con la acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR.
- Establecer, si es que existe una relación entre hábitos de visitas a lugares contaminados y acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR
- Determinar la concentración de arsénico en agua de aseo personal y evaluar su relación con la acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR.
- Determinar la concentración de arsénico en agua utilizada para lavar loza y evaluar su relación con la acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR.

Dichos objetivos se alcanzaron determinando concentraciones de arsénico en la población al mismo tiempo que se recolectaron datos sobre edad, género, tiempo de residencia, práctica de la agricultura, ganadería, usos y origen del agua de beber y de consumo para actividades del hogar, aseo personal, agricultura y ganadería así como presencia de enfermedades relacionadas con el arsénico. Lo anterior con la finalidad de elucidar, en la medida de lo posible, posibles vías ingestión, inhalación y dérmicas que pudieran explicar resultados de acumulación de arsénico en cabello de las poblaciones expuestas a arsénico acuoso derivado de la disolución de residuos de arseniatos de calcio en la ciudad de Matehuala.

4.4 Justificación

Por décadas, la formación de arseniatos de calcio se ha utilizado como una técnica de estabilización de arsénico en procesos industriales y metalúrgicos y se considera, equivocadamente, que dichos arseniatos son relativa y/o prácticamente insolubles (Bothe and Brown, 1999; McNeill and Edwards, 1997). En este trabajo evidenciaremos por primera vez que una población expuesta a agua contaminada por disolución de arseniatos de calcio presenta acumulación de arsénico en cabello.

Nuestros resultados destacan la importancia de reevaluar la disposición de arsénico a través de la formación de arseniatos de calcio, especialmente en ambientes calcáreos, como el de este estudio, donde el mecanismo comúnmente reportado de adsorción de arsénico en oxihidróxidos de hierro (III) no es dominante. La elucidación del impacto del arsénico en la población de Matehuala proveerá datos duros para urgir a las autoridades a desarrollar acciones que permitan operaciones para la remediación ambiental. De igual forma, fomentar programas de alerta y uso limitado del agua contaminada con arsénico en actividades del hogar, agrícolas, ganaderas y recreativas que afectan negativamente el bienestar de la comunidad, donde, el desconocimiento y la pobreza exacerbaban la exposición a arsénico a través del uso inadvertido del agua contaminada.

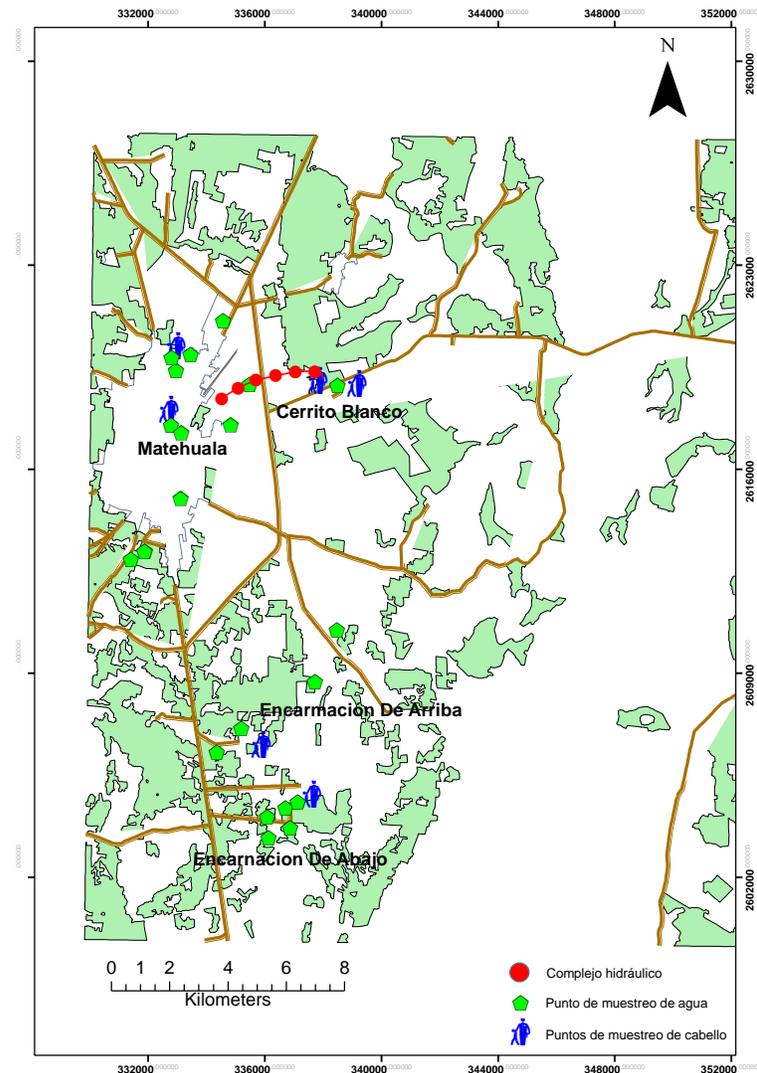


Figura 6. Mapa de la zona de estudio mostrando la ciudad de Matehuala y las comunidades de Cerrito Blanco, Encarnación de Arriba y Encarnación de Abajo, así como los puntos de muestreo de agua de aprovechamientos hidricos potenciales y cabello.

4.5 Descripción geográfica del estado de San Luis Potosí

El estado de San Luis Potosí se localiza en la parte centro oriental de la República Mexicana, entre los paralelos 21°09'35" y 24°33'09" de latitud norte y los meridianos 98°19'52" y 102° 17'51" de longitud al oeste de Greenwich. Limita al norte con los estados de Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas y Zacatecas; al oriente con Veracruz de Ignacio de la Llave; al sur con Hidalgo, Querétaro y Guanajuato y al poniente con Zacatecas y Jalisco (SGM, 2011). La superficie de la entidad de San Luis Potosí es de 62,304.74 km², que representa el 3.11% del total de la extensión del país (SGM, 2011).

El clima que predomina en todo el Altiplano y gran parte de la Sierra Madre Oriental, ocupa el 73.84% de la superficie de la entidad, es de tipo seco, con una temperatura media anual entre 16° y 18°C y una precipitación media anual de 410 a 500 mm, con lluvias principalmente en verano y muy escasas en el resto del año (SGM, 2011).

El estado de San Luis Potosí tiene, en la mayor parte de su territorio, poca vegetación debido al predominio de climas de tipo seco caracterizados por una escasa precipitación pluvial. En toda la parte norte, noroccidental y central está bien representada la vegetación del tipo matorral con un 64% del territorio (SGM, 2011).

Una pequeña porción, en el extremo sureste del estado, queda comprendida dentro de la subprovincia de Llanuras y Lomeríos, caracterizados por un paisaje monótono con predominio de llanuras planas. En las partes altas del altiplano y de la Sierra Madre Oriental, se presentan bosques de pinos, de encinos o de ambos. En la región de La Huasteca, caracterizada por recibir abundantes lluvias, predomina la selva baja caducifolia. En algunas áreas restringidas del altiplano se presentan pastizales naturales, combinados con matorrales desérticos y cactáceos en La Huasteca se presentan pastizales cultivados (SGM, 2011).

La hidrología del estado se nutre de una precipitación pluvial que varía desde unos 410 a más de 2,000 mm anuales, con la principal época de lluvias en verano y otra de menor importancia en invierno, que generan corrientes intermitentes en la mayor parte de la entidad y corrientes perennes en la región oriental y suroriental (SGM, 2011).

4.6 Regiones mineras en San Luis Potosí

Existe un gran potencial de minerales metálicos en el estado de San Luis Potosí como oro, plata, cobre, plomo, zinc, manganeso, estaño, hierro, mercurio y antimonio así como minerales no metálicos como fluorita, fosforita, yeso, azufre, arcillas alumínicas, ónix, mármol, boratos, barita, travertino, dolomita, sal, calizas, canteras y materiales pétreos, por lo que regionalmente se han enmarcado 14 regiones mineras, mismas que se han agrupado de acuerdo al tipo de mineralización, así como sus distritos y zonas mineralizadas más importantes. (Región San Luis Potosí, Región Sierra Catorce, Región Charcas, Región Guadalupe, Región Salinas de Hidalgo, Región Gaxcamá, Región Villa de Ramos, Región Santo Domingo, Región Tamanzuchale-Xilitla, Región Ahualulco, Región Villa Hidalgo, Región Venegas, Región Ciudad Valles, Región Zaragoza) (SGM, 2011).

4.7 Descripción geográfica de Matehuala, Encarnación de Arriba, Encarnación de Abajo y Cerrito Blanco

El municipio de Matehuala se encuentra localizado en la parte norte del estado, en la zona altiplano, la cabecera municipal tiene las siguientes coordenadas: Entre los paralelos 23° 12' y 23° 51' de latitud norte; los meridianos 100° 26' y 100° 47' de longitud oeste; altitud entre 1 300 y 2 500 m. Sus límites son: al norte Cedral, al este Nuevo León, al Sur Villa de Guadalupe, al oeste Villa de Guadalupe y Villa de la Paz.

La superficie total del municipio es de 1,286.66 km² y representa el 2.13% del territorio estatal. Se presentan planicies de consideración, al este se localizan cerros en los que su altura oscila entre los 1,850 y 1,200 metros sobre el nivel del mar. El único recurso hídrico es la explotación de mantos acuíferos subterráneos, que puede ser aprovechado para ampliar parcelas de riego. El agua es altamente salina, con bajo contenido de sodio. Dentro de esta región se han detectado suelos con horizontes calciéciferos, suelos carbonatados medianamente profundos, con horizonte superficial yesífero; suelos con yeso en los horizontes profundos y suelos cementados con carbonato a poca profundidad; el suelo se utiliza en la actividad pecuaria.

Predomina el clima seco semicálido. En la parte extrema noroeste, tiene una pequeña franja de clima seco templado. La temperatura media anual es de 19.3 °C y una precipitación pluvial de 450 mm. La vegetación se define en el área del municipio por las siguientes especies: matorral desértico, matorral espinoso, macrófilo, nopalera, izotal, cardonal y pastizal. La fauna se caracteriza por las especies dominantes como: liebres, víboras y aves silvestres, como cuitolas y codornices.

Las localidades que conforman el estudio son ciudad de Matehuala y las comunidades de Encarnación De Abajo, Encarnación De Arriba y Cerrito Blanco. El mayor número de habitantes se encuentra en la ciudad de Matehuala (SEGOB, 2015).

4.7.1.1 Matehuala.

De acuerdo con los datos reportados por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) en el Censo de Población y Vivienda 2010, la población total del municipio de Matehuala es de 91 522 habitantes y un total de 22 313 viviendas particulares. El total de la población Matehuala, se encuentra en un grado bajo y un grado medio de marginación (INEGI, 2015, 2000); (“México en Cifras,” 2015).

4.7.1.2 Encarnación de arriba

Tiene 70 habitantes de los cuales 38 son hombres y 32 mujeres. La población mayor de 18 años asciende a 50 individuos y cuenta con 16 viviendas para alojar a sus habitantes (INEGI, 2015). Esta comunidad también es conocida como Sarabia.

4.7.1.3 Encarnación de abajo

La población total de Encarnación de Abajo es de 186 personas, de cuales 91 son hombres y 95 mujeres. De las 186 personas, 123 son mayores de 18 años. Encarnación de Abajo cuenta con 43 hogares (INEGI, 2015).

4.7.1.4 Cerrito Blanco

La población de Cerrito Blanco cuenta con 200 habitantes, de los cuales 95 son mujeres y 105 hombres. Cuenta con un total de 45 viviendas (INEGI, 2015).

4.8. Geología del área de estudio

Las rocas estratificadas de Matehuala consisten de calizas azules, lutitas y calizas lutíticas del jurásico y del cretácico. La topografía está regida por el rumbo en general de los sedimentos y su erosión diferencial. La región se caracteriza por cadenas montañosas alargadas de norte a sur formadas por calizas y valles paralelos constituidos por las lutitas y las calizas lutíticas (García-Gutiérrez, 1967).

4.8.1 Rocas intrusivas

Todas las rocas intrusivas pertenecen a una misma intrusión que corresponde a una cuarzomonzonita. Sin embargo la segregación magmática ha producido rocas que van desde diorita hasta granito. Las condiciones variables existentes durante el enfriamiento dieron lugar a texturas desde graníticas hasta porfiríticas. Bajo

condiciones normales de cristalización probablemente las primeras porciones del magma fueron dioríticas. La composición del fluido remanente fue cambiando hasta que la mayor parte se cristalizó como cuarzomonzonita. Las principales porciones de la intrusión son graníticas en textura, mientras que sus bordes, diques y diqueestratos son de grano fino y porfiríticos. La cuarzomonzonita fue emplazada probablemente durante el Mesozoico Superior o el Terciario inferior (García-Gutiérrez, 1967).

4.8.2 Rocas metamórficas

El metamorfismo está representado en la parte occidental de la gran falla siendo sus diferentes clases y grados ampliamente descritos por Spurr, Garrey y Ferner en 1912. Ellos mencionan que el hecho de que el metamorfismo por adición y aún por reemplazamiento total ocurre cerca del intrusivo y lejos de éste predomina el metamorfismo por regeneración. En el lado oriental de la falla también se encuentra algo de metamorfismo, como se evidencia por la presencia de granates y wollastonita en partes de los sedimentos intrusionados (García-Gutiérrez, 1967).

Las áreas de los silicatos calcáreos ocurren en el lado este de la Gran Falla pero no están tan bien desarrollados como los del bloque oriental. Los ferromagnesianos de la cuarzomonzonita en algunos lugares han sido alterados por la clorita en donde el intrusivo ha sido cortado por vetas de fisura (García-Gutiérrez, 1967).

4.8.3 Diques Basálticos

Los diques básicos mencionados abajo en estructuras, están constituidos por basalto de olivino fresco.

Aun cuando los diques basálticos son claramente posteriores a la mineralización, muestran alguna alteración por soluciones tardías, las que depositaron calcita a lo largo de venillas y como cristales diseminados (García-Gutiérrez, 1967).

4.8.4 Aluviones

Las rocas sedimentarias están cubiertas por una capa de conglomerado cementado por carbonato de calcio. Los guijarros están constituidos por cuarzomonzonita, caliza, lutita y todas las rocas más o menos metamórficas del área. El espesor de esta capa es variable delgada en la base de la sierra del fraile volviéndose más gruesa hacia el valle de Matehuala. Este conglomerado es llamado almendrilla (guijarros en forma de almendra) y se intemperiza a un suelo alto en calcio (García-Gutiérrez, 1967).

Capítulo 5. Metodología

5.1 Muestreo y análisis de arsénico en cabello

Para poder realizar la determinación de arsénico en cabello se efectuó un muestreo del mismo a 80 individuos de las siguientes poblaciones: Matehuala, Encarnación de Arriba, Encarnación de Abajo y Cerrito Blanco. Dentro de la ciudad de Matehuala se recolectaron muestras de cabello en casas habitación cercanas al Club de Tiro, donde se reporta una contaminación extremadamente alta (hasta 158 mg/L) de arsénico en agua (Martínez-Villegas et al., 2013) y al norte de la ciudad de Matehuala, donde la concentración de arsénico en agua es considerablemente menor (0.020 mg/L). En la comunidad de Encarnación de Arriba se recolectaron muestras al azar en diferentes casas habitación de toda la población. En la comunidad de Encarnación de Abajo también se recolectaron muestras al azar en diferentes casas habitación de toda la población. En la comunidad de Cerrito Blanco se recolectaron muestras al azar en diferentes casas habitación de toda la población y con cercanía a la Laguna Cerrito Blanco además de muestras en una casa habitación que se encuentra sobre el complejo hidráulico Matehuala-Cerrito Blanco a una distancia de 600 m de la laguna. De los 80 individuos sometidos al estudio, sólo 77 donaron muestra de cabello, los 3 restantes no accedieron a la toma de la muestra de cabello. En la Tabla 3 se presenta el número de muestra con su respectivo número de identificación, lugar y coordenadas geográficas.

Para la toma de muestras de cabello se utilizó una técnica comúnmente reportada en estudios similares (Armienta et al., 1997; Hinwood et al., 2003; Yáñez et al., 2005). Utilizando tijeras de acero inoxidable se cortó un mechón de cabello a una distancia aproximada de 1 cm detrás de la nuca, intentando obtener cerca de 1 gramo de cabello (Figura 7A). Las muestras de cabello fueron almacenadas y etiquetadas individualmente en bolsas de polietileno (Figura 7B) hasta su análisis en el Laboratorio de Hidrogeoquímica de la División de Geociencias Aplicadas del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. Las bolsas etiquetadas permitieron almacenar, conservar, transportar, separar e identificar apropiadamente las muestras. Cuatro de las muestras recolectadas, las correspondientes al número de muestra 2, 6, 17 y 27, contenían tintes que podrían incrementar las concentraciones de arsénico en cabello (Aldroobi et al., 2013) por lo que sus resultados deberán interpretarse con cuidado.

Tabla 3. Relación de muestras de cabello.

Número de Muestra	Número de identificación	Sitio de muestreo	Coordenada X	Coordenada Y	W cabello recolectado (g)	W cabello digerido (g)	V ácido nítrico (ml)	V ácido perclórico (ml)	V aforo (ml)	Familia	Muestra de agua para beber	Muestra de agua de uso doméstico
1*	20140707-1350	C. Blanco	338726	2618570	SM	SM	SM	SM	SM	1	Sí	Sí
2	20140707-1435	C. Blanco	338692	2618540	0.56	0.2	1	3	10	2	Sí	Sí
3	20140707-1438	C. Blanco	338692	2618540	0.54	0.5	1	6	25		Sí	Sí
4	20140707-1443	C. Blanco	338692	2618540	2.40	0.5	1	6	25		Sí	Sí
5	20140707-1448	C. Blanco	338692	2618540	0.69	0.2	1	3	10		Sí	Sí
6	20140707-1520	C. Blanco	338711	2618570	0.89	0.5	1	6	25	3	Sí	Sí
7	20140707-1522	C. Blanco	338711	2618690	0.75	0.5	1	6	25		Sí	Sí
8	20140707-1526	C. Blanco	338711	2618690	0.90	0.5	1	6	25		Sí	Sí
9	20140707-1527	C. Blanco	338711	2618690	0.43	0.2	1	3	10		Sí	Sí
10*	20140707-1553	C. Blanco	338729	2618730	SM	SM	SM	SM	SM	4	Sí	Sí
11	20140707-1800	Canal	337896	2619070	2.50	0.5	1	6	25	5	No	Sí
12	20140707-1803	Canal	337896	2619070	1.15	0.5	1	6	25		No	Sí
13	20140707-1908	ZNM	332809	2619840	0.42	0.5	1	6	25	6	Sí	Sí
14	20140707-1935	ZNM	333193	2619900	0.97	0.5	1	6	25	7	Sí	Sí
15	20140707-1940	ZNM	333193	2619900	0.38	0.2	1	3	10		Sí	Sí
16	20140707-1955	ZNM	333193	2619900	1.02	0.5	1	6	25		Sí	Sí
17	20140707-1950	ZNM	333193	2619900	1.27	0.5	1	6	25		Sí	Sí
18	20140708-1140	E. Abajo	337128	2604710	0.82	0.5	1	6	25	8	Sí	Sí
19	20140708-1150	E. Abajo	337128	2604710	0.81	0.5	1	6	25		Sí	Sí
20	20140708-1155	E. Abajo	337128	2604710	1.04	0.5	1	6	25		Sí	Sí
21	20140708-1200	E. Abajo	337128	2604710	0.45	0.2	1	3	10		Sí	Sí
22	20140708-1226	E. Abajo	337033	2604790	0.53	0.5	1	6	25	9	Sí	Sí

23	20140708-1230	E. Abajo	337033	2604790	0.78	0.5	1	6	25		Sí	Sí
24	20140708-1237	E. Abajo	337033	2604790	1.40	0.5	1	6	25		Sí	Sí
25	20140708-1240	E. Abajo	337033	2604790	0.87	0.5	1	6	25		Sí	Sí
Blanco	300720141330B	Laboratorio	Laboratorio	Laboratorio	Laboratorio	0.00	1	6	25	NA	Sí	Sí
26	20140708-1257	E. Abajo	337184	2604860	1.61	0.5	1	6	25	10	No	Sí
27	20140708-1300	E. Abajo	337033	2604790	1.80	0.5	1	6	25		No	Sí
28	20140708-1301	E. Abajo	337033	2604790	1.40	0.5	1	6	25		No	Sí
29	20140708-1406	E. Abajo	336220	2604130	2.41	0.5	1	6	25	11	Sí	Sí
30	20140708-1440	E. Arriba	335259	2606510	0.70	0.5	1	6	25	12	No	Sí
31	20140708-1510	E. Arriba	335268	2606400	1.47	0.5	1	6	25		No	Sí
32	20140708-1545	E. Arriba	335121	2606680	1.20	0.5	1	6	25	13	Sí	Sí
33	20140708-1530	E. Arriba	335267	2606640	1.18	0.5	1	6	25	14	Sí	Sí
34	20140708-1550	E. Arriba	335200	2606700	0.48	0.5	1	6	25	15	Sí	Sí
35	20140708-1625	E. Arriba	335244	2606760	0.10	Ins	Ins	Ins	Ins	16	Sí	Sí
36	20140708-1635	E. Arriba	335235	2606810	2.80	0.5	1	6	25	17	Sí	Sí
37	20140708-1648	E. Arriba	335235	2606810	0.14	Ins	Ins	Ins	Ins		Sí	Sí
38	20140708-1827	Club de tiro	332846	2617500	0.24	Ins	Ins	Ins	Ins	18	Sí	Sí
39	20140708-1824	Club de tiro	332846	2617500	0.45	0.2	1	3	10		Sí	Sí
40	20140708-1822	Club de tiro	332846	2617500	0.19	0.1	1	3	10		Sí	Sí
41	20140708-1826	Club de tiro	332846	2617500	0.14	0.5	1	6	25		Sí	Sí
42	20140709-1040 ^a	C. Blanco	338439	2618540	0.08	0.05	1	6	25	19	Sí	Sí
43	20140709-1040B	C. Blanco	338439	2618540	0.36	0.5	1	6	25		Sí	Sí
44	20140709-1041	C. Blanco	338439	2618540	0.72	0.1	1	3	10		Sí	Sí
45	20140709-1046	C. Blanco	338439	2618540	0.28	0.1	1	3	10		Sí	Sí
46	20140709-1056	C. Blanco	338439	2618540	0.26	0.2	1	3	10		Sí	Sí
47	20140709-1058	C. Blanco	338439	2618540	0.31	0.2	1	3	10		Sí	Sí
48	20140709-1105	C. Blanco	338439	2618540	0.21	Ins	Ins	Ins	Ins		Sí	Sí

49	20140709-1100	C. Blanco	338439	2618540	0.18	0.1	1	3	10		Sí	Sí
50	20140709-1137	C. Blanco	338421	2618490	0.41	0.2	1	3	10	20	Sí	Sí
Blanco	010820141230B	Laboratorio	Laboratorio	Laboratorio	0.00	0	1	6	25	NA	Sí	Sí
51	20140709-1157	C. Blanco	338425	2618490	0.36	0.2	1	3	10	21	Sí	Sí
52	20140709-1235	C. Blanco	338370	2618490	0.88	0.5	1	6	25	22	Sí	Sí
53	20140907-1238	C. Blanco	338370	2618490	0.21	0.1	1	3	10		Sí	Sí
54	20140709-1240	C. Blanco	338370	2618490	1.39	0.5	1	6	25		Sí	Sí
55	20140709-1242	C. Blanco	338370	2618490	0.31	0.1	1	3	10		Sí	Sí
56	20140709-1250	C. Blanco	338370	2618490	0.99	0.5	1	6	25	23	Sí	Sí
57	20140709-1255	C. Blanco	338370	2618490	1.32	0.5	1	6	25		Sí	Sí
58	20140709-1313	C. Blanco	338334	2618480	0.58	0.2	1	3	10	24	Sí	Sí
59	20140709-1319	C. Blanco	338334	2618480	0.26	Ins	Ins	Ins	Ins		Sí	Sí
60	20140709-1355	C. Blanco	338185	2618390	0.91	0.5	1	6	25	25	Sí	Sí
61	20140709-1400	C. Blanco	338364	2618660	0.53	0.2	1	3	10	26	Sí	Sí
62	20140709-1420	C. Blanco	338443	2618890	0.38	0.2	1	3	10	27	Sí	Sí
63	20140709-1440	C. Blanco	338563	2618760	0.72	0.5	1	6	25	28	Sí	Sí
64	20140709-1500	C. Blanco	338683	2618670	0.51	0.2	1	3	10	29	Sí	Sí
65	20140709-1505	C. Blanco	338689	12618700	0.73	0.5	1	6	25		Sí	Sí
66	20140709-1510	C. Blanco	338683	12618700	0.28	0.2	1	3	10		Sí	Sí
67	20140710-1050	Club de tiro	332599	2617840	0.21	Ins	Ins	Ins	Ins	30	Sí	Sí
68	20140710-1052	Club de tiro	332599	2617840	0.32	0.2	1	3	10		Sí	Sí
69	20140710-1054	Club de tiro	332599	2617840	0.05	0.2	1	3	10		Sí	Sí
70	20140710-1100	Club de tiro	332599	2617840	0.46	0.2	1	3	10		Sí	Sí
71	20140710-1105	Club de tiro	332599	2617840	0.22	Ins	Ins	Ins	Ins		Sí	Sí
72	20140710-1110	Club de tiro	332599	2617840	0.53	0.2	1	3	10		Sí	Sí
73	20140710-1148	Club de tiro	332882	2617530	0.22	0.2	1	3	10	31	Sí	Sí

74	20140710-1210	Club de tiro	332886	2617550	0.55	0.2	1	3	10	32	Sí	Sí
75*	20140710-1220	Club de tiro	332887	2617580	SM	Ins	Ins	Ins	Ins	33	Sí	Sí
76	20140710-1236	Club de tiro	332886	2617580	0.67	0.5	1	6	25	34	Sí	Sí
77	20140710-1254	Club de tiro	332890	2617610	0.22	0.2	1	3	10	35	Sí	Sí
78	20140710-1258	Club de tiro	332896	2617680	0.79	0.1	1	3	10		Sí	Sí
79	20140710-1318	Club de tiro	332901	2617750	0.25	0.5	1	6	25	36	Sí	Sí
80	20140710-1325	Club de tiro	332913	2617860	0.53	0.5	1	6	25	37	Sí	Si
Blanco	0808201400B	Laboratorio	Laboratorio	Laboratorio	0.00	0	1	6	25	NA	Sí	Sí

C. Blanco = Cerrito Blanco, E. Abajo= Encarnación De Abajo, E. Arriba= Encarnación De Arriba, ZNM: Zona Norte de Matehuala. *Individuos que decidieron no proporcionar muestra de cabello. El número de identificación corresponde a un número generado a partir del día, fecha, año y hora del momento de ser tomada la muestra. Ins = insuficiente SM= sin muestra. NA = Aplica.

Una vez en el laboratorio cada muestra de cabello fue lavada, previo registro de su peso (Tabla 3), con una solución de Extran® al 2%. Este proceso se realizó por medio de agitadores magnéticos de la marca Cimarec modelo C3 y placas de agitación marca Cornig en vasos de precipitados de la marca Pirex® en los que se colocó una muestra de cabello en un vaso de precipitado. Cada muestra fue sumergida en aproximadamente 80 ml de la solución de Extran® al 2% y agitada por 2 horas.

Concluido el tiempo de agitación, la muestra fue enjuagada con abundante agua desionizada para eliminar los remanentes de la solución de Extran®. Al terminar el enjuague las muestras fueron puestas a secar a 110°C por toda la noche en una estufa de la marca Felisa modelo FE 291.

Posterior al lavado y secado, se pesaron 0.5 g de cabello en una balanza analítica de la marca Sartorius modelo AX dentro de un matraz Erlenmeyer de 50 mL, para ser sometidos a digestión ácida abierta (Figura 7C). Para el desarrollo de este proceso se adicionaron 6 mL de ácido nítrico a cada matraz y se dejaron reposar a temperatura ambiente por 1h. Después, se les agregó 1 mL de ácido perclórico y se calentaron a 80 °C en una parrilla eléctrica de la marca Cimareq modelo C4 hasta la aparición de humos blancos y disminución del volumen a 4 mL aproximadamente (Armienta et al., 1997), proceso que tardó entre 4 y 5 horas.

El concentrado de cada una de las digestiones fue transferido a un matraz aforado de 25 mL previa filtración con embudo y papel WHATMAN #40 de 12.5 cm de diámetro. Durante el filtrado, cada filtro se enjuagó con un poco de ácido nítrico al 3% y cada matraz se aforó con agua desionizada hasta la marca (Armienta et al., 1997).

El contenido de cada matraz se transfirió a un bote de polietileno de 50 mL, previamente lavado con Extran®, ácido clorhídrico al 10%, agua desionizada y fue etiquetado (Figura 7D). Cada bote fue almacenado a 4°C hasta la determinación de arsénico. En los casos de escasez de muestra se realizaron ajustes de peso, volumen de ácido y aforo de acuerdo a la Tabla 3.

El total de las digestiones ácidas se realizó en 3 lotes con su respectivo blanco para el control de calidad del proceso.

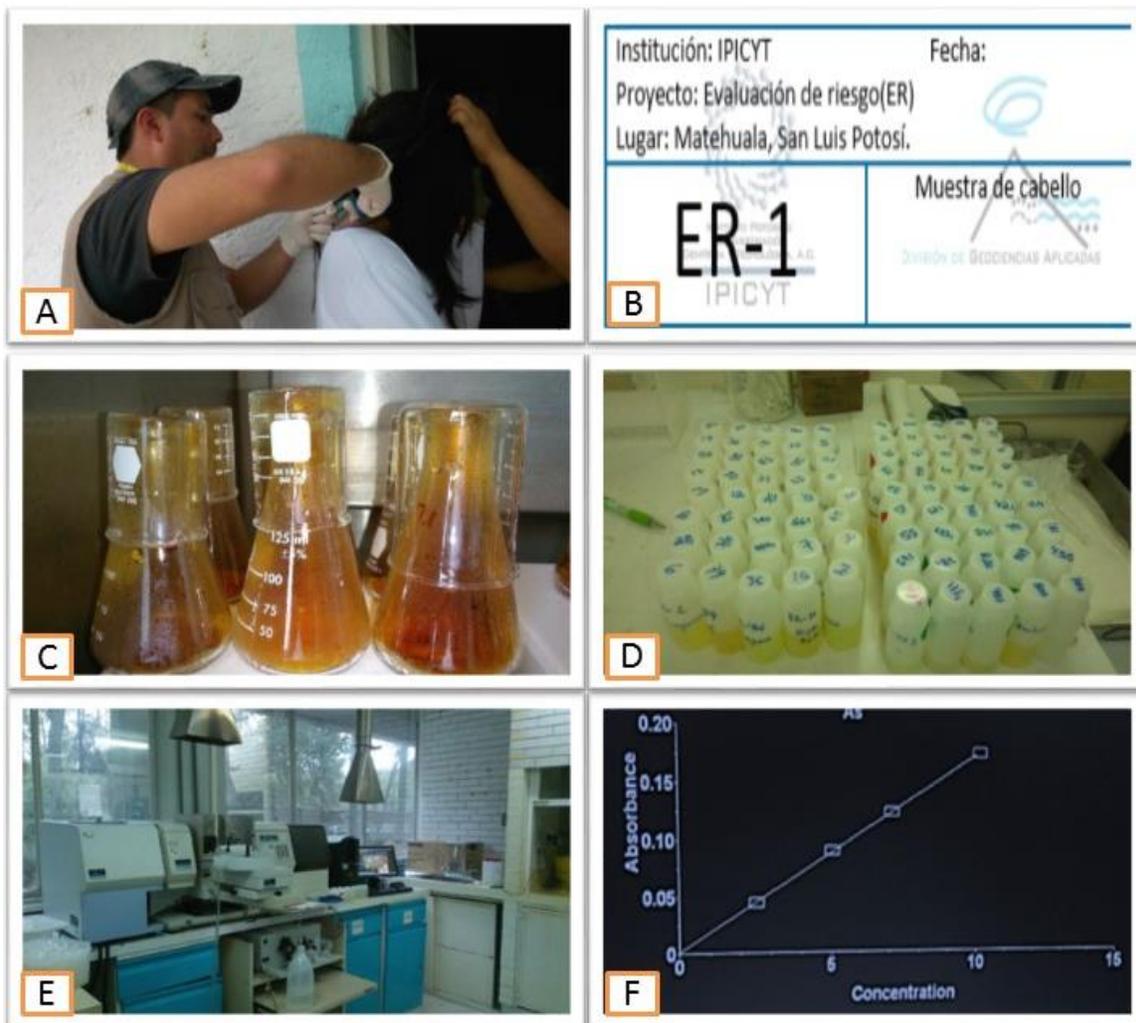


Figura 7. Ilustración de la metodología de muestreo y análisis de cabello utilizado en este estudio. A) Fotografía de la campaña de muestreo de cabello llevada a cabo del 7 al 10 de julio del 2014 en Matehuala, Cerrito Blanco, Encarnación de Arriba, Encarnación de Abajo, mostrando la recolección de muestras de cabello detrás de la nuca con tijeras de acero inoxidable y guantes. B) Imagen de las etiquetas que se utilizaron para la identificación y transportación de las muestras de cabello en bolsas de polietileno desde la zona de estudio hasta el Laboratorio de Hidrogeoquímica de la División de Geociencias Aplicadas. C) Proceso de digestión de muestras de cabello. D) Concentrado ácido obtenido del proceso de digestión con los digeridos de las muestras de cabello antes de su acondicionamiento con yoduro de potasio y ácido clorhídrico para la determinación de arsénico en FIAS. E) Equipo FIAS del laboratorio de química analítica del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México que se utilizó en las determinaciones de arsénico. F) Absorbancia contra concentración de arsénico de la curva de calibración utilizada para la determinación de arsénico en cabello (0- 10 mg/L).

La cuantificación de arsénico en cada digerido se realizó en el Laboratorio de Química Analítica, del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México por absorción atómica con generación de hidruros e inyección de flujo (FIAS). La metodología consiste en la generación de hidruros en el sistema (FIAS); aquí la muestra disuelta en ácido diluido se mezcla con un agente reductor como cloruro de estaño (SnCl_2) o borohidruro de sodio (NaBH_4). Esta reacción produce un H atómico que reacciona con el As y forma un hidruro volátil que se transporta por un sistema de inyección de flujo al sistema de absorción atómica donde la cantidad de luz que es absorbida por los átomos de este analito a la longitud de onda resonante nos permite cuantificar el arsénico en la muestra.

Los equipos utilizados para realizar la determinación fueron: FIAS Perkin Elmer 100 acoplado a un equipo de absorción atómica Perkin Elmer Analyst100 (Figura 7E).

Para realizar lo anterior se procedió a tomar de las digestiones 10 ml de muestra, la cual se transfirió a un matraz de 25 ml, al cual se le adicionó 2.5 ml de ácido clorhídrico, 1.25 ml de yoduro de potasio (con la finalidad de convertir el arsénico V formado en el proceso de digestión, en arsénico III y este posteriormente formar el hidruro correspondiente) se aforó a 25 ml con agua desionizada (Litter et al., 2009) y se realizó la determinación. Para algunos casos se tuvo que realizar un ajuste de volumen tanto para ácido clorhídrico como para yoduro de potasio debido a que existían cantidades menores a los 10 ml de concentrado de digestión mismas que fueron realizadas por los técnicos del laboratorio.

Antes de realizar cualquier lectura se corrió una curva de calibración de 0 a 10 ppm preparada con un estándar madre de marca comercial VHG LABS que contenía una concentración de 997 mg/L (Figura 7F). Durante el proceso de medición de las muestras se corrieron blancos después de cada 6 determinaciones. Al mismo tiempo que se midieron 3 estándares de diferentes concentraciones (1, 2, 5 ppm). Conjuntamente se verificaban las funciones integrales del equipo. El límite de detección del método fue de 0.001 mg/L. Los resultados de las determinaciones de arsénico en cabello se encuentran reportados en la sección de resultados.

Basados en el valor de arsénico en cabello para individuos no expuestos (<1 mg/kg) ("ATSDR - Toxicological Profile," 2014), todos aquellos que presentaron concentraciones <1 mg/Kg se clasificaron como individuos no expuestos a concentraciones peligrosas de arsénico mientras que aquellos individuos que presentaron concentraciones >1 mg/Kg se clasificaron como individuos expuestos a concentraciones peligrosas de arsénico. Como se mencionó anteriormente, durante el muestreo existieron individuos que no proporcionaron muestra y algunos otros cuya muestra fue insuficiente para realizar el análisis (Tabla 3), a este último grupo se le clasificó como no determinado.

Adicional a la toma de muestras de cabello, a cada individuo se le solicitó información sobre género, edad, tiempo de residencia en la zona de estudio y presencia de enfermedades que afectarían diversos sistemas como los mencionados en la Sección 3.6. Para sistemas renales se preguntó acerca de presencia de cáncer de riñón y cáncer de vejiga, para el sistema neurológico se les preguntó sobre dolores de cabeza, adormecimientos y neuropatía diabética. Para la vía dérmica se les preguntó sobre hiperqueratosis palmar-plantar, hiperpigmentación, dermatitis folicular, melanomas, epiteloma espinocelular y basocelular, cáncer de piel y líneas mees en las uñas. En el caso del sistema gastrointestinal se preguntó por síntomas como náuseas y vómitos. Para el sistema respiratorio se preguntó sobre afecciones como cáncer de pulmón y, finalmente, para las afecciones al sistema reproductor se preguntó por defectos congénitos y abortos.

Cabe mencionar que en algunos casos las personas no reconocían el nombre de las enfermedades, y al no ser identificadas a simple vista, como pudiera ser el caso de las dermatitis, se asumió que la persona no la padecía. No obstante, carecemos de diagnósticos médicos especializados al respecto por lo que los resultados sobre enfermedades deberán tomarse con reserva. Las preguntas que se les realizaron fueron las siguientes:

¿Ha presentado algún malestar de los siguientes?

	Si	No
Adormecimientos		
Dolores de cabeza		
Nauseas		
Vómitos		

¿Ha presentado alguna enfermedad de las siguientes?

Enfermedades	Si	No
Hiperqueratosis palmar		
Hiperqueratosis plantar		
Hiperpigmentación		
Dermatitis eccematosa		
Dermatitis folicular		
Otras dermatitis		
Uñas líneas mess		
Cáncer de piel		
Epitelioma vasocelular		
Melanoma		
Cáncer pulmonar		
Cáncer de vejiga		
Cáncer de riñón		
Cardiovascular		
Enfermedad arterial periférica		
Enfermedad cardiovascular		
Efectos sobre la reproducción		
Defectos congénitos		
Peso recién nacido		
Abortos		
Neuropatía periférica		
Diabetes		

En el Apéndice D se puede consultar el modelo de encuesta que se le realizó a cada individuo muestreado.

5.2 Muestreo de agua en aprovechamientos hídricos potenciales

Para la caracterización del contenido de arsénico y la calidad del agua en aprovechamientos hídricos a los que la población tiene acceso y por lo tanto se les denomina en este estudio aprovechamientos hídricos potenciales, se realizaron dos campañas de muestreo. El tipo de aprovechamiento, sitio y la localización de estos se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4. Relación de muestras de agua recolectadas en este estudio.

Número de aprovechamiento potencial	Tipo de aprovechamiento	Sitio de muestreo	Coordenadas X	Coordenadas Y	Número de registro	Número de identificación de muestra de agua recolectada durante la campaña de muestreo 1	Número de identificación de muestra de agua recolectada durante la campaña de muestreo 2
1	Pozo	E. Abajo	336080	2604075	MH64	201312061105	201403291006
2	Pozo	E. Abajo	336127	2603350	HGQ2	201312061219	201403291115
3	Noria	E. Abajo	336866	2603698	IG44	201312061400	201403291217
4	Noria	E. Abajo	336707	2604365	IG63	201312061536	201403291304
5	Noria	Santa Lucia	337124	2604573	IG46	201312061707	201404080959
6	Noria	E. Arriba	335190	2607112	IG61	201312070728	201403291435
7	Noria	Matehuala	335476	2618924	HGQ7	201312070826	201403291758
8	Humedal	Matehuala	334565	2621104	P57	201312071002	201403291814
9	Pozo	Matehuala	331407	2612900	P21	201312071227	
10	Pozo	Matehuala	331884	2613201	P22	201312071405	201404081945
11	Pozo	Matehuala	331880	2613177	P23	201312071507	
12	Noria	Matehuala	332952	2619382	HGQ12	201312071742	201404081445
13	Manantial	Matehuala	332784	2617528	HGQ13	201312071835	201404081702
14	Laguna	Cerrito Blanco	338489	2618869	HGQ14	201312101151	201403291607
15	Pozo	Matehuala	334827	2617535	MH5	201312101325	201404081628
16	Pozo	Matehuala	333139	2617255	MH7	201312101440	2014081210
17	Noria	Matehuala	332806	2619834	N107	201312101637	2014081400
18	Pozo	Matehuala	333452	2619945	HGQ18	201312101748	201404081326
19	Pozo	E. Arriba	334351	2606275	HGQ19	201312171152	201404081108
20	Pozo	E. Arriba	337718	2608721	HGQ20	201312171308	
21	Noria	Los Conos	338473	2610469	IG-76	201312171327	
22	Pozo	Matehuala	333115	2615006	HGQ22	201312171800	

El registro HGQ fue utilizado de manera propia durante el muestreo y no existe reportado por alguna institución.

Durante la primera campaña se muestrearon 22 aprovechamientos potenciales de agua de los que se recolectaron muestras de agua en botellas de polietileno de 500 ml para la determinación de aniones mayoritarios (SO_4^- , Cl^- , HCO_3^-) (y de 125 ml para la determinación de cationes mayoritarios (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^- y K^-) y arsénico (DOW, 2009a).

Todas las muestras fueron filtradas en campo con papel WHATMAN #40 12.5 cm \emptyset (DOW, 2009b). Los botes de 125 ml fueron lavados previamente en el laboratorio con Extran® al 2%, ácido clorhídrico al 10% y abundante agua desionizada (DOW, 2009a). Previo a la campaña de muestreo, todas las botellas fueron etiquetadas en el laboratorio con etiquetas que especificaban el número de muestra, el método de recolección, número de contenedor, el conservador utilizado, el sitio de muestreo, los parámetros a determinar en el laboratorio, el tipo de matriz y los muestreadores responsables de la recolección (Figura 8A) (DOW, 2009B). Las muestras para la determinación de cationes y arsénico fueron acidificadas con ácido nítrico concentrado a $\text{pH} < 2$ (Figura 8B) (DOW, 2009a).



Figura 8. Ilustración de la metodología de muestreo de agua de aprovechamientos hídricos potenciales y análisis de parámetros de campo. A) etiquetas utilizadas para la identificación de las muestras de agua. B) Recolección de muestra de agua para determinación de aniones en botella de polietileno. C) Materiales utilizados en los viajes de campo para la recolección de muestras de agua mostrando el proceso de filtración. D) Determinación de alcalinidad por titulación volumétrica.

Todas las muestras fueron recolectadas directamente de los aprovechamientos y se mantuvieron en refrigeración hasta su análisis en el Laboratorio de Hidrogeoquímica de la División de Geociencias Aplicadas del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. Su almacenamiento en ningún caso excedió los 5 días, ni los 4°C , garantizando con esto la calidad de las muestras colectadas. Durante el muestreo se aseguró la calidad con la implementación de 2 blancos de campo y 2 de viaje para la determinación de cationes y aniones., En el campo se determinaron la temperatura, el pH y la conductividad eléctrica, en cada aprovechamiento, con un equipo multiparamétrico de la marca YSI modelo 556 (Figura 8C) (DOW, 2009a). Adicionalmente, también se determinó la alcalinidad por titulación automática con un equipo de la marca HACH modelo AL_DT) (Figura 8D) (DOW, 2009a).

En el laboratorio, los cationes mayoritarios (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^- y K^-) y el arsénico fueron cuantificados por plasma de acoplamiento inductivo acoplado a un espectrofotómetro de emisión óptico (ICP-OES) marca Varian modelo 730 ES en el Laboratorio Nacional de Biotecnología Agrícola, Médica, y Ambiental (LANBAMA) del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A. C.

Los cloruros (Cl^-) fueron medidos por volumetría basados en el método normativo NMX-AA-073-SCFI-2001 (Secretaría de Economía, 2001a), sulfatos (SO_4^-) y nitratos (NO_3^-) fueron determinados por espectrofotometría en un equipo Spectronic 200 siguiendo la metodología NOM-AA-74-1981 (Secretaría de Economía, 2001b) para sulfatos y NMX-AA-079 (Secretaría de Economía, 2001c) para nitratos.

Para el análisis de los resultados, las muestras se agruparon por su lugar de procedencia, por ejemplo: Club de Tiro, Encarnación de Abajo, Encarnación de Arriba, Cerrito Blanco y zona norte de Matehuala. Posteriormente, se agruparon en agua no contaminada (<0.025 mg/L) de acuerdo a la norma oficial mexicana NOM-127-SSA-1994 (Secretaría de Salud, 2000), ligeramente contaminada (0.025 a 0.050 mg/L) aplicando la misma normatividad (Secretaría de Salud, 2000) y muy contaminada (>0.050 mg/L) de acuerdo al valor guía utilizado en algunos lugares con problemática de arsénico en agua como Bangladesh. Se contó la distribución de individuos expuestos, no expuestos y no determinados en relación aprovechamientos hídricos potenciales. Al mismo tiempo se construyeron gráficos de las concentraciones de arsénico en cabello contra las concentraciones de arsénico en agua de los aprovechamientos hídricos potenciales con la finalidad de encontrar alguna posible relación.

También, se ubicó la geoposición de los aprovechamientos muestreados para los cuales se determinaron las concentraciones de arsénico sobre cartas topográficas del Instituto Nacional de Estadística y Geográfica (INEGI) utilizando el software Argis 9.3®.

Durante la segunda campaña de muestreo, llevada a cabo en marzo de 2014, se recolectaron 17 muestras de agua de acuerdo a la Tabla 4 y se siguieron los mismos procedimientos que para el primer muestreo. Los resultados de los análisis de campo y laboratorio de las dos campañas de muestreo se presentan en el Apéndice A.

5.3 Muestreo de agua para beber

Con la finalidad de establecer las concentraciones de arsénico en el agua de beber que utilizan los individuos sometidos a este estudio y, en su caso, excluirla como fuente de arsénico en los individuos sometidos al estudio, se recolectaron muestras de agua de bebida.

En total se recolectaron 34 muestras en botes de polietileno de 125 ml previamente etiquetados (Figura 8B) y lavados con Extran al 2%, ácido clorhídrico al 10% y abundante agua desionizada (DOW, 2009a). Estas muestras fueron proporcionadas por los inquilinos de las viviendas visitadas durante la colecta de muestras de cabello a quienes se les preguntó:

¿De dónde proviene el agua que utiliza para beber?

- Del garrafón, canal/ laguna,
- Red pública,
- Noria,
- Tinaco público, o
- Acarreada de otros lugares.

Adicional a lo anterior se les preguntó también:

Aproximadamente, ¿cuántos litros consume al día?

- 0-4 L
- 4-8 L
- >8L

¿Cuánto años hace que se abastece de la red pública?

- 1 año
- 2 años
- 3 años
- 4 años
- 5 años
- 10 años
- >10 años

¿Cuántos años tiene instalada su tubería?

- 1 año
- 2 años
- 3 años
- 4 años
- 5 años
- 10 años
- >10 años

Para la recolección del agua de bebida a cada familia se le solicitó amablemente que proporcionaran una muestra del agua que utilizaban para beber en el bote de polietileno que se había preparado para la colecta. Cada muestra fue estabilizada con ácido nítrico y preservada a 4°C hasta el análisis de arsénico por ICP-OES en el LANBAMA. Para asegurar la calidad de las muestras tomadas, en aspectos como contaminación, colecta, y procedimientos de manejo, se utilizaron 2 blancos de campo y 2 blancos de viaje cuyos resultados fueron confiables al encontrar concentraciones de arsénico <0.001 mg/L. El número de muestras de agua de beber recolectadas corresponde al agua de consumo de 73 de los individuos muestreados de acuerdo a la Tabla 3, donde se observa que, en algunos casos, una sola muestra de agua para beber corresponde a varios individuos de una misma familia.

Con los datos recolectados se crearon gráficos para identificar de dónde provenía el agua utilizada para beber. Las concentraciones medidas de arsénico en agua estas muestras fueron categorizadas en gráficos con base a diferentes valores guía o normativos como la NOM-127-SSA.1994 (0.025 mg/L), la OMS (0.01mg/L) y la utilizada en países con altos grados de contaminación como Bangladesh (0.05 mg/L).

También se construyeron gráficos que indicaron la distribución de los individuos (Expuestos, No Expuestos, No determinados) respecto a las diferentes concentraciones normativas de arsénico en agua. Se graficaron concentraciones de arsénico en cabello contra arsénico en agua para beber buscando posibles relaciones entre ellos.

5.4 Recolección de información agropecuaria

Con la finalidad de indagar sobre un posible impacto de la agricultura, la ganadería y los productos derivados de los mismos en la exposición a arsénico se realizó una serie de preguntas que permitieran descartar o incluir estos procesos como fuentes de exposición de los individuos sometidos al estudio. Una consideración que fue tomada en cuenta sobre esta aportación es el posible uso de agua contaminada en el desarrollo las actividades agropecuarias. Durante la campaña de muestreo de cabello se le preguntó a cada uno de los individuos de estudio:

¿Tiene huerto o parcela?

- Si
- No

¿De dónde provenía el agua utilizada para esta actividad?

- Pozo
- Lluvia
- Canal/laguna,
- Noria
- Otro

¿Ha utilizado algún tipo de pesticida para su actividad?

- Si
- No

¿Cuál es el cultivo que produce?

- Maíz
- Frijol
- Avena forrajera
- Calabaza

¿Realiza actividades de crianza?

- Si
- No

¿Dónde provenía el agua empleada para esta actividad?

- Canal/laguna
- Pozo
- Lluvia
- otra fuente.
-

¿Ha utilizado algún producto químico para el control de plagas?

- Si
- No

Por otra parte se trató de identificar si los productos alimenticios derivados de la agricultura o ganadería estaban siendo consumidos por habitantes de la zona de estudio, para lo cual se preguntó:

¿De dónde provenían los alimentos que consumían?

- Propios
- Locales
- Regionales o
- Centro comercial

¿En qué porcentaje?

	Propios	Locales	Regionales	Centro Comercial
Maíz				
Leche				
Queso				
Carnes				
Huevo				
Verdura				
Tortilla				
Frutas				
Frijol				
Pescado				

Con los resultados obtenidos se construyeron histogramas del número de individuos que practicaban agricultura y/o ganadería indicando el origen del agua utilizada para cada una de las actividades. También se construyeron gráficos que indicaron como fue la distribución de los individuos expuestos, no expuestos y no determinados. Con la información de los productos alimenticios consumidos en la zona de estudios se construyeron gráficas que mostraban la localidad de origen de los alimentos consumidos y se observó cual era la tendencia de consumo, es decir si eran más de origen propio local, regional o comercial, o si era una mezcla de ambos.

5.5 Recolección de información de contacto con áreas de riesgo

Para identificar otros factores de riesgo debido a exposición por contacto con lugares contaminados, durante el muestreo se preguntó a cada individuo sobre visitas a sitios cuya contaminación por arsénico en agua ha sido documentada previamente. Las preguntas que se les hicieron fueron:

¿Con qué frecuencia visita El Lago, El Club de tiro/grasero, Hotel “Las Palmas”?

- Nunca
- Cada 8 días
- Cada 15 días
- Cada mes
- Cada 6 meses

¿Nada en la laguna?

- Nunca
- Una o dos veces por semana
- Cada mes
- Cada 6 meses
- Cada año

¿Ha utilizado material del grasero en la construcción de su casa o relleno de su patio?

- Si
- No

¿Cuántos camiones de carga?

- 1-2
- 2-4
- 4-8
- < 8

¿Ha notado cuál es la dirección del viento?

- Norte
- Sur
- Este
- Oeste

Los lugares incluidos como áreas de riesgo fueron el Club de Tiro, Laguna Cerrito Blanco, Hotel Las Palmas, los cuales funcionan como zonas de esparcimiento. Con la información obtenida se generaron gráficos que mostraron del total de los individuos sujetos al estudio cuantos tenían contacto con alguno de estos sitios y cuantos no. Además, se intentó relacionar la información obtenida de contacto con la distribución de individuos expuestos, no expuestos y no determinados para cada uno de los sitios mencionados.

5.6 Muestreo de agua de uso doméstico y agua para lavar loza.

Con la finalidad de establecer las concentraciones de arsénico en el agua utilizada para lavar la loza y para el aseo personal que utilizan los individuos sometidos a este estudio y, en su caso, excluir el agua de uso doméstico como fuente de arsénico en los mismos, se recolectaron muestras de agua de uso doméstico. El procedimiento de recolección para este apartado corresponde al mismo que para el agua de beber (ver Sección 5.3).

Adicional al muestreo y como parte complementaria a la investigación se recabó información del manejo, origen y uso de esta agua. A los individuos sometidos al estudio se les preguntó lo siguiente:

¿De dónde proviene el agua que utiliza para cocinar?

- Canal/laguna
- Red pública
- Noria
- Tinaco público
- Acarreada de otros lugares
- Embotellada
- Otro (especifique).

¿De dónde proviene el agua que utiliza para lavar los trastes (loza)?

- Canal/laguna
- Red pública
- Noria
- Tinaco público
- Acarreada de otros lugares
- Embotellada
- Otro (especifique).

¿De dónde proviene el agua que utiliza para aseo personal?

- Canal/laguna
- Red pública
- Noria
- Tinaco público
- Acarreada de otros lugares
- Embotellada

Adicional a lo anterior se les pregunto también:

¿Aproximadamente cuantos litros consume al día?

- 0-4 L
- 4-8 L
- >8 L

¿Cuántos años hace que se abastece de la red pública?

- 1 año
- 2 años
- 3 años
- 4 años
- 5 años
- 10 años
- >10 años

¿Antes de que existiera la red pública de dónde lo hacía?

- Red pública
- Noria
- Tinaco público
- Acarreada de otros lugares
- Embotellada
- Complejo hidráulico

¿Cuántos años tienen instalada su tubería?

- 1 año
- 2 años
- 3 años
- 4 años
- 5 años
- 10 años
- >10 años

Independiente del origen del agua que utilizaban para cocinar, lavar la loza (trastes) y/o aseo personal, en este estudio se recolectó una muestra de agua de la red pública, etiquetada como agua de uso doméstico, ya que la gran mayoría de ellos argumentó utilizar agua de la red pública para este tipo de usos.

Con los datos recolectados se crearon gráficos para identificar el lugar de origen del agua utilizada para uso doméstico, así como su posible relación con la exposición. Las concentraciones medidas en agua de uso doméstico fueron categorizadas en gráficos con base a diferentes guías como la NOM-127-SSA.1994 (0.025 mg/L), la OMS (0.01mg/L) y la utilizada en países con altos grados de contaminación como Bangladesh (0.05 mg/L).

También se construyeron gráficos que indicaron la distribución de los individuos (acumulación a niveles superiores o inferiores al valor guía del ATSDR) respecto a las diferentes concentraciones normativas de arsénico en agua. Al mismo tiempo se buscó establecer relaciones entre las concentraciones de arsénico en cabello con el agua utilizada para uso doméstico.

Capítulo 6. Resultados y discusiones

Resultados

6.1 Arsénico en cabello de poblaciones expuestas

En este estudio se utilizó cabello como biomarcador de exposición a arsénico debido a que ante dosis altas de arsénico, como las de podrían ocurrir en Matehuala, los procesos de eliminación del arsénico disminuyen en el cuerpo humano dando lugar a procesos de retención en tejidos blandos y ricos en queratina como lo es el cabello (Yip and Dart, 2001). La distribución de los datos mostró que el mayor porcentaje de individuos sujetos al estudio se encuentra muy cerca del promedio que es 0.6 mg/kg , el cual es similar al valor promedio de personas no expuestas sugerido por el ATSDR. La distribución no es normal, es decir los datos para la variable total se distribuyen asimétricamente, lo cual nos indica que nuestra muestra no está perfectamente distribuida.

La Figura 9 muestra las concentraciones de arsénico en cabello humano, la exposición, el género, las edades, el tiempo de residencia de los habitantes del área de estudio así como la presencia o ausencia de enfermedades.

Las concentraciones de arsénico en cabello humano variaron desde no detectables hasta 3.6 mg/Kg (Figura 9A). De los 80 individuos muestreados, 13 de ellos sobrepasaron el límite 1 mg/Kg, 55 individuos presentaron concentraciones de arsénico por debajo de 1 mg/Kg mientras que a 12 no se les realizó ninguna determinación debido a la insuficiencia de muestra de cabello o la falta de la misma (Figura 9A). Así, de acuerdo al límite establecido por ATSDR (ATSDR, 2007), de los 80 individuos muestreados se encontró que 13 de ellos presentaron acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR, 55 no presentan acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR y a 12 de ellos no se les determinó la concentración de arsénico en cabello (Figura 9B). La Tabla 5 muestra las concentraciones de arsénico medidas.

De los 80 individuos estudiados, 60 fueron del género femenino y 20 del género masculino (Figura 9C). Dentro del género femenino, 10 presentaron acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR, 44 no presentaron acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR y 6 no fueron determinadas. En lo que respecta al género masculino 3 presentaron acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR, 11 no presentaron

acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR y 6 no fueron determinados (Figura 9C). La colecta de muestras de cabello fue mayor en mujeres, correspondiente a un 77% del total de las muestras recolectadas, comparada con tan sólo un 23% de muestras de cabello de hombres. Debido a que la distribución poblacional de hombres y mujeres en área de estudio es cercana al 50% para cada género (ver sección 4.7) (INEGI, 2015, 2000); (“México en Cifras,” 2015). Una mayor colecta de muestras del género femenino podría deberse a que en la región se acostumbra a que las mujeres desempeñen el papel de amas de casa y los hombres salgan a trabajar fuera del hogar. Adicionalmente, cabe mencionar que este estudio se llevó cabo entre semana y en horario laboral (9:00 am a 5:00 pm), favoreciendo, de manera no intencionada, la toma de muestras de cabello de mujeres. No obstante, dentro de cada género, el porcentaje de individuos que presentaron acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR fue muy parecido, 16% dentro del género femenino y 15% dentro del género masculino, indicando que la exposición a niveles peligrosos fue independiente del género en este estudio.

La edad de los individuos sujetos al estudio varía desde 1 hasta 79 años, con 11 individuos entre 1 y 10 años, 15 individuos entre 11 y 20 años, 4 individuos entre 21 y 30 años, 16 individuos entre 31 y 40 años, 15 individuos entre 41 y 50 años, 8 individuos entre 51 y 60 años, 7 individuos entre 61 y 70 años y 4 individuos entre 71 y 80 años (Figura 9D).

La distribución poblacional de acuerdo a la edad en el área de estudio es de 62% para adultos y 38 % para menores de 18 años (ver sección 4.7) (INEGI, 2015, 2000; “México en Cifras,” 2015).

Adicionalmente, se encontró acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR tanto en niños, como en jóvenes y adultos (Figura 9D). De los 13 individuos expuestos, 3 tenían entre 1 y 10 años, 1 entre 11 y 20 años, 4 entre 31 y 40 años, 3 entre 41 y 50 años, 1 entre 51 y 60 años y 1 entre 61 y 70 años (Figura 9D). Por lo anterior, la acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR no está presente a una edad específica y se presenta tanto en niños como en adultos.

Los individuos sometidos al estudio tenían un tiempo de residencia en la zona desde 1 hasta 80 años (Figura 9E) encontrando acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR en la población con hasta 60 años de residencia en la zona (Figura 9E). De manera general se pudo observar que la gran mayoría de los habitantes han vivido allí desde su nacimiento (Figura 10). Lo anterior proporciona validez a nuestro estudio considerando que los procesos de acumulación de arsénico se presentan de dos a cuatro semanas después de que cesa o continúa la exposición arsénico que se acumula o retiene en tejidos principales de queratina, como lo es el cabello (Yip and Dart, 2001). El tiempo de residencia de los individuos estudiados

presenta un rango adecuado para evaluar acumulación de arsénico en cabello en Matehuala (Figura 10).

En lo que respecta a presencia de enfermedades, de los 80 individuos sometidos al estudio, 67 se declararon sin enfermedades mientras que 13 de ellos declararon algún padecimiento (Figura 9F). Dentro de los individuos que se declararon sin enfermedades, 11 individuos presentaron acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR, 45 no presentaron acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR y 11 fueron no determinados (Figura 9F). De los individuos que se declararon con enfermedades, 2 presentaron acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR, 10 no presentaron acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR y 1 fue no determinado. Dentro de las enfermedades que refirieron tener se encuentran, dolores de cabeza, abortos y alergias; estas enfermedades son mencionadas en la literatura como consecuencia de intoxicación con arsénico, sin embargo no son evidencia suficiente de efectos a la salud por arsénico ya que los casos son aislados y la mayoría de las declaraciones de enfermedades fueron testimoniadas por individuos sin acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR.

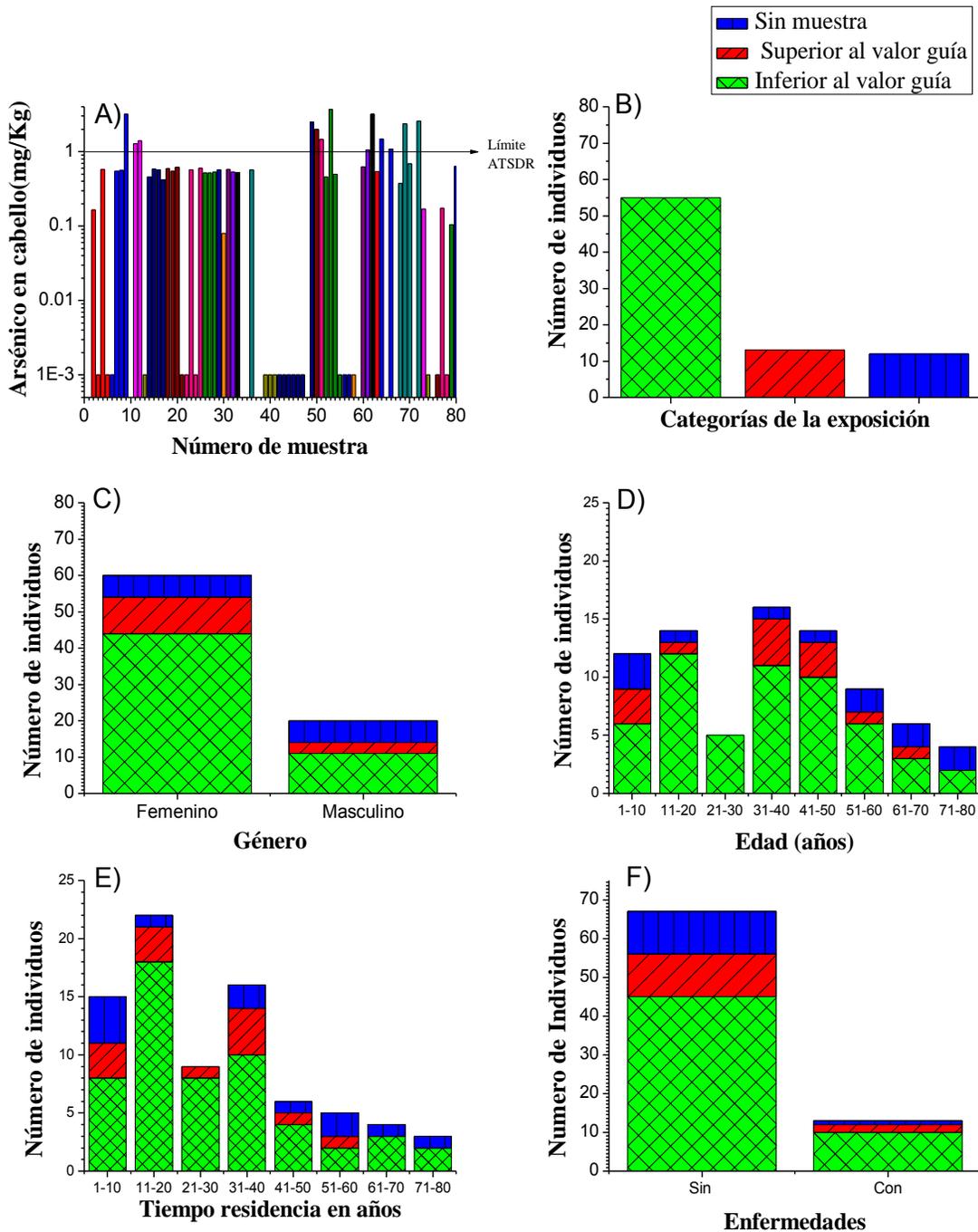


Figura 9. Concentraciones de arsénico en cabello, acumulación, género, edad, tiempo de residencia, número de individuos con enfermedades con referencia a la acumulación de arsénico a niveles superiores al valor guía. A) Concentración de arsénico en muestras de cabello evidenciando la existencia de individuos con concentraciones de arsénico > 1mg/kg. Las muestras del mismo color pertenecen a individuos de una misma familia. Las muestras con concentraciones de arsénico de 1×10^{-3} mg/kg arrojaron concentraciones de arsénico por debajo del límite de detección en el instrumento (1×10^{-3} mg/L) que corresponden, su vez, a 1×10^{-3} mg/kg. La línea negra representa el límite máximo de arsénico en cabello en personas que presentaron acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR. B) Número de individuos que si presentan acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR e individuos que no presentan acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR. C) Clasificación del número de individuos de acuerdo al género. D) Edad de los individuos sometidos al estudio. e) Tiempo de residencia de los individuos sometidos al estudio. F) Número de individuos con y sin enfermedades.

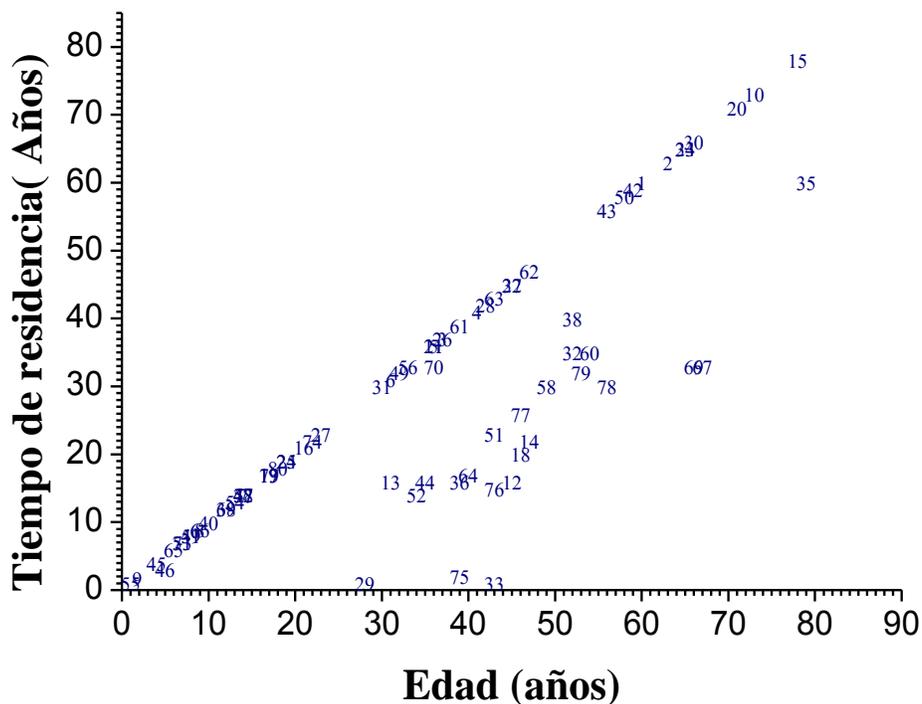


Figura 10. Tiempo de residencia en la zona de estudio contra la edad de los individuos estudiados. (Los números en azul representan el número de individuo del estudio)

Los resultados de esta sección evidencian que los habitantes de la zona de estudio presentan acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR ya que en 13 de los 80 individuos se presentaron esta acumulación por encima del valor guía ATSDR, por lo que la hipótesis planteada inicialmente en este estudio es rechazada. De hecho, la población expuesta a arsénico acuoso derivado de la disolución de residuos de arseniatos de calcio en la ciudad de Matehuala sí presenta acumulación de arsénico a pesar de que no bebe el agua contaminada.

La acumulación de arsénico observada en cabello en una primera aproximación fue igual para las mujeres y los hombres, y no marcó ninguna distribución específica en lo que concierne a edad de los individuos o tiempo de residencia en el lugar.

No se encontró ninguna relación entre la acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR y la presencia de enfermedades declaradas en la zona.

Tabla 5. Concentraciones de arsénico en cabello, agua para beber, agua para cocinar y agua de uso doméstico.

Número de Muestra	Número de identificación	Sitio de muestreo	Coordenadas X	Coordenadas Y	Arsénico en cabello (mg/Kg)	Arsénico en agua para beber (mg/L)	Arsénico en agua para cocinar (mg/L)	Arsénico en agua para uso doméstico (mg/L)
1	20140707-1350	C. Blanco	338726	2618570	ND	0.020	0.020	0.027
2	20140707-1435	C. Blanco	338692	2618540	0.16	0.000	0.000	0.048
3	20140707-1438	C. Blanco	338692	2618540	0.00	0.000	0.000	0.048
4	20140707-1443	C. Blanco	338692	2618540	0.57	0.000	0.000	0.048
5	20140707-1448	C. Blanco	338692	2618540	0.00	0.000	0.000	0.048
6	20140707-1520	C. Blanco	338711	2618570	0.00	0.016	0.028	0.028
7	20140707-1522	C. Blanco	338711	2618690	0.55	0.016	0.028	0.028
8	20140707-1526	C. Blanco	338711	2618690	0.56	0.016	0.028	0.028
9	20140707-1527	C. Blanco	338711	2618690	3.17	0.016	0.028	0.028
10	20140707-1553	C. Blanco	338729	2618730	ND(SM)	0.495	0.341	0.341
11	20140707-1800	Canal	337896	2619070	1.27	Sin muestra	Sin muestra	0.022
12	20140707-1803	Canal	337896	2619070	1.40	Sin muestra	Sin muestra	0.022
13	20140707-1908	ZNM	332809	2619840	0.00	0.003	0.000	0.000
14	20140707-1935	ZNM	333193	2619900	0.46	0.013	0.013	0.020
15	20140707-1940	ZNM	333193	2619900	0.59	0.013	0.013	0.020
16	20140707-1955	ZNM	333193	2619900	0.57	0.013	0.013	0.020
17	20140707-1950	ZNM	333193	2619900	0.42	0.013	0.013	0.020
18	20140708-1140	E. Abajo	337128	2604710	0.59	0.043	0.043	0.000
19	20140708-1150	E. Abajo	337128	2604710	0.55	0.043	0.043	0.000
20	20140708-1155	E. Abajo	337128	2604710	0.61	0.043	0.043	0.000
21	20140708-1200	E. Abajo	337128	2604710	0.00	0.043	0.043	0.000
22	20140708-1226	E. Abajo	337033	2604790	0.00	0.040	0.040	0.098
23	20140708-1230	E. Abajo	337033	2604790	0.57	0.040	0.040	0.098
24	20140708-1237	E. Abajo	337033	2604790	0.00	0.040	0.040	0.098
25	20140708-1240	E. Abajo	337033	2604790	0.60	0.040	0.040	0.098
Blanco	300720141330A	Laboratorio	Laboratorio	Laboratorio	0.0001	NA	NA	NA
Blanco	300720141330B	Laboratorio	Laboratorio	Laboratorio	NA	0.001	0.001	0.001
26	20140708-1257	E. Abajo	337184	2604860	0.52	Sin muestra	Sin muestra	0.014
27	20140708-1300	E. Abajo	337033	2604790	0.52	Sin muestra	Sin muestra	0.014
28	20140708-1301	E. Abajo	337033	2604790	0.53	Sin muestra	Sin muestra	0.014
29	20140708-1406	E. Abajo	336220	2604130	0.57	0.021	0.000	0.000
30	20140708-1440	E. Arriba	335259	2606510	0.08	Sin muestra	0.002	0.002
31	20140708-1510	E. Arriba	335268	2606400	0.58	Sin muestra	Sin muestra	0.044

Número de Muestra	Número de identificación	Sitio de muestreo	Coordenadas X	Coordenadas Y	Arsénico en cabello (mg/Kg)	Arsénico en agua para beber (mg/L)	Arsénico en agua para cocinar (mg/L)	Arsénico en agua para uso doméstico (mg/L)
32	20140708-1545	E. Arriba	335121	2606680	0.54	0.045	0.045	0.019
33	20140708-1530	E. Arriba	335267	2606640	0.53	0.039	0.039	0.026
34	20140708-1550	E. Arriba	335200	2606700	ND	0.022	0.022	0.016
35	20140708-1625	E. Arriba	335244	2606760	ND	0.000	0.044	0.044
36	20140708-1635	E. Arriba	335235	2606810	0.57	0.045	0.026	0.026
37	20140708-1648	E. Arriba	335235	2606810	ND	0.045	0.026	0.026
38	20140708-1827	Club de tiro	332846	2617500	ND	0.041	0.041	0.002
39	20140708-1824	Club de tiro	332846	2617500	0	0.041	0.041	0.002
40	20140708-1822	Club de tiro	332846	2617500	0.19	0.041	0.041	0.002
41	20140708-1826	Club de tiro	332846	2617500	0	0.041	0.041	0.002
42	20140709-1040A	C. Blanco	338439	2618540	0	0.038	0.038	0.016
43	20140709-1040B	C. Blanco	338439	2618540	0	0.038	0.038	0.016
44	20140709-1041	C. Blanco	338439	2618540	0	0.038	0.038	0.016
45	20140709-1046	C. Blanco	338439	2618540	0	0.038	0.038	0.016
46	20140709-1056	C. Blanco	338439	2618540	0.58	0.038	0.038	0.016
47	20140709-1058	C. Blanco	338439	2618540	0.15	0.038	0.038	0.016
48	20140709-1105	C. Blanco	338439	2618540	0.00	0.038	0.038	0.016
49	20140709-1100	C. Blanco	338439	2618540	ND	0.038	0.038	0.016
50	20140709-1137	C. Blanco	338421	2618490	2.5	0.005	0.005	0.062
Blanco	300720141330A	Laboratorio	Laboratorio	Laboratorio	0.0001	NA	NA	NA
Blanco	300720141330B	Laboratorio	Laboratorio	Laboratorio	NA	0.001	0.001	0.001
51	20140709-1157	C. Blanco	338425	2618490	1.99	0.037	0.037	0.039
52	20140709-1235	C. Blanco	338370	2618490	1.45	0.004	0.036	0.036
53	20140907-1238	C. Blanco	338370	2618490	0.46	0.004	0.004	0.036
54	20140709-1240	C. Blanco	338370	2618490	3.68	0.004	0.004	0.036
55	20140709-1242	C. Blanco	338370	2618490	0.50	0.004	0.004	0.036
56	20140709-1250	C. Blanco	338370	2618490	0	0.079	0.079	0.026
57	20140709-1255	C. Blanco	338370	2618490	0	0.079	0.079	0.026
58	20140709-1313	C. Blanco	338334	2618480	0	0.344	0.344	0.012
59	20140709-1319	C. Blanco	338334	2618480	0	0.344	0.344	0.012
60	20140709-1355	C. Blanco	338185	2618390	ND	0.024	0.024	0.018
61	20140709-1400	C. Blanco	338364	2618660	0.62	0.364	0.364	0.033
62	20140709-1420	C. Blanco	338443	2618890	1.06	0.051	0.051	3.243
63	20140709-1440	C. Blanco	338563	2618760	3.18	0.023	0.023	0.008
64	20140709-1500	C. Blanco	338683	2618670	0.54	0.019	0.019	0.063
65	20140709-1505	C. Blanco	338689	12618700	1.48	0.019	0.019	0.063
66	20140709-1510	C. Blanco	338683	12618700	ND	0.019	0.019	0.063

Número de Muestra	Número de identificación	Sitio de muestreo	Coordenadas X	Coordenadas Y	Arsénico en cabello (mg/Kg)	Arsénico en agua para beber (mg/L)	Arsénico en agua para cocinar (mg/L)	Arsénico en agua para uso doméstico (mg/L)
67	20140710-1050	Club de tiro	332599	2617840	1.09	0.007	0.000	0.000
68	20140710-1052	Club de tiro	332599	2617840	ND	0.007	0.000	0.000
69	20140710-1054	Club de tiro	332599	2617840	0.37	0.007	0.000	0.000
70	20140710-1100	Club de tiro	332599	2617840	2.38	0.007	0.000	0.000
71	20140710-1105	Club de tiro	332599	2617840	0.69	0.007	0.000	0.000
72	20140710-1110	Club de tiro	332599	2617840	ND	0.007	0.000	0.000
73	20140710-1148	Club de tiro	332882	2617530	2.55	0.021	0.021	0.012
74	20140710-1210	Club de tiro	332886	2617550	0.17	0.020	0.020	0.000
75	20140710-1220	Club de tiro	332887	2617580	0	0.023	0.023	0.040
76	20140710-1236	Club de tiro	332886	2617580	ND	0.011	0.011	0.008
77	20140710-1254	Club de tiro	332890	2617610	0	0.062	0.062	0.016
78	20140710-1258	Club de tiro	332896	2617680	0.18	0.062	0.062	0.016
79	20140710-1318	Club de tiro	332901	2617750	0	0.004	0.004	0.038
80	20140710-1325	Club de tiro	332913	2617860	0.11	0.002	0.002	0.023
Blanco	300720141330A	Laboratorio	Laboratorio	Laboratorio	0.0001	NA	NA	NA
Blanco	300720141330B	Laboratorio	Laboratorio	Laboratorio	NA	0.001	0.001	0.001

6.2 Arsénico en agua de aprovechamientos hídricos potenciales

Como se mencionó en la sección 5.2 en la zona de estudio existen aprovechamientos de agua fácilmente disponibles para los habitantes del área. Dichos aprovechamientos se denominaron, en este estudio, aprovechamientos hídricos potenciales de agua. Las coordenadas geográficas y el tipo de aprovechamiento potencial muestreado se presentaron en la sección 5.2.

La Figura 11A muestra la concentración de arsénico de los aprovechamientos de agua más cercanos y fácilmente disponibles para los individuos sometidos a este estudio, donde las concentraciones de arsénico medidas variaron de 0.012 mg/L a 74.080 mg/L. En todos los aprovechamientos, la concentración de arsénico en agua fue mayor al límite permisible de arsénico en agua para consumo humano de la Organización Mundial de la Salud de 0.01 mg/L (“OMS | Arsénico,” 2012) (Figura 11A). Se encontró adicionalmente, que la mayoría de los aprovechamientos excedió, inclusive, el límite permisible de arsénico de la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 (0.025 mg/L), Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse en agua para su potabilización (Secretaría de Salud, 2000) (Figura 11A). De los 80 individuos sometidos a este estudio, sólo 5 tienen acceso a aprovechamientos potenciales con concentraciones de arsénico menores a 0.025 mg/L, 20 a aprovechamientos con concentraciones de arsénico entre 0.025 y 0.050 mg/L y 55 a aprovechamientos con concentraciones de arsénico mayores a 0.050 mg/L

(Figura 11B) lo que pone de manifiesto la exposición de alto riesgo de la población al arsénico.

Entre los casos más notables de aprovechamientos potenciales contaminados con arsénico se encuentran el Club de Tiro, el Canal y la Laguna donde las concentraciones de arsénico en agua exceden hasta en 1000 veces el límite permisible de arsénico en México NOM-SSA-127-1994 (Secretaría de Salud, 2000) (Figuras 11a). Se puede observar que el total de individuos que presentan acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR se encuentran viviendo cerca de estos aprovechamientos hídricos donde la contaminación supera cualquier estándar de seguridad (Figuras 11b). Dicha contaminación es consistente con valores reportados previamente en la literatura para estos sitios (Martínez-Villegas et al., 2013). Por otro lado muchos de estos aprovechamientos hídricos son utilizados para el riego de parcelas de traspatio donde algunos cultivos como maíz, frijol, calabaza, y avena son producidos para la alimentación humana y de ganado.

De acuerdo a los resultados de las encuestas realizadas, el número de individuos que podría hacer uso potencial de los aprovechamientos asciende a 18 para el Club de Tiro, 2 para el Canal, 35 para la Laguna, 5 para la zona norte de Matehuala, 12 para la comunidad de Encarnación de Abajo y 8 en la comunidad de Encarnación de Arriba (Figura 11C).

Los usos potenciales que los habitantes le dan al agua son principalmente agricultura y ganadería. En algunos casos en actividades del aseo del hogar. De los 18 habitantes cercanos a el Club de Tiro, ninguno refirió utilizar el agua para ninguna actividad, 2 habitantes del canal la utilizan para agricultura y ganadería, 35 en cercanía de la Laguna para agricultura, ganadería y uso doméstico, 5 de la zona norte de Matehuala para actividades agrícolas y ganaderas. Tanto los habitantes de Encarnación de Abajo, como de Encarnación de Arriba la usan para actividades agrícolas y ganaderas. El uso de los aprovechamientos contaminados por parte de los pobladores se manifiesta como presencia de acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR (Figura 11B).

En particular, la acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR fue de 3 individuos asociados al aprovechamiento del Club de Tiro, 1 individuo asociados al aprovechamiento del Canal y en 9 individuos asociados al aprovechamiento de la Laguna (Figura 11C).

La Figura 11D muestra las concentraciones de arsénico medidas en cabello contra las concentraciones de arsénico de los aprovechamientos hídricos y la misma revela que la acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR se presenta en los aprovechamientos potenciales más contaminados, por lo que las poblaciones asociadas a estos podrían considerarse de alto riesgo en términos de contaminación

de arsénico. Dicho impacto se observa más claramente en la Figura 12 donde la presentan acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR es geoespacialmente adyacente a los aprovechamientos más contaminados. Si bien, en un principio, se había pensado que dicha contaminación no representaba un riesgo para la población por el nulo consumo de agua contaminada a través de la ingesta directa de la misma, estos resultados indican lo contrario y evidencian un alto riesgo de impacto para las poblaciones expuestas a los aprovechamientos más contaminados.

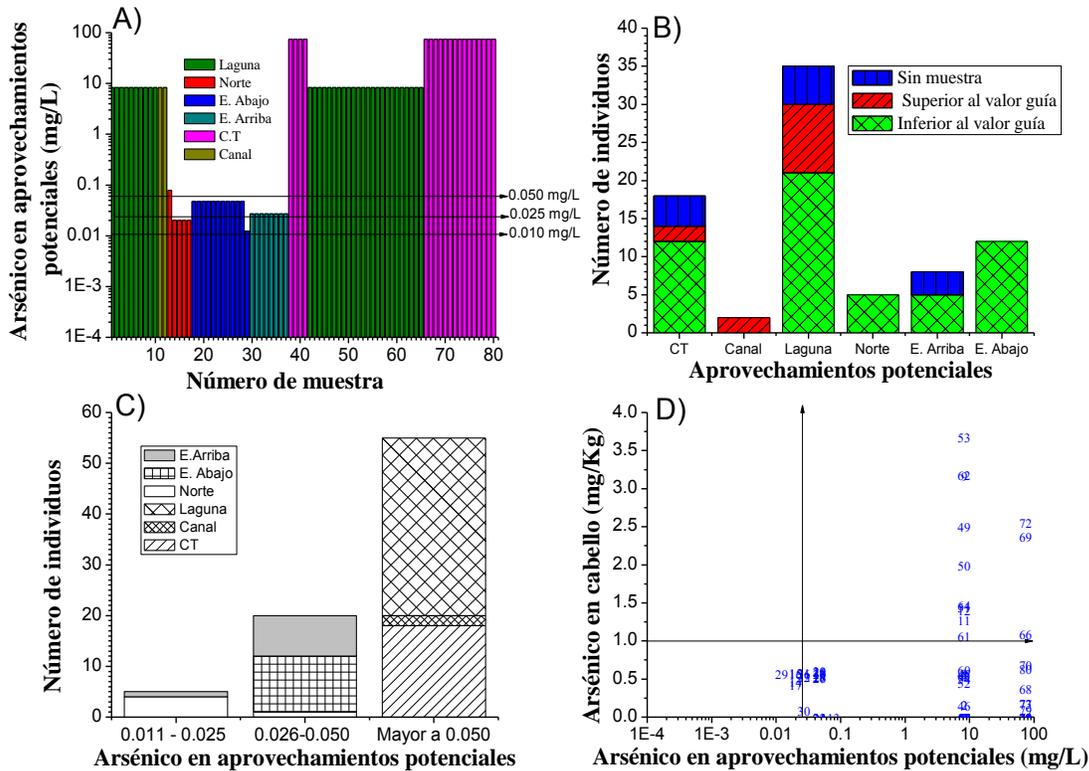


Figura 11. Concentraciones de arsénico en agua de aprovechamientos hídricos potenciales, número de individuos que si presentan acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR y número de individuos que no presentan acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR. Número de individuos con acceso a aprovechamientos hídricos no contaminados y contaminados y concentraciones de arsénico en cabello contra arsénico en aprovechamientos hídricos. A) Concentraciones de arsénico medido en agua de los aprovechamientos hídricos localizados en la zona de estudio. Las líneas horizontales indican los niveles guías de arsénico según la Organización Mundial de la Salud (0.010 mg/L)(“OMS | Arsénico,” 2012) , y la Secretaría de Salud (0.025 mg/L) (Secretaría de Salud, 2000), y lugares muy contaminados (0.050 mg/L) (Secretaría de Salud, 1996) B) Número de individuos que si presentan acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR y que no presentan acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR en cada uno de los aprovechamientos. C) Número de individuos con acceso a aprovechamientos de agua no contaminados (<0.025 mg/L), ligeramente contaminados (0.025 a 0.050 mg/L) y muy contaminados (>0.050 mg/L). D) Concentraciones de arsénico en cabello humano en función de las concentraciones de arsénico en los aprovechamientos potenciales. Las líneas negras representan los límites permisibles de arsénico en agua de consumo humano de acuerdo la normatividad mexicana vigente (0.025 mg/L)(Secretaría de Salud, 2000), y el criterio de exposición a arsénico establecido por ATSDR.

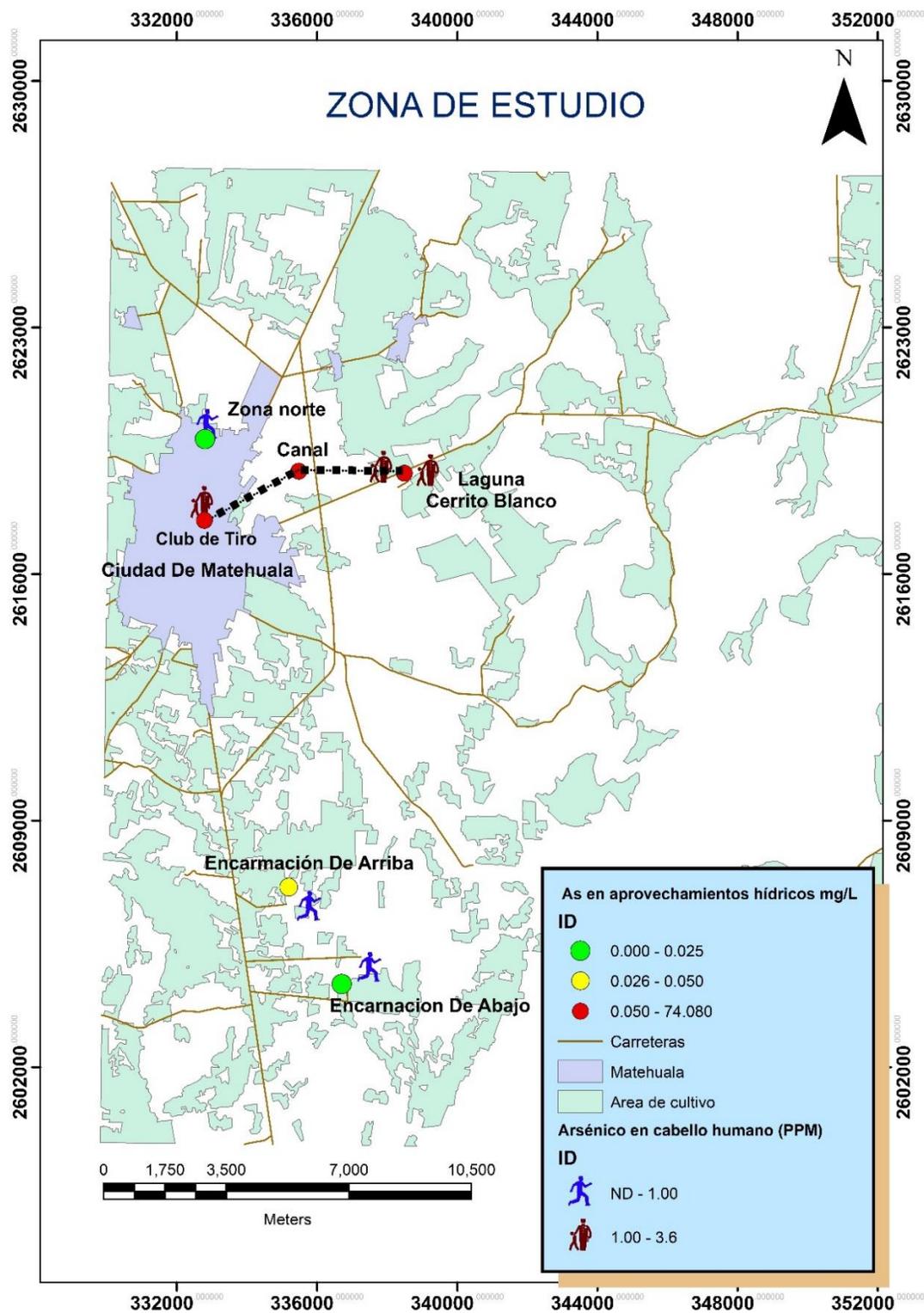


Figura 12. Geoposición de concentraciones de arsénico en aprovechamientos hídricos potenciales de agua y concentraciones de arsénico en cabello humano, mostrando que los individuos que presentan acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR, se localizan en la vecindad de los aprovechamientos hídricos más contaminados.

6.3 Arsénico en agua para beber

La Figura 13 muestra gráficamente las concentraciones de arsénico en agua para beber de los individuos sometidos a este estudio. Dichas concentraciones variaron desde 0.001 mg/L hasta 0.495 mg/L (Tabla 5).

Se encontró que en 20 muestras, la concentración de arsénico en agua fue menor al límite de arsénico en agua para consumo humano de la Organización Mundial de la Salud (OMS, por sus siglas en inglés) (“OMS | Arsénico,” 2012) (Figura 13A) por lo que se consideró agua de excelente calidad en términos de arsénico. En 19 muestras, la concentración de arsénico en agua fue menor al límite permisible de arsénico de la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse en agua para su potabilización (Secretaría de Salud, 2000) aunque mayor a 0.010 mg/L (Figura 13A). La calidad de esta agua se consideró entonces aceptable en términos de arsénico. En 25 muestras, la concentración de arsénico en agua fue mayor al límite permisible de arsénico de la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse en agua para su potabilización (Secretaría de Salud, 2000) pero menor a 0.050 mg/L (Figura 13A) por lo que su calidad se consideró contaminada. En 9 muestras la concentración de arsénico fue mayor a 0.050 mg/L. Por último, 7 muestras no fueron determinadas por que no se contaba con muestra (Figura 13A).

De los 80 individuos sometidos a este estudio, en el momento del muestreo, 20 contaban en sus hogares con agua para beber de excelente calidad en términos de arsénico (<0.010 mg/L), 19 con agua de calidad aceptable en términos de arsénico (0.010 a 0.025 mg/L), 25 con agua contaminada (0.025 a 0.050 mg/L), 9 con agua muy contaminada (>0.050 mg/L) y 7 no proporcionaron muestra (Figura 13B). Sorprendentemente, estos resultados evidencian la ingesta de agua contaminada con arsénico por parte de 34 de los 80 individuos sometidos al estudio lo que representa el 42.5%. Esta información sugiere dicha ingesta como una posible vía de aporte a la acumulación de arsénico en cabello.

En cuanto al origen del agua utilizada para beber, se encontró que de los 80 individuos sometidos al estudio, 67 utilizaban agua de garrafón para beber, 4 la acarreaban de lugares cercanos a su domicilio, 2 utilizaban la red pública mientras que 7 de ellos no contaban con agua de beber en el momento del muestreo por lo que no proporcionaron ninguna muestra (Figura 13C). Por otra parte para las muestras recolectadas cuyo origen procede del garrafón se descubrió que el 57.7% excede el límite permisible de arsénico en agua para beber de la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse en agua para su potabilización (Secretaría de Salud, 2000)(Figura 13C).

Para el caso de agua de la red pública el 100% de las muestras excede el límite anteriormente mencionado mientras que el agua acarreada, la cual proviene de

pozos no identificados está dentro de la norma (Secretaría de Salud, 2000) (Figura 13C).

De lo anterior se concluye que, en algunos casos, los individuos sometidos a este estudio no están consumiendo agua de calidad para beber, misma que podría deteriorarse aún más, al someterse a procesos térmicos de arsénico, al ser hervida para la comida, concentrando el arsénico, lo que podría incrementar el riesgo de exposición.

A pesar de la presencia de arsénico en agua para beber (Figura 13A), en este estudio no se encontró una relación entre la acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR y las concentraciones de arsénico medidas en agua (Figura 13C). Como se muestra en la Figura 13D, en el área de estudio, las concentraciones de arsénico en cabello parecen no ser una función de las concentraciones de arsénico en agua para beber. La respuesta a lo anterior se atribuye a que tanto individuos con acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR e individuos con acumulación de arsénico en concentraciones consideradas no peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR contaban en sus hogares con agua de diferente calidad y muy probablemente de diferente marca y a que no necesariamente el agua que beben contiene siempre la misma concentración de arsénico lo cual impone un mayor grado de dificultad para encontrar una posible relación entre el agua de beber y la concentración de arsénico en el cabello (Figura 13C).

A diferencia de otros estudios (Armienta et al., 1997; ATSDR, 2007; BGS and DPHE, 2001; Borgoño et al., 1977; Jochen Bundschuh et al., 2008; Cebrian et al., 1994; Cebrián et al., 1983b; Foy et al., 1992; Fuentes-Diaz, 2005; IARC, 2004; "OMS | Arsénico," 2012), en Matehuala, la acumulación de arsénico en cabello no parece derivar de vías de exposición como lo es la ingesta de agua contaminada, o al menos no es la vía mayoritaria. Si bien las poblaciones expuestas estudiadas están bebiendo agua contaminada (Figura 13A), el aporte de otras vías podría ser más importante. En este sentido, estudios de caracterización de vías de exposición son indispensables para evaluar el aporte de cada una a niveles peligrosos de arsénico.

Los resultados de esta sección muestran que no existe una relación directa entre las concentraciones de arsénico en agua para beber con la acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR. Sin embargo, se encontró que la mayoría de las muestras de agua para beber superaron la normatividad mexicana. No se encontró correspondencia entre el arsénico en cabello con el agua utilizada para beber. Esta falta de relación probablemente se debe a que las concentraciones de arsénico en el agua son variables y no provienen de una sola fuente o proveedor, las concentraciones ingeridas no son constantes y fluctúan a lo largo del tiempo.

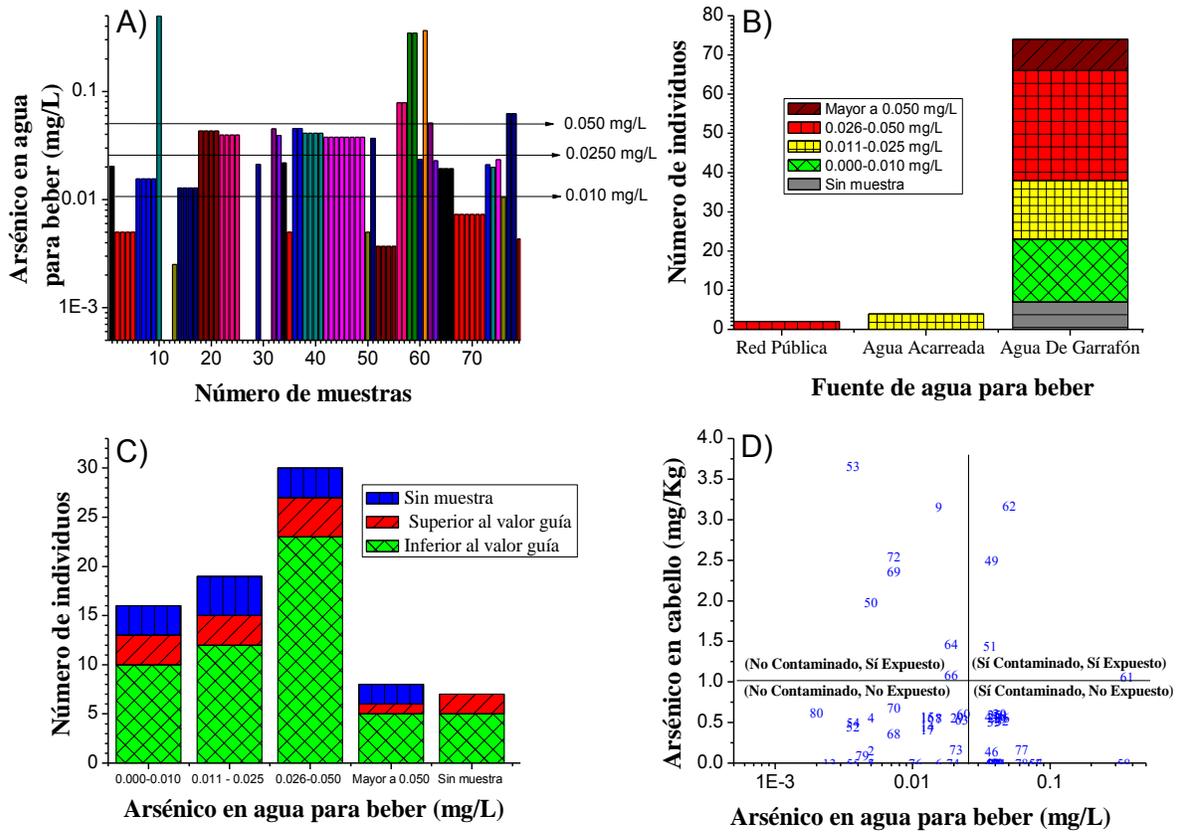


Figura 13. Concentraciones de arsénico en agua para beber, origen del agua, número de individuos que sí presentan acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR y número de individuos que no presentan acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR según las concentraciones de arsénico en agua para beber y concentraciones de arsénico en cabello humano. Las líneas negras representan los límites permisibles de arsénico en agua de consumo humano de acuerdo con la normatividad mexicana vigente (0.025 mg/L) (Secretaría de Salud, 2000), y el criterio de exposición arsénico establecido por ATSDR (1 mg/L). A) Concentraciones de arsénico medido en agua de beber de los individuos estudiados. Las líneas horizontales indican los niveles guía de arsénico de la Organización Mundial de la Salud (0.010 mg/L) (“OMS | Arsénico,” 2012) y la Secretaría de Salud (0.025 mg/L a partir de 2005 y 0.050 mg/L antes del 2005) (Secretaría de Salud, 2000) (Secretaría de Salud, 1996) B) Número de individuos que sí presentan acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR y número de individuos que no presentan acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR de acuerdo al origen del agua para beber. C) Número de individuos con acceso a agua para beber no contaminada (<0.025 mg/L), ligeramente contaminada (0.025 a 0.050 mg/L) y muy contaminada (>0.050 mg/L). D) Concentraciones de arsénico en cabello humano contra las concentraciones de arsénico en agua de bebida. Las líneas negras representan los límites permisibles de arsénico en agua de consumo humano de acuerdo a la normatividad mexicana vigente (0.025 mg/L) (Secretaría de Salud, 2000) y el criterio de exposición a arsénico de ATSDR.

6.4 Arsénico en agua utilizada para la preparación de alimentos

La valoración de exposición y riesgo asociados arsénico se relacionan con la ingesta de agua contaminada, por lo que además de considerar el agua utilizada para beber también se incluyó el agua utilizada para la preparación de alimentos como una variable más que pudiera aportar a la ingesta de agua contaminada y, ulteriormente, a la exposición de arsénico que deriva en acumulación de arsénico en cabello. En la Figura 14 podemos observar gráficamente los resultados de las mediciones realizadas a las muestras de agua utilizada para cocinar de los individuos sometidos al estudio.

También nos presenta la fuente de procedencia de las mismas, las concentraciones con respecto a las diferentes guías y la acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR; conjuntamente presenta la relación entre el arsénico en cabello y las concentraciones de arsénico en agua utilizada para cocinar.

Los rangos de concentración de arsénico variaron de 0 a 0.364 mg/L (Figura 14A) (Tabla 5). Según las respuestas que proporcionaron los individuos durante las encuestas y las muestras que proporcionaron, 56 individuos utilizan agua de garrafón para cocinar, 11 agua acarreada de otros pozos, 6 de la red pública, uno del aljibe comunitario mientras que 6 refieren utilizar agua de garrafón pero en ese momento no contaban con agua por lo que no proporcionaron muestra. Del total de las muestras de agua de garrafón, 34 excedió el límite permisible de arsénico en agua para consumo humano de 0.025 mg/L (Secretaría de Salud, 2000) lo que representa el 60% de las muestras de garrafón. El resto de las muestras recolectadas, 39, cayó dentro de este marco normativo es decir el 54%. En el caso del agua procedente de la red pública, el 33% no aprobó la norma y el 67% sí lo hizo. El agua acarreada mostró tendencias muy similares 36% de las muestras no aprobaron la normatividad y el 64% sí lo hizo. El agua de aljibe superó los 0.05 mg/L (Figura 14B).

La presencia de acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR estuvo presente en todas los valores guía (Figura 14C). Por otro lado, no se observó ningún tipo de relación entre la concentración de arsénico medido en el agua utilizada para cocinar y la concentración de arsénico en cabello (Figura 14D). De hecho, se encontró presencia de acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR tanto en muestras de agua que superaron la NOM-127-SSA-1994 como las que no la superaron (Figura 14D). Las concentraciones de arsénico encontradas en agua para cocinar no muestran una relación directa con la acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR. Muy probablemente porque proveedores distintos surten el agua de beber y/o cocinar en las distintas viviendas, lo que genera niveles de arsénico variables a lo largo del tiempo, tanto por debajo como por encima de la norma.

Es decir, no hay una única fuente de abastecimiento de agua para beber y/o cocinar y por lo tanto tampoco un ingesta constante y homogénea de arsénico entre las poblaciones estudiadas.

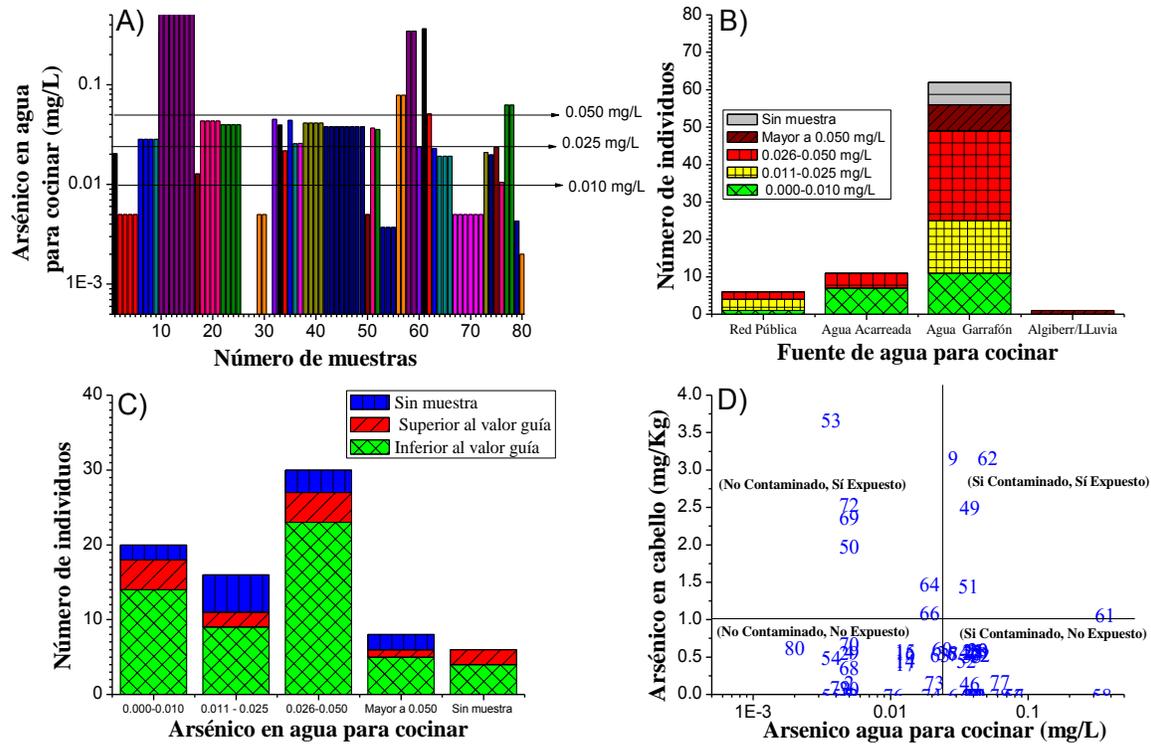


Figura 14. Concentraciones de arsénico en agua para cocinar, origen del agua, número de individuos que sí presentan acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR y número de individuos que no presentan acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR según las concentraciones de arsénico en agua para cocinar. Las líneas negras representan los límites permisibles de arsénico en agua de consumo humano de acuerdo a la normatividad mexicana vigente (0.025 mg/L)(Secretaría de Salud, 2000), y el criterio de exposición a arsénico establecido por ATSDR. A) Concentraciones de arsénico medido en agua para cocinar de los individuos estudiados. Las líneas horizontales indican los niveles guías de arsénico según la Organización Mundial de la Salud (0.010 mg/L)(“OMS | Arsénico,” 2012) , y la Secretaría de Salud (0.025 mg/L) (Secretaría de Salud, 2000), lugares muy contaminados 0.050 mg/L) (Secretaría de Salud, 1996) B) Número de individuos expuestos, no expuestos y no determinados de acuerdo al origen del agua para cocinar. C) Número de individuos con acceso a agua para cocinar no contaminada (<0.025 mg/L), ligeramente contaminada (0.025 a 0.050 mg/L) y muy contaminada (>0.050 mg/L). D) Concentraciones de arsénico en cabello humano en función de las concentraciones de arsénico en agua para cocinar. Las líneas negras representan los límites permisibles de arsénico en agua de consumo humano de acuerdo a la normatividad mexicana vigente (0.025 mg/L) (Secretaría de Salud, 2000) y el criterio de exposición a arsénico establecido por ATSDR (1 mg/Kg).

6.5 Agricultura

Durante los últimos 10 años, los investigadores se han centrado principalmente en la ingesta de arsénico a través del agua potable contaminada, pero la incidencia de arsenicosis en la población no es coherente con la concentración de arsénico en el agua de bebida obtenida de las aguas subterráneas (Huq et al., 2006). Esta inconsistencia ha planteado preguntas sobre las posibles vías de exposición de arsénico (Huq et al., 2006). Según (Ahmed et al., 2001) diversos estudios apuntan a que la irrigación de cultivos con agua contaminada y la práctica de actividades ganaderas pudiera favorecer la entrada de arsénico a la cadena alimenticia.

La Figura 15 muestra el número de individuos que practican y no practican la agricultura en la zona de estudio además de la fuente de donde proviene el agua que utilizan para cultivar y el origen de la misma. La Figura 15A muestra los individuos que practican la agricultura en el área de estudio.

De los 80 individuos sometidos al estudio se encontró que 37 practicaban las actividades agrícolas (46.3%) y 43 no las practicaban (53.7%) (Figura 15A). De los individuos que practicaban la agricultura se observó que 9 individuos regaban con agua del canal (24.4 %), 7 con agua de pozo (18.9%), 6 con agua de noria (16.2%) y 15 con agua proveniente de la lluvia (40.5%) (Figura 15B). Los individuos que regaban con agua del canal declararon consumir los alimentos que producían en parcelas de traspatio que se encuentran en la comunidad de Cerrito Blanco. La acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR estuvo presente tanto en individuos que practicaban la agricultura, como en los que no la practicaban. De los 37 que la practicaban 8 presentaron acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR (21.6%) y de los 43 que no la practicaban 5 presentaron acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR (11.6%) (Figura 15C). No se logró distinguir ninguna relación entre la práctica de la agricultura y la acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR, lo anterior posiblemente como consecuencia de que la mayoría de las personas sometidas al estudio eran amas de casa dedicadas al hogar que no participaban directamente en actividades agrícolas por lo que para este parámetro son requeridos estudios con mayor especificidad ocupacional en cuanto a la práctica de agricultura y exposición.

De los alimentos consumidos en la zona de estudio (maíz, leche, queso, carnes, huevo, verdura, tortilla, frutas, frijol, pescado) se encontró que en cuanto a su origen el 37% del maíz era de origen propio, el 34.7% de origen regional, el 19.5% local y el 8.8% comercial. Para el frijol, 56.4% fue de origen regional, 17.3 % local, 14.9 comercial, 11.4% propio. En el caso de la tortilla el consumo fue 37% de origen propio, 34.7% regional, 19.5% local y 8.8% comercial. Para las verduras 59.4 % eran de origen regional, 15.1% local, 15.1% comercial y 10.4% propio. Para las

frutas el 60 % fue regional, 15.2% local, 15.2% comercial y 9.6 % propio (Figura 15D).

Se hace notar que la mayoría de los alimentos consumidos eran de origen regional y local, es decir que muchos de los alimentos que se consumen se producen en la zona de estudio, con la posibilidad de que sean irrigados con agua de aprovechamientos hídricos fuera de normatividad y que puedan estar absorbiendo arsénico cuyo reservorio final puede ser el ser humano.

Finalmente se observó que casi la mitad de los individuos sometidos al estudio (46.3%) realizan actividades agrícolas, de los cuales una cuarta parte (24.4%) utilizan agua contaminada para riego. Sin embargo no cuenta con datos precisos de las concentraciones de arsénico en el agua de cada pozo y/o aprovechamiento que utilizan para regar ni de las frecuencias de riego.

La práctica de la agricultura y la producción de alimentos de consumo humano también fue una variable que se consideró como un factor de riesgo para la acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR, debido a que esta práctica requiere el uso de aprovechamientos hídricos para su ejecución, además de que es reportado el enriquecimiento de suelos con arsénico por esta causa en algunos estudios (De La Garza-Varela, 2015; Rosas-Castor et al., 2014; Ruiz-Huerta, 2012). En Matehuala la práctica de irrigación con agua proveniente de los aprovechamientos hídricos locales es común y como se mencionó en la sección 6.2 (Aprovechamientos potenciales de agua) los mismos contienen concentraciones de arsénico fuera de la normatividad Mexicana.

Aunque los resultados de este estudio no mostraron asociación significativa entre las concentraciones de arsénico en cabello con actividades agropecuarias, es importante considerar que los individuos declaran usar el agua contaminada para el riego de parcelas de traspatio, y uso en abrevaderos ganaderos para hidratar el ganado por lo que consideramos que puede ser una ruta de entrada independiente a las tradicionalmente reportadas.

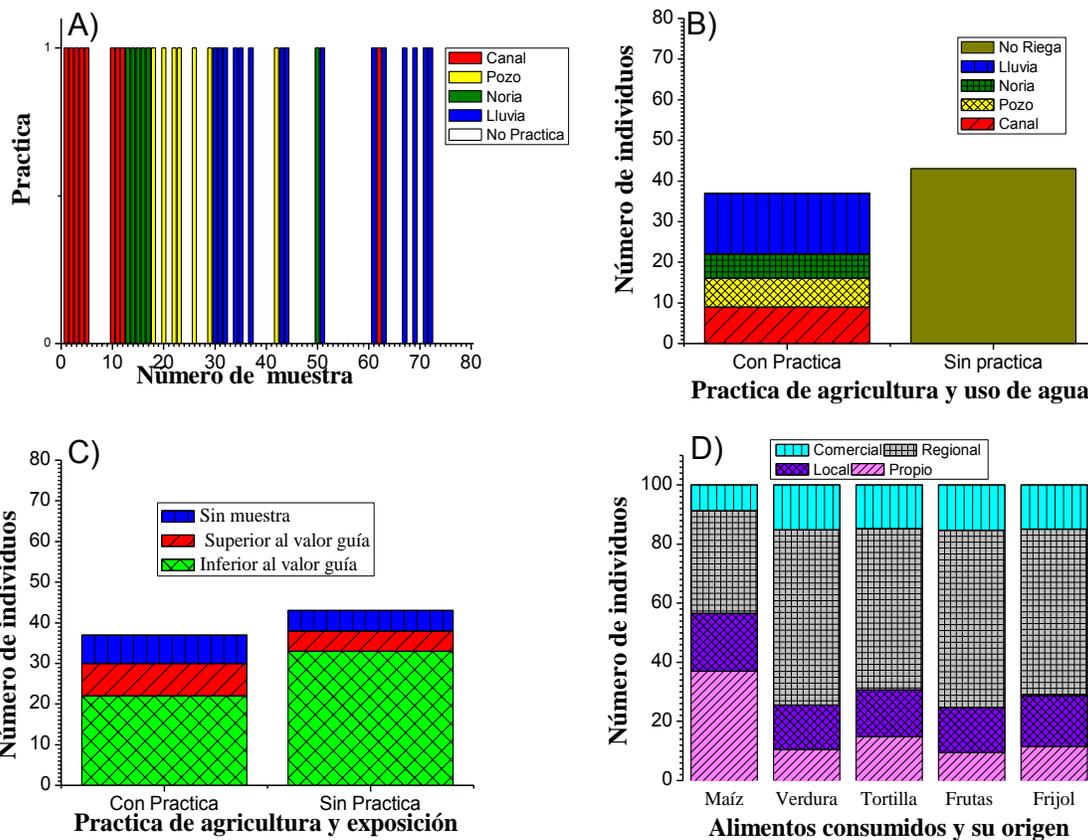


Figura 15. Individuos que practican la agricultura, origen del agua que utilizan, categorización de la acumulación de arsénico en cabello en relación a la práctica de agricultura así como consumo de alimentos por los individuos del estudio y origen de producción de cada uno de ellos. A) Individuos que practican la agricultura B) Origen del agua utilizada para la práctica de la agricultura. C) Categorización del número de individuos que practican la agricultura de acuerdo a la acumulación de arsénico, definida por la concentración de arsénico en cabello. D) Número de individuos que consumen maíz, verdura, tortilla, frutas y frijol de origen propio, local, regional o comercial.

6.6 Ganadería

Al igual que la práctica de la agricultura, las actividades de ganadería requieren el uso de aprovechamientos hídricos para su desarrollo e inclusive en algunos casos la alimentación del ganado implica el uso de recursos derivados de la agricultura. Por lo anterior la ganadería también se consideró como un factor que pudiera estar relacionado a la acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR, favoreciendo procesos de absorción de arsénico en los individuos sometidos al estudio.

La Figura 16 nos muestra la presencia de la ganadería entre las actividades de los habitantes de la zona de estudio, además de las fuentes de agua utilizadas para llevarla a cabo. También se incluye la relación de esta actividad con la presencia de individuos que presentan acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR.

Conjuntamente se presentan los alimentos de origen pecuario consumidos y el origen del consumo de los mismos en la zona de estudio. De los 80 individuos sometidos al estudio 33 practicaban la ganadería (41.3%) y 47 de ellos no la practicaban (58.7%) (Figura 16A).

De los 33 que practicaban la ganadería: 4 utilizaban agua del canal (12.2%) para desarrollar esta actividad, 25 de pozo (75.8%), 1 de noria (3%) ,1 de lluvia (3%), y 2 de una fuente no especificada (6%) (Figura 16B).La acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR estuvo presente tanto en el grupo de individuos que practicaban la ganadería, como en el grupo de los que no la practicaban. Se presentaron 6 casos de la acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR en individuos que practicaban la ganadería (18.1%) y 7 en los que no la practicaban (14.8%) (Figura 16C).

Los alimentos derivados de la ganadería usualmente consumidos fueron leche, queso, carne, huevo y se pregunto si también consumían pescado. El origen de los alimentos consumidos fue para leche: 56.4% regional, 17.3 % local, 16% propio, 10.3% comercial. Para queso: 53.4% regional, 18.1% local, 18.1% propio, 10.4% comercial. Para carne: 58.2% regional, 16.2% local, 15.2% comercial, 10.4% propio. Para huevo: 57.3% regional, 16.8% propio, 15.7% local, 10.2% comercial. Para pescado: 60.2% regional, 16.8% comercial, 14.4% local, 8.6% propio (Figura 16D).

Cerca de la mitad 41.3 % de los individuos sometidos al estudio practican la ganadería. Solo el 12.2% del total utiliza agua del canal, sin embargo el 75% utiliza agua de pozo de la cual se desconoce la concentración de arsénico. La acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR fue casi igual para los individuos que practican la ganadería (18.1 % expuestos) como para los que no la practican (14.8% expuestos), por lo que no podemos elucidar si la práctica de la misma no tiene relación con la acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR. Por otra parte los alimentos derivados de la misma pueden estar relacionados con la presencia de individuos que presentan acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR ya que la mayoría de alimentos consumidos en la zona de estudio son aquellos que son producidos en la región, muy probablemente con agua no segura de los aprovechamientos hídricos contaminados.

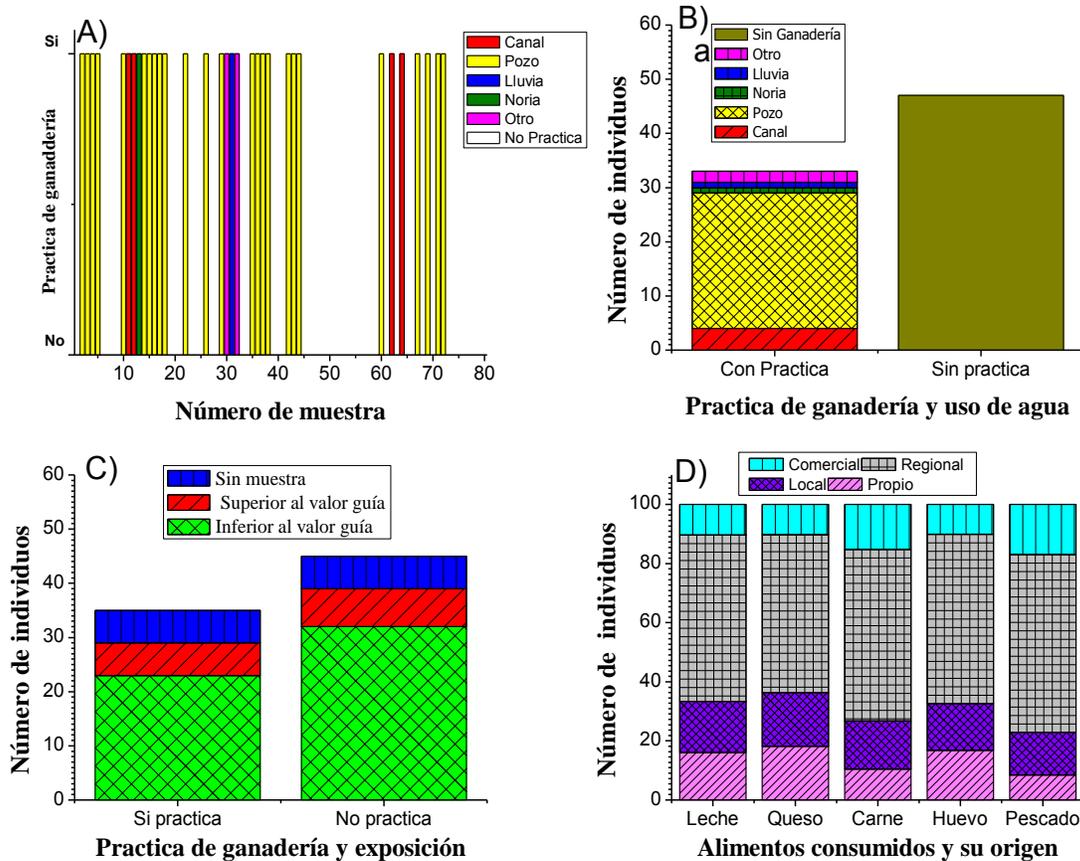


Figura 16. Individuos que practican la ganadería, origen del agua que utilizan, categorización de la acumulación de arsénico en cabello de acuerdo a la práctica de ganadería y concentraciones de arsénico en cabello así como consumo de alimentos por los individuos del estudio, y origen de producción de cada uno de ellos. A) Individuos que practican la ganadería B) Origen del agua utilizada para la práctica de la ganadería. C) Categorización del número de individuos que practican la ganadería de acuerdo a la acumulación definida por la cantidad de arsénico en cabello. D) Número de individuos que consumen leche, queso, carne, huevo, pescado, de origen propio, local, regional o comercial.

6.7 Contacto con áreas de riesgo y exposición arsénico

El contacto con áreas contaminadas peligrosas también fue considerado para el estudio de exposición. La Figura 17 nos muestra el número de individuos que tuvieron contacto con áreas previamente identificadas como zonas de riesgo: el club de tiro, la Laguna de Cerrito blanco y Hotel Las Palmas. Además de algunas actividades de riesgo como nadar en agua contaminada en la Laguna de Cerrito Blanco. Al mismo tiempo muestra la relación entre acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR y el contacto con los sitios mencionados como áreas de riesgo.

Para el caso del Club de tiro; de los 80 individuos sometidos al estudio se encontró que 20 de ellos tienen contacto con el club de tiro (25%), mientras que 60 de ellos no lo tienen (75%).

De los 20 que tienen contacto 3 se agruparon dentro del grupo que presento acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR (15%), 13 de ellos no presentaron acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR (65%) y 4 fueron no determinados por falta de muestra (20%).

De los 60 individuos que no tienen contacto con el club de tiro, 10 presentaron acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR (16.6%), 42 no la presentaron (70%) y 8 fueron no determinados por falta de muestra (13.4%) (Figura 17A).

Para el sitio de la Laguna de cerrito Blanco; de los 80 individuos sometidos al estudio, 14 de ellos sí tuvieron contacto con la laguna (17.5%), mientras que 66 de ellos no tienen ningún contacto (82.5%). De los que sí tuvieron contacto, 4 presentaron acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR (28.6%), 8 no presentaron acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR (57.1%) y 2 no fueron determinados por falta de muestra (14.3%). De los que no tuvieron contacto, 9 presentaron acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR (13.6%), 47 no presentaron acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR (71.2%) y 10 no fueron determinados 15.2% por falta de muestra (Figura 17B).

En lo que refiere a nadar en la laguna de Cerrito Blanco, de los 80 individuos sometidos al estudio 5 argumentaron nadar en la laguna (6.25%) y 75 de ellos declararon no hacerlo (93.75%). De los que argumentaron nadar en la laguna 2 presentaron acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR (40%) y 3 no presentaron acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR (60%). De los que argumentaron no nadar en la laguna 11 presentaron acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR (14.7%), 52 no presentaron acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR (69.3%) y 12 no fueron determinados por falta de muestra (16%) (Figura 17C).

Con referencia al Hotel Las Palmas (Figura 17D) aunque no fue considerado en las fuentes de aprovechamiento es conocido por estudios realizados en la zona por (Martínez-Villegas et al., 2013) que dicho lugar sobrepasa los límites establecidos en la normatividad mexicana. Se encontró que para este sitio de los 80 individuos sometidos al estudio 10 declararon tener contacto con albercas del lugar (12.5%), y 70 no tener ningún contacto (87.5%). De los que sí tuvieron contacto 2 de ellos presentaron acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR (20%), 7 no presentaron acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el

humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR (70%) y 1 no fue determinado por falta de muestra (10%), de los que no tuvieron contacto 11 presentaron acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR (15.7%), 48 no presentaron acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR (68.6%) y 11 no fueron determinados por falta de muestra (15.7%).

No se encontró relación entre el contacto con zonas de riesgo y la presencia de individuos con acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR

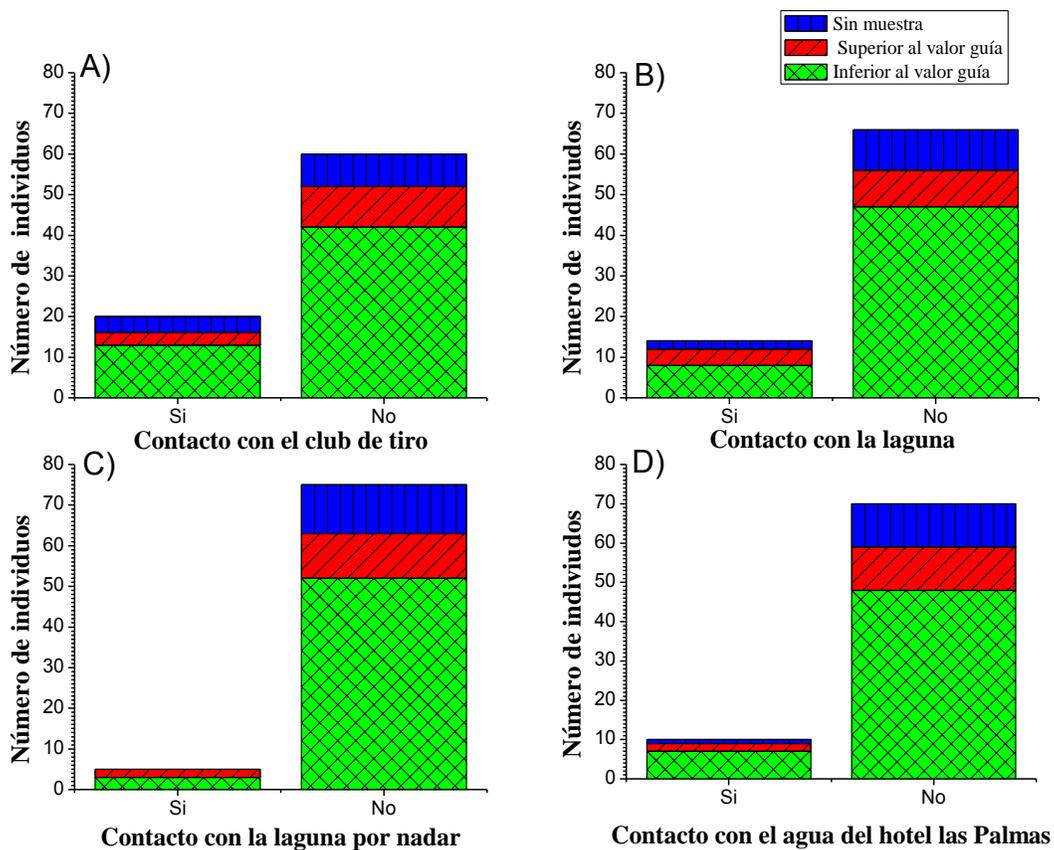


Figura 17. Número de individuos con contacto con lugares contaminados. A) Evidencia de contacto de los individuos sometidos al estudio con la zona del Club de tiro. B) Evidencia de contacto de los individuos sometidos al estudio con la zona la Laguna de Cerrito Blanco. C) Evidencia de contacto por nadar de los individuos sometidos al estudio en la zona Laguna Cerrito Blanco D) Evidencia de contacto de los individuos sometidos al estudio en la zona Hotel Las Palmas.

6.8 Arsénico en agua de uso doméstico

Una variante que también se consideró para la evaluación de exposición fue el agua utilizada en el aseo personal, ya que ésta entra en contacto directo con el individuo lo que puede favorecer una acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano.

La figura 18 nos muestra las concentraciones de arsénico medidas en el agua de aseo personal de los individuos sujetos al estudio, junto a la procedencia de la misma categorizada de acuerdo a sus concentraciones a diferentes normatividades. También se incluye la relación entre arsénico medido en cabello con arsénico medido en el agua de aseo personal.

Se analizaron 80 muestras de agua las cuales exhibieron rangos de concentraciones de arsénico de 0 a 3.24 mg/L (Figura 18A) (Tabla 5). El origen de las muestras analizadas fue: 63 muestras de la red pública (78.8%), 7 acarreadas (8.8%), 1 del tinaco público (1.25%), y 9 del aljibe (11.2%).

Se encontró que para el caso en particular de las muestras de la red pública el 41.2 % sobrepasó el marco normativo de la Nom-127-SSA-1996 (Secretaría de Salud, 2000), al igual que algunas de las muestras recolectadas del aljibe junto a una muestra del canal que no se incorporó en la gráfica 18b por la falta de veracidad en los datos declarados por el individuo sujeto al estudio (Figura 18B).

Se encontró que la acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR con referencia al agua de aseo personal estuvo presente tanto en muestras que no sobrepasaban el marco normativo Nom-127-SSA-1996 (Secretaría de Salud, 2000) como en aquellas muestras que sí lo sobrepasan. Se observó que del total de individuos que presentaron acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR 8 se agruparon en concentraciones mayores a 0.05 mg/L (61.6%) y 5 en concentraciones de 0.025 mg/L (38.4%) que es el límite establecido por la Nom-127-SSA-1996 (Secretaría de Salud, 2000) (Figura 18C).

Las concentraciones de arsénico en cabello no son función de las concentraciones de arsénico en agua de aseo personal puesto que la acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR está distribuida sobre concentraciones en norma, como fuera de ella. (Figura 18D)

Finalmente, las concentraciones de arsénico encontradas en agua para aseo personal no muestran una relación directa con la acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR. El origen del agua utilizada en esta actividad tampoco reveló relación alguna con la acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR, aunque sí hubo bastante

divergencia entre las concentraciones de arsénico encontradas en agua para aseo personal y lo que establece la normatividad mexicana NOM-127-SSA-1996, la cual dicta los límites máximos permisibles de contaminantes en agua de uso y consumo humano (0.025 mg/L). El 41.2 % de las muestras de agua de aseo personal sobrepasó dicha normatividad. Por lo que la vía dérmica puede ser considerada como una ruta de aporte.

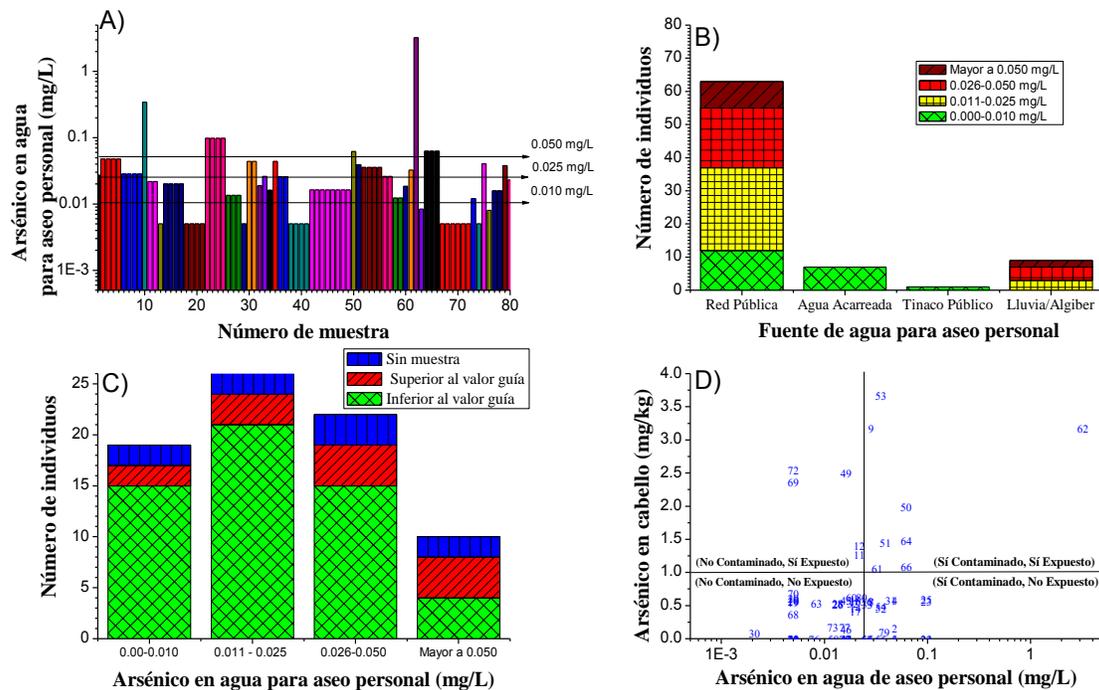


Figura 18. Concentraciones de arsénico en agua para aseo personal, origen del agua, número de individuos que sí presentan acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR y número de individuos que no presentan acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR según las concentraciones de arsénico en agua para para aseo personal. Las líneas negras representan los límites permisibles de arsénico en agua de consumo humano de acuerdo a la normatividad mexicana vigente (0.025 mg/L)(Secretaría de Salud, 2000), y el criterio de exposición a arsénico establecido por ATSDR. A) Concentraciones de arsénico medido en agua para aseo personal de los individuos estudiados. Las líneas horizontales indican los niveles guía de arsénico de la Organización Mundial de la Salud (0.010 mg/L) (“OMS | Arsénico,” 2012) , y la Secretaría de Salud (0.025 mg/L a partir de 2005 y 0.050 mg/L antes del 2005) (Secretaría de Salud, 2000) (Secretaría de Salud, 1996) B) número de individuos que sí presentan acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR y número de individuos que no presentan acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR según las concentraciones de arsénico de acuerdo al origen del agua para aseo personal. C) Número de individuos con acceso agua para para aseo personal no contaminada (<0.025 mg/L), ligeramente contaminada (0.025 a 0.050 mg/L) y muy contaminada (>0.050 mg/L). D) Concentraciones de arsénico en cabello humano contra las concentraciones de arsénico en agua para aseo personal. Las líneas negras representan los límites permisibles de arsénico en agua de consumo humano de acuerdo la normatividad mexicana vigente (0.025 mg/L) (Secretaría de Salud, 2000) y el criterio de exposición arsénico de ATSDR (1 mg/kg).

6.9 Arsénico en agua utilizada para lavar loza

Se evaluó el contacto con agua utilizada para lavar la loza (trastes) por ser una actividad que pudiera aportar a la exposición tanto por el uso de agua contaminada como por la acumulación de arsénico derivado del uso de dicha agua.

La Figura 19 muestra las concentraciones de arsénico medidas en el agua utilizada para lavar loza, asimismo muestra la fuente de la cual proviene. También indica la clasificación de las concentraciones de acuerdo a diferentes normatividades y la presencia de acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR. Además se presenta la relación entre concentraciones de arsénico en cabello y concentraciones de arsénico en agua para lavar loza. Los rangos de arsénico encontrados para las 80 muestras de agua derivadas de la zona de estudio fueron desde 0 hasta 3.24 mg/L (Figura 19A) (Tabla 5).

De las 80 muestras analizadas: 63 provenían de la red pública, 7 de agua acarreada, 1 del tinaco público y 9 del aljibe. Se encontró que para el caso en particular de las muestras de la red pública el 41.2 % sobrepasó el marco normativo de la Nom-127-SSA-1996 (Secretaría de Salud, 2000), al igual que algunas de las muestras recolectadas del aljibe junto a una muestra del canal que no se incorporó en la gráfica 18b por la falta de veracidad en los datos declarados por el individuo sujeto al estudio (Figura 19B).

Se encontró que la acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR con referencia al agua de aseo personal estuvo presente tanto en muestras que no sobrepasaban el marco normativo Nom-127-SSA-1996 (Secretaría de Salud, 2000) como en aquellas muestras que sí lo sobrepasan. Se observó que del total de individuos que presentaron acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR, 8 se agruparon en concentraciones mayores a 0.05 mg/L (61.6%) y 5 en concentraciones de 0.025 mg/L (38.4%) que es el límite establecido por la Nom-127-SSA 1994 (Figura 19C).

Las concentraciones de arsénico en cabello no son función de las concentraciones de arsénico en agua de lavar loza puesto que la acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR está distribuida en concentraciones superiores e inferiores a la establecida en la norma. (Figura 19D)

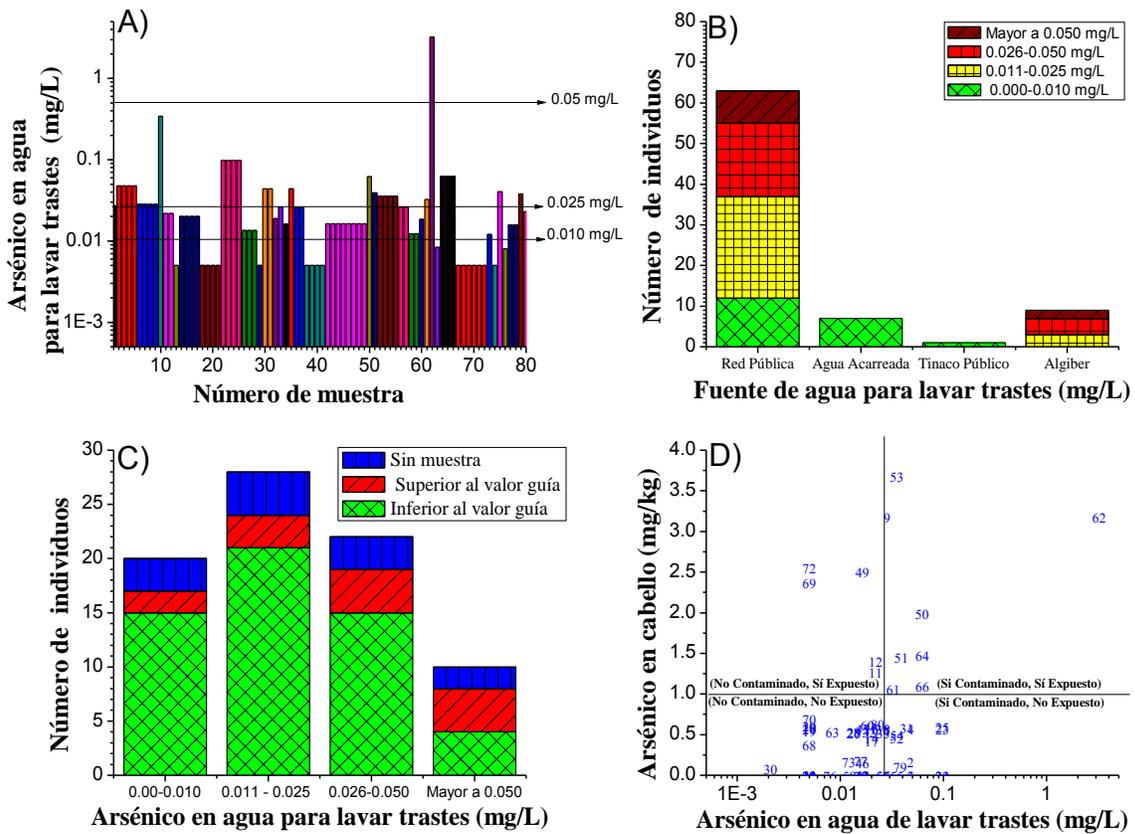


Figura 19. Concentraciones de arsénico en agua para lavar loza (trastes) , origen del agua, número de individuos que sí presentan acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR y número de individuos que no presentan acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR según las concentraciones de arsénico en agua para lavar trastes y concentraciones de arsénico en cabello humano. Las líneas negras representan los límites permisibles de arsénico en agua de consumo humano de acuerdo a la normatividad mexicana vigente (0.025 mg/L)(Secretaría de Salud, 2000), y el criterio de exposición a arsénico establecido por ATSDR. A) Concentraciones de arsénico medido en agua para lavar trastes de los individuos estudiados. Las líneas horizontales indican los niveles guía de arsénico de la Organización Mundial de la Salud (0.010 mg/L) (“OMS | Arsénico,” 2012) , y la Secretaría de Salud (0.025 mg/L a partir de 2005 y 0.050 mg/L antes del 2005) (Secretaría de Salud, 1996). B) número de individuos que sí presentan acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR y número de individuos que no presentan acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR de acuerdo al origen del agua para lavar trastes. C) Número de individuos con acceso agua para lavar trastes no contaminada (<0.025 mg/L), ligeramente contaminada (0.025 a 0.050 mg/L) y muy contaminada (>0.050 mg/L). D) Concentraciones de arsénico en cabello humano contra las concentraciones de arsénico en agua para lavar trastes. Las líneas negras representan los límites permisibles de arsénico en agua de consumo humano de acuerdo la normatividad mexicana vigente (0.025 mg/L) (Secretaría de Salud, 2000) y el criterio de exposición arsénico de ATSDR (1 mg/kg).

Discusión

En relación a lo que hemos venido mencionando a lo largo de esta tesis, la exposición al arsénico puede ocasionar la absorción del contaminante, lo cual se manifiesta en acumulación del mismo en el humano. Además, se sabe, que el arsénico puede ingresar al organismo por tres vías: la vía oral, la vía dérmica y la vía de inhalación (ATSDR, 2007). La acumulación de arsénico en el humano se puede medir, entre otros, a través de la concentración de arsénico en cabello debido a la alta afinidad que presenta este elemento por los grupos sulfhídricos de proteínas como la queratina presentes en el tejido del cabello (ATSDR, 2009).

En este estudio se determinó la concentración de arsénico en cabello en habitantes de las poblaciones de Matehuala, Cerrito Blanco, Encarnación de Arriba y Encarnación de Abajo con la finalidad de esclarecer si presentan acumulación de arsénico en concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR (<1 mg/kg), situación que pudiera causar problemas a la salud de la población, si no de manera inmediata, si a largo plazo. Además, intentamos elucidar posibles vías de acumulación de arsénico en concentraciones superiores a los niveles guía de la ATSDR.

Acorde a lo mencionado en la literatura (ATSDR, 2009, 2007; Calabrese, 1992), la concentración de arsénico en cabello es función de la exposición al contaminante por la vía oral, la vía dérmica y la vía de inhalación de acuerdo al siguiente modelo:

$$\text{Arsénico en cabello} = f(\text{vía oral, vía dérmica, vía inhalación})$$

Dentro de las vías de exposición oral, dérmica y de inhalación pueden existir varios factores de aporte entre los que se encuentran:

Vía oral	Vía dérmica	Vía de Inhalación
Consumo de alimentos contaminados	Contacto con productos de madera tratados	Despepitadoras
Agua contaminada	Contacto con conservadores que contiene arsénico	Fábricas de pesticidas
Suelo contaminado		Fundidoras
		Operaciones de manufactura de vidrio
		Humo de tabaco y

Vía oral	Vía dérmica	Vía de Inhalación
	Factores ocupacionales	Quema de combustibles fósiles que contienen arsénico

La acumulación de arsénico en el humano es entonces el resultado de lo que entra a éste por las vías oral, dérmica y de inhalación y se reporta que las principales rutas de entrada del arsénico al cuerpo humano son la vía oral y la vía de inhalación mientras que la vía dérmica se reporta como una ruta minoritaria (ATSDR, 2009). A pesar de que se considera que la vía dérmica contribuye a la acumulación de arsénico en el humano en proporciones menores a las vías oral y de inhalación, en este estudio se consideró importante investigar el papel que juega como vía de exposición en la acumulación de arsénico en cabello debido a las altas concentraciones de arsénico en agua que se han reportado en la zona (Martínez-Villegas et al., 2013), toda vez que la gente utiliza esta agua para fines agropecuarios, recreativos y domésticos. En contraste, la vía de inhalación no se estudió debido a que en el área no hay fábricas de pesticidas, fundidoras operando ni operaciones de manufactura de vidrio que pudieran contribuir a la acumulación de arsénico en el humano. Así, la acumulación de arsénico en cabello de los habitantes de la zona de estudio, se estudió en función de la aportación de las vías oral y dérmica como sigue y de acuerdo a los siguientes factores:

$$\text{Arsénico en cabello} = f(\text{vía oral, vía dérmica})$$

Vía oral	Vía dérmica	Vía de Inhalación
Agua para beber		----- -----
Agua utilizada para la preparación de alimentos	Agua de uso doméstico	----- -----
Agua para agricultura	Agua para agricultura	----- -----

Vía oral	Vía dérmica	Vía de Inhalación
Agua para ganadería	Agua para ganadería	----- -----
	Contacto	----- -----
Agua para lavar loza	Agua para lavar loza	----- -----
Agua aprovechamientos hídricos	Agua aprovechamientos hídricos	----- -----

Comparado los resultados de este estudio con otros, las concentraciones de arsénico en cabello encontradas en esta investigación son relativamente bajas. Por ejemplo estudios realizados por Armienta et al. (2007), reportan concentraciones de arsénico en cabello que varían de 2.6 a 14.10 mg/kg con un promedio de 10.15 ± 2.5 mg/Kg en personas que ingieren agua de beber contaminada hasta con 1 mg/L. En esta investigación, las concentraciones de arsénico en cabello variaron de 0.001 a 3.6 mg/Kg con un promedio de 0.6 ± 0.8 mg/Kg en personas que consumen agua de beber con hasta 0.495 mg/L que podrían resultar en una menor acumulación de arsénico en el humano y por consecuencia en una menor acumulación de arsénico en cabello con respecto al otro estudio.

En otro estudio realizado por Yáñez et al. (2005) se reportan ingestas de agua contaminada con arsénico en concentraciones de 1.2 mg/L para la región de Illatapa y 0.012 mg/L para la región de Esquiña con correspondencias de arsénico en cabello en rangos promedio para los dos sitios de 0.06 mg/K a 5.8 mg/kg. Los valores de arsénico en cabello anteriores son parecidos a los reportados en este estudio aunque la correspondencia en las concentraciones de arsénico en agua no es similar.

Por otra parte, al momento de relacionar presencia de enfermedades con individuos con acumulación de arsénico en concentraciones superiores a los niveles guía del ATSDR no se encontró relación alguna muy probablemente debido a que la presencia de efectos se ha observado a concentraciones más altas. Los resultados observados por Armienta et al. (2007) y Cebrian et al. (1994) apoyan nuestra inferencia. Armienta et al. (2007) mencionan presencia de hiperqueratosis en

individuos con concentraciones promedio de arsénico en cabello de 10.16 mg/kg, mientras que Cebrian et al. (1994) también reporta presencia de enfermedades en personas con acumulación de arsénico en cabello en rangos promedio de 9.9 mg/kg. En este estudio, la concentración máxima encontrada fue de 3.6 mg/kg, que es mínimo dos veces menos el valor donde ellos observaron presencia de efectos. Ahora bien las concentraciones a las que se presentan efectos no son valores fijos y pudieran presentarse incluso a valores inferiores al mencionado puesto que la toxicocinética de cada organismo es diferente, y los daños a la salud no son procesos puntuales por lo que cursan intervalos de aparición por lo que en este aspecto se requiere un monitoreo más a fondo que permita definir bien este punto.

La evaluación del agua utilizada para beber en nuestro estudio encontró que la misma no es segura para su consumo ya que presentó concentraciones de arsénico en rangos 0.001-0.495 mg/L.

Aunque no observamos relación entre la acumulación de arsénico a niveles superiores al valor guía del ATSDR y las concentraciones de arsénico en agua para beber, la falta de relación puede ser explicada en términos de que las concentraciones de arsénico en agua para beber no provienen de fuentes puntuales contaminadas, y las concentraciones que se ingieren por esta ruta no siempre son las mismas. En el caso de los estudios de Armienta et al. (1997) y Yañez et al. (2005) tenían bien identificada la fuente de arsénico ya que su origen es la contaminación natural, en nuestro caso la investigación surge en un espacio bajo una contaminación antropogénica en donde un principio se suponía que el agua ingerida por los habitantes era segura ya que el agua usada para beber no provenía de las fuentes antropogénicas contaminadas previamente identificadas, si no que era obtenida de garrafones cuyas fuentes comerciales siguen ciertas directrices que aseguran la calidad de la misma.

Adicional al agua de beber, en nuestra investigación se valoró la importancia que pueden tener alimentos contaminados en la ingesta de arsénico y por consiguiente en los aporte en la acumulación. En nuestro estudio se encontró que para llevar a cabo la elaboración de diversos alimentos se utiliza agua contaminada que proviene de garrafones y por tanto al igual que el agua para beber presenta concentraciones de arsénico en valores superiores a la normatividad mexicana permitida. Por lo tanto puede considerarse que el agua utilizada en la preparación de alimentos es un factor que puede contribuir a la presencia de arsénico en cabello a niveles superiores al valor guía de la ATSDR. Es importante mencionar que los procesos que involucran la preparación de alimentos tales como calentamiento y evaporación pudiera favorecer que la concentración del toxico y por ende la entrada al organismo en concentraciones superiores.

Por otra parte y con referencia a lo reportado en este estudio sobre actividades agropecuarias y su relación con la exposición al arsénico, diversos estudios como los realizados por Huq et al. (2006) y Ahmed et al. (2001) apuntan a considerar que factores como la irrigación de cultivos con agua contaminada favorece la entrada de arsénico al organismo. En esta investigación casi la mitad de la población estudiada argumentó practicar agricultura (46.3%), además de usar agua de aprovechamientos hídricos contaminados con arsénico para irrigar sus parcelas de cultivo (Figura 15B). Sumado a lo anterior De la garza-Varela. (2015) y Ruiz-Huerta. (2012) han reportado enriquecimiento de los suelos con arsénico en lugares donde se practica la agricultura en esta zona, así como acumulación de arsénico en cultivos de maíz consumidos por individuos de la zona de estudio.

No existen muchos estudios que muestren la implicación de la práctica ganadería y su relación con exposición al arsénico. Además en nuestro país no existe un valor guía establecido para uso de agua contaminada con arsénico en actividades de esta índole, pero con referencia al valor guía de USEPA para uso de agua contaminada con arsénico en alimentación de ganado (0.05 mg/L), podemos resaltar que el agua utilizada en la práctica de ganadería en esta investigación no es segura para su uso en la misma ya que la mayoría de ellos sobrepasa este valor guía.

En nuestro estudio se encontró que 41.3% de la población sujeta al estudio practicaba la ganadería y que algunos utilizaban el agua de aprovechamientos hídricos contaminados para el desarrollo de esta actividad 12.2%. Los alimentos producidos de esta actividad son posteriormente consumidos por los habitantes de la zona de estudio.

Aunque diversos autores sugieren que la vía dérmica es una vía de exposición menor en el caso de exposición al arsénico, en este estudio se consideró su evaluación debido a que las concentraciones de arsénico acuoso en la zona de estudio son muy altas, y en general esta vía se evalúa sobre condiciones ocupacionales tales como accidentes laborales en los que el tricloruro de arsénico o el ácido arsénico cayeron en la piel de algunos trabajadores, y no sobre cuestiones antropogénicas.

En nuestro estudio se valoró como factores de aporte de la vía dérmica el uso de agua para lavar loza y para aseo personal, y la visita alguno lugares contaminados con arsénico acuoso. Para el caso de uso de agua en lavar loza se observó que la mayoría de las personas utilizan agua no segura para llevar a cabo esta actividad, además que existe la posibilidad de que el uso de agua contaminada deje residuos en los utensilios que posteriormente son utilizados para la preparación o para el consumo de los alimentos lo que favorecería ingesta de arsénico por esta vía. De igual forma el agua utilizada para aseo personal no es segura representando un

riesgo adicional de posible aporte a la acumulación de arsénico para la población que la utiliza. El contacto con zonas recreativas con agua contaminada en nuestro estudio podría ser un factor importante de riesgo o de aporte a la acumulación de arsénico debido a sus altas concentraciones.

Conclusiones

A partir de la cuantificación de arsénico en cabello de habitantes de la ciudad de Matehuala y las poblaciones Cerrito Blanco, Encarnación de Arriba, y Encarnación de Abajo, se evidenció la acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR (>1 mg/kg) en 13 de 77 individuos estudiados (16.9%) que habitan en la vecindad del Club de Tiro, el canal del complejo hidráulico Matehuala-Cerrito Blanco y la población de Cerrito Blanco.

Geoespacialmente, la acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano, de acuerdo al valor guía de la ATSDR, coincide con la localización de aprovechamientos hídricos potenciales altamente contaminados con arsénico (8.3 mg/L hasta 74.02 mg/L). Esta agua se usa para actividades agropecuarias y recreativas por lo que la vía dérmica podría estar jugando un papel importante en la acumulación de arsénico en cabello en los habitantes del área de estudio.

Se encontró, además, que el 42.5 % del agua para beber y el 100% de agua de uso doméstico, de los individuos sometidos a este estudio, exceden el valor máximo permisible de arsénico en agua para consumo humano de 0.025 mg/L por lo que adicional a la exposición a agua contaminada en aprovechamientos hídricos, la ingesta de agua contaminada podría contribuir a la acumulación de arsénico en cabello en los individuos de Matehuala. Dicha acumulación podría exacerbarse por el consumo de maíz contaminado. Algunos de los habitantes utilizan agua de aprovechamientos hídricos contaminados para sus cultivos.

Son necesarios estudios ocupacionales sobre esta actividad para esclarecer su aporte a la acumulación de arsénico a concentraciones consideradas peligrosas para el humano de acuerdo al valor guía de la ATSDR.

Bibliografía

- Adinolfi, M., 1985. The development of the human blood-CSF-brain barrier. *Dev. Med. Child Neurol.* 27, 532–537.
- Ahmed, K.M., Bhattacharya, P., Hasan, M.A., Akhter, S.H., Alam, S.M.M., Bhuyian, M.A.H., Imam, M.B., Khan, A.A., Sracek, O., 2004. Arsenic enrichment in groundwater of the alluvial aquifers in Bangladesh: an overview. *Appl. Geochem.* 19, 181–200. doi:10.1016/j.apgeochem.2003.09.006
- Ahmed, K.M., Bhattacharya, P., Hasan, M.A., Akhter, S.H., Alam, S.M.M., Bhuyian, M.A.H., Imam, M.B., Khan, A.A., Sracek, O., 2001. Arsenic enrichment in groundwater of the alluvial aquifers in Bangladesh: an overview. Presented at the International Biohydrometallurgy Symposium, pp. 181–200. doi:10.1016/j.apgeochem.2003.09.006
- Aldroobi, K.S.A., Shukri, A., Bauk, S., Munem, E.M.A., Abuarra, A.M.A., 2013. Determination of arsenic and mercury level in scalp hair from a selected population in Penang, Malaysia using XRF technique. *Radiat. Phys. Chem.* 91, 9–14. doi:10.1016/j.radphyschem.2013.06.004
- Alonso, M.L., Benedito, J.L., Miranda, M., Castillo, C., Hernández, J., Shore, R.F., 2002. Interactions between toxic and essential trace metals in cattle from a region with low levels of pollution. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 42, 165–172.
- Altman, P., Dittmer, D., 1974. In: *Biological handbooks: Biology data book*.
- Ant, J., Rudnitski, K., Schmidt, B., Speelman, E., Nobouphasavanh, S., 1997. Environmental Risk Assessment of Spraying Landfill Leachate on the Guelph Turfgrass Institute (GTI) Site: Focus on Lead and Arsenic. Guelph, Ontario, Canada.
- Aposhian, H.V., Zakharyan, R.A., Avram, M.D., Sampayo-Reyes, A., Wollenberg, M.L., 2004. A review of the enzymology of arsenic metabolism and a new potential role of hydrogen peroxide in the detoxication of the trivalent arsenic species. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 198, 327–335. doi:10.1016/j.taap.2003.10.027
- Apostoli, P., Bartoli, D., Alessio, L., Buchet, J.P., 1999. Biological monitoring of occupational exposure to inorganic arsenic. *Occup. Environ. Med.* 56, 825–832.
- Armienta, A., Rodríguez, R., Villaseñor, G., Aguayo, A., Cisneros, N.E., Juárez, F., Méndez, T., 1993. Estudio de reconocimiento de la contaminación por arsénico en la zona de Zimapán, Hidalgo, informe técnico del Instituto de Geofísica/UNAM al Municipio de Zimapán.
- Armienta, M.A., Rodríguez, R., Cruz, O., 1997. Arsenic Content in Hair of People Exposed to Natural Arsenic Polluted Groundwater at Zimapán, México. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 59, 583–589. doi:10.1007/s001289900519
- Armienta, M.A., Villasenor, G., Rodriguez, R., Ongley, L.K., Mango, H., 2001. The role of arsenic-bearing rocks in groundwater pollution at Zimapan Valley, Mexico. *Environ. Geol.* 40, 571–581.
- Arreguin-Cortés, F.I., Chaves-Guillen, R., Soto-Navarro, P., 2009. Una revisión de la presencia de arsénico en el agua subterránea en México. *Tlálac AMH* 45.
- ATSDR, 2009. Estudios de Caso en Medicina Ambiental | ATSDR - CSEM.
- ATSDR, 2007. ATSDR - Toxicological Profile: Arsenic.
- ATSDR - Public Health Statement: Arsenic [WWW Document], 2014. URL <http://www.atsdr.cdc.gov/phs/phs.asp?id=18&tid=3> (accessed 10.29.14).
- ATSDR - Resumen de Salud Pública: Arsénico (Arsenic) [WWW Document], 2015. URL http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs2.html (accessed 2.21.15).

- ATSDR - Toxicological Profile: Arsenic [WWW Document], 2014. URL <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp.asp?id=22&tid=3> (accessed 12.29.14).
- Azcue, J.M., Nriagu, J.O., 1995. Impact of abandoned mine tailings on the arsenic concentrations in Moira Lake, Ontario. *J. Geochem. Explor., Heavy Metal Aspects of Mining Pollution and Its Remediation* 52, 81–89. doi:10.1016/0375-6742(94)00032-7
- Baxley, M.N., Hood, R.D., Vedel, G.C., Harrison, W.P., Szczech, G.M., 1981. Prenatal toxicity of orally administered sodium arsenite in mice. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 26, 749–756. doi:10.1007/BF01622166
- BGS, DPHE, 2001. Arsenic contamination of groundwater in Bangladesh. In: Kinniburgh D.G., Smedley P.L. (eds.) Volume 1: Summary. BGS Technical Report WC/00/19, British Geological Survey.
- Bhattacharjee, Y., 2007. A Sluggish Response to Humanity's Biggest Mass Poisoning. *Science* 315, 1659–1661. doi:10.1126/science.315.5819.1659
- Bhatti, S.M., Anderson, C.W.N., Stewart, R.B., Robinson, B.H., 2013. Risk assessment of vegetables irrigated with arsenic-contaminated water. *Environ. Sci. Process. Impacts* 15, 1866. doi:10.1039/c3em00218g
- Bhopal, R.S., 2015. A dictionary of epidemiology, sixth edition. *Ann. Epidemiol.* 25, 63–64. doi:10.1016/j.annepidem.2014.09.011
- Bleecker, M., 2007. Toxic Peripheral Neuropathy. 2007. In: Rom W and Markowitz S eds. *Environmental and Occupational Medicine*, 4th ed. Lippincott Williams & Wilkins.
- Borgoño, J.M., Vicent, P., Venturino, H., Infante, A., 1977. Arsenic in the drinking water of the city of Antofagasta: epidemiological and clinical study before and after the installation of a treatment plant. *Environ. Health Perspect.* 19, 103–105.
- Borgoño, J., Venturino, H., Vicente, P., 1980. Clinical and epidemiological study of arsenism in northern Chile. *Rev Med Chile* 108, 1039–1048.
- Bothe, J.V., Brown, P.W., 1999. Arsenic immobilization by calcium arsenate formation. *Environ. Sci. Technol.* 33, 3806–3811. doi:10.1021/es980998m
- Boyle, D.R., Turner, R.J.W., Hall, G.E.M., 1998. Anomalous arsenic concentrations in groundwaters of an island community, Bowen Island, British Columbia. *Environ. Geochem. Health* 20, 199–212. doi:10.1023/A:1006597311909
- Brammer, H., 2009. Mitigation of arsenic contamination in irrigated paddy soils in South and South-east Asia. *Environ. Int.* 35, 856–863. doi:10.1016/j.envint.2009.02.008
- Brookins, D.G., 1988. *Eh-Ph Diagrams for Geochemistry*. Springer Verlag.
- Buchet, J.P., Lauwerys, R., Roels, H., 1981. Comparison of the urinary excretion of arsenic metabolites after a single oral dose of sodium arsenite, monomethylarsonate, or dimethylarsinate in man. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 48, 71–79.
- Bundschuh, J., Armienta, M.A., Birkle, P., Bhattacharya, P., Matschullat, J., Mukherjee, A.B., 2008. *Natural Arsenic in Groundwaters of Latin America*. CRC Press.
- Bundschuh, J., Pérez-Carrera, A., Litter, M.I., 2008. *IBEROARSEN: Distribución del arsénico en las regiones Ibérica e Iberoamericana*. CYTED, Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.
- Caballero-Gutiérrez, P.U., Carrillo-Rodríguez, J.C., Gomez-Ugalde, R.M., Jerez-Salas, M.P., 2010. *Presencia De Arsénico En Pozos Y En Cultivos En Oaxaca, México* [WWW Document]. *Agron. Mesoam.* URL <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=43713870018> (accessed 5.17.15).
- Cáceres, V.L., Gruttner, D.E., Contreras, N.R., 1992. Water Recycling in Arid Regions: Chilean Case. *Ambio* 21, 138–144.
- Calabrese, E.J., 1992. *ATSDR Public Health Assessment Guidance Manual*. CRC Press.

- Caldwell, K.L., Jones, R.L., Verdon, C.P., Jarrett, J.M., Caudill, S.P., Osterloh, J.D., 2009. Levels of urinary total and speciated arsenic in the US population: National Health and Nutrition Examination Survey 2003-2004. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 19, 59–68. doi:10.1038/jes.2008.32
- Castillo, F., Avalos-Borja, M., Razo-Flores, E., Villalobos, M., Jamieson, H.E., Martínez-Villegas, N., 2014. Identification of diagenetic calcium arsenates using synchrotron-based micro X-ray diffraction. Presented at the 5th International Congress on Arsenic in the Environment.
- Castro-Larragoitia, J., Kramar, U., Puchelt, H., 1997. 200 years of mining activities at La Paz/San Luis Potosí/Mexico — Consequences for environment and geochemical exploration. *J. Geochem. Explor., Geochemical Exploration* 1995, II 58, 81–91. doi:10.1016/S0375-6742(96)00054-4
- Cebrián, M.E., Albores, A., Aguilar, M., Blakely, E., 1983a. Chronic arsenic poisoning in the north of Mexico. *Hum. Toxicol.* 2, 121–133.
- Cebrián, M.E., Albores, A., Aguilar, M., Blakely, E., 1983b. Chronic arsenic poisoning in the north of Mexico. *Hum. Toxicol.* 2, 121–133.
- Cebrian, M.E., Albores, A., Garcia-Vargas, G.G., Razo, L.M.D., 1994. Chronic arsenic poisoning in humans: the case of Mexico. *Arsen. Environ. Part II* 2.
- Chaineau, E., Binet, S., Pol, D., Chatellier, G., Meininger, V., 1990. Embryotoxic effects of sodium arsenite and sodium arsenate on mouse embryos in culture. *Teratology* 41, 105–112. doi:10.1002/tera.1420410111
- Chakraborti, D., Mukherjee, S.C., Saha, K.C., Chowdhury, U.K., Rahman, M.M., Sengupta, M.K., 2003. Arsenic toxicity from homeopathic treatment. *J. Toxicol. Clin. Toxicol.* 41, 963–967.
- Chávez V., A., Bogrand, R., Ramírez, J., Pérez Hidalgo, C., Hernández, M., Rojas, A., 1964. Estudios en una comunidad con arsenicismo crónico endémico: I datos generales de la comunidad. *Salud Publica Méx* 6, 421–33.
- Chiprés, J.A., Castro-Larragoitia, J., Monroy, M.G., 2009. Exploratory and spatial data analysis (EDA–SDA) for determining regional background levels and anomalies of potentially toxic elements in soils from Catorce–Matehuala, Mexico. *Appl. Geochem., Geochemical Studies of North American Soils: Results from the Pilot Study Phase of the North American Soil Geochemical Landscapes Project* 24, 1579–1589. doi:10.1016/j.apgeochem.2009.04.022
- Chowdhury, U.K., Biswas, B.K., Chowdhury, T.R., Samanta, G., Mandal, B.K., Basu, G.C., Chanda, C.R., Lodh, D., Saha, K.C., Mukherjee, S.K., Roy, S., Kabir, S., Quamruzzaman, Q., Chakraborti, D., 2000. Groundwater arsenic contamination in Bangladesh and West Bengal, India. *Environ. Health Perspect.* 108, 393–397.
- Chung, J.S., Kalman, D.A., Moore, L.E., Kosnett, M.J., Arroyo, A.P., Beeris, M., Mazumder, D.N.G., Hernandez, A.L., Smith, A.H., 2002. Family correlations of arsenic methylation patterns in children and parents exposed to high concentrations of arsenic in drinking water. *Environ. Health Perspect.* 110, 729–733.
- CNA [WWW Document], 2015. . CNA. URL <http://www.conagua.gob.mx/>
- Cohrssen, J.J., Covello, V.T., 1999. *Risk Analysis: A Guide to Principles and Methods for Analyzing Health and Environmental Risks*. DIANE Publishing.
- Coll-Hurtado, A., Sánchez-Salazar, M.T., Morales, J., 2002. *La minería en México*. UNAM.
- Coronado-Salas, C., Díaz-Barriga, F., Moreno-Sánchez, A.R., Carrizales-Yáñez, L., Torres-Nerio, R., Rentería-Guzmán, Y.J., Cubillas-Tejeda, A.C., 2012. La comunicación de riesgos como una herramienta para disminuir la exposición infantil a plomo y arsénico en la zona contaminada de Villa de la Paz-Matehuala, San Luis Potosí, México. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 28, 167–181.

- Cullen, W.R., Reimer, K.J., 1989. Arsenic speciation in the environment. *Chem. Rev.* 89, 713–764. doi:10.1021/cr00094a002
- Davey, D.C., 1941. Arsenic Poisoning in Cattle. *Can. J. Comp. Med. Vet. Sci.* 5, 268–269.
- DEFRA, D. for E.F.& R.A., 2009. Protecting our water, soil and air: a code of good agricultural practice for farmers, growers and land managers. The Stationery Office, United Kingdom.
- DEFRA, EA, 2002a. Contaminants in Soil: Collation of Toxicological Data and Intake Values for Humans. Arsenic. London: R&D Tox. 1, Department for the Environment, Food and Rural Affairs and the Environment Agency. Environment Agency, Bristol, England.
- DEFRA, EA, 2002b. Soil Guideline Value for Arsenic Contamination. London: Department for the Environment, Food and Rural Affairs and the Environment Agency. Bristol, England.
- De La Garza-Varela, A., 2015. Evaluación de la solubilidad y disponibilidad de arsénico en suelos de cultivo irrigados con agua contaminada en Matehuala, S.L.P. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, S.L.P., México.
- Del Razo, L.M., Arellano, M.A., Cebrián, M.E., 1990a. The oxidation states of arsenic in well-water from a chronic arsenicism area of northern Mexico. *Environ. Pollut. Barking Essex* 1987 64, 143–153.
- Del Razo, L.M., Arellano, M.A., Cebrián, M.E., 1990b. The oxidation states of arsenic in well-water from a chronic arsenicism area of Northern Mexico. *Environ. Pollut.* 64, 143–153. doi:10.1016/0269-7491(90)90111-O
- Diaz-Barriga, F., Batres, L., Calderon, J., Lugo, A., Galvao, L., Lara, I., Rizo, P., Arroyave, M.E., McConnell, R., 1997. The El Paso smelter 20 years later: Residual impact on Mexican children. *Environ. Res.* 74, 11–16.
- DOW, 2009a. Surface water sampling methods and analysis-technical appendices. Standard operating procedures for water sampling-methods and analysis, Department of Water. ed. Government of Western Australia, Australia.
- DOW, 2009b. Field sampling guidelines: A guideline for field sampling for surface water quality monitoring programs., Department of Water. ed. Government of Western Australia, Australia.
- Duxbury, J., Panaullah, G., 2007. Remediation of arsenic for agriculture sustainability, food security and health in Bangladesh [WWW Document].
- Duxbury, J., Zavala, Y.J., 2005. What are safe levels of arsenic in food and soils? Presented at the Symposium on the Behaviour of Arsenic in Aquifers, Soils and Plants: Implications for Management, Dhaka., Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo and the U.S. Geological Survey.
- Edmunds, W., Cook, J., Kinniburgh, K., Miles, D., Trafford, J., 1990. Trace Elements Occurrences in British Groundwaters. British Geological Survey, Keyworth.
- El Bahri, L., Ben Romdane, S., 1991. Arsenic poisoning in livestock. *Vet. Hum. Toxicol.* 33, 259–264.
- Evaluación de salud pública II - Evaluación de vías de exposición: ¿Qué es una evaluación de vías de exposición | ATSDR - Curso de capacitación [WWW Document], 2015. URL http://www.atsdr.cdc.gov/es/training/pha_professional2/module2/sv2.html (accessed 4.9.15).
- Faita, F., Cori, L., Bianchi, F., Andreassi, M.G., 2013. Arsenic-Induced Genotoxicity and Genetic Susceptibility to Arsenic-Related Pathologies. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 10, 1527–1546. doi:10.3390/ijerph10041527
- Falk, H., Caldwell, G.G., Ishak, K.G., Thomas, L.B., Popper, H., 1981. Arsenic-related hepatic angiosarcoma. *Am. J. Ind. Med.* 2, 43–50.

- Fendorf, S., Kocar, B.D., 2009. Biogeochemical processes controlling the fate and transport of arsenic: implications for south and southeast asia, in: Sparks, D.L. (Ed.), *Advances in Agronomy*, Volume 104, *Advances in Agronomy*. Academic Press, pp. 137–164.
- Foy, H.M., Tarmapai, S., Eamchan, P., Metdilokkul, O., 1992. Chronic arsenic poisoning from well water in a mining area in Thailand. *Asia-Pac. J. Public Health Asia-Pac. Acad. Consort. Public Health* 6, 150–152.
- Fuentes-Diaz, M., 2005. Arsénico en las incrustaciones en las redes de distribución de agua potable en el norte de México y su desprendimiento. *Agua Latinoam.* 5, 15–17.
- Galvao, L.A., Corey, G., 1987. Serie Vigilancia 3. Arsenico.
- Gamiño-Gutiérrez, S.P., González-Pérez, C.I., Gonsebatt, M.E., Monroy-Fernández, M.G., 2013. Arsenic and lead contamination in urban soils of Villa de la Paz (Mexico) affected by historical mine wastes and its effect on children's health studied by micronucleated exfoliated cells assay. *Environ. Geochem. Health* 35, 37–51. doi:10.1007/s10653-012-9469-8
- García, F.P., Hernández, J.C., Gutiérrez, A.D.R., Méndez, J.P., Martínez, A.J.G., Marzo, M.A.M., 2007. Acumulación de arsénico en el cultivo de habas (Vicia faba). *Agron. Costarric.* 31.
- García-Gutiérrez, C., 1967. *Geología y Paragenesis Del Distrito Minero De Matehuala, San Luis Potosí, México.*
- Grimaldo, M., Borja-Aburto, V.H., Ramírez, A.L., Ponce, M., Rosas, M., Díaz-Barriga, F., 1995. Endemic fluorosis in San Luis Potosi, Mexico. I. Identification of risk factors associated with human exposure to fluoride. *Environ. Res.* 68, 25–30.
- Hanlon, D.P., Ferm, V.H., 1977. Placental permeability of arsenate ion during early embryogenesis in the hamster. *Experientia* 33, 1221–1222. doi:10.1007/BF01922340
- Hasegawa, H., Matsui, M., Okamura, S., Hojo, M., Iwasaki, N., Sohrin, Y., 1999. Arsenic speciation including “hidden” arsenic in natural waters. *Appl. Organomet. Chem.* 13, 113–119. doi:10.1002/(SICI)1099-0739(199902)13:2<113::AID-AOC837>3.0.CO;2-A
- Hasegawa, H., Sohrin, Y., Matsui, M., Hojo, M., Kawashima, M., 1994. Speciation of Arsenic in Natural Waters by Solvent Extraction and Hydride Generation Atomic Absorption Spectrometry. *Anal. Chem.* 66, 3247–3252. doi:10.1021/ac00091a039
- Heikens, A., 2006. Arsenic contamination of irrigation water, soil and crops in Bangladesh: Risk implications for sustainable agriculture and food safety in Asia. *Food and Agriculture Organization, FAO-RAP, Bangkok.*
- Heikens, A., Panaullah, G.M., Meharg, A.A., 2007. Arsenic Behaviour from Groundwater and Soil to Crops: Impacts on Agriculture and Food Safety, in: Whitacre, D.M., Ware, D.G.W., Nigg, D.H.N., Doerge, D.D.R., Albert, L.A., Voogt, P. de, Gerba, C.P., Hutzinger, O., Knaak, J.B., Mayer, F.L., Morgan, D.P., Park, D.L., Tjeerdema, R.S., Yang, R.S.H., Gunther, F.A. (Eds.), *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. Springer New York, pp. 43–87.
- Hindmarsh, J.T., 2002. Caveats in hair analysis in chronic arsenic poisoning. *Clin. Biochem.* 35, 1–11.
- Hinwood, A.L., Sim, M.R., Jolley, D., de Klerk, N., Bastone, E.B., Gerostamoulos, J., Drummer, O.H., 2003. Hair and toenail arsenic concentrations of residents living in areas with high environmental arsenic concentrations. *Environ. Health Perspect.* 111, 187–193. doi:10.1289/ehp.5455
- Holson, J.F., Stump, D.G., Clevidence, K.J., Knapp, J.F., Farr, C.H., 2000. Evaluation of the prenatal developmental toxicity of orally administered arsenic trioxide in rats. *Food Chem. Toxicol.* 38, 459–466. doi:10.1016/S0278-6915(00)00015-6

- Hood, R.D., 1998. Developmental Effects of Methylated Arsenic Metabolites in Mice. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 61, 231–238. doi:10.1007/s001289900753
- Hood, R.D., Harrison, W.P., 1982. Effects of prenatal arsenite exposure in the hamster. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 29, 671–678. doi:10.1007/BF01606106
- Huang, R.-Q., Gao, S.-F., Wang, W.-L., Stuanton, S., Wang, G., 2006. Soil arsenic availability and the transfer of soil arsenic to crops in suburban areas in Fujian Province, southeast China. *Sci. Total Environ.* 368, 531–541. doi:10.1016/j.scitotenv.2006.03.013
- Hughes, M.F., 2006. Biomarkers of Exposure: A Case Study with Inorganic Arsenic. *Environ. Health Perspect.* 114, 1790–1796. doi:10.1289/ehp.9058
- Huq, S.M.I., Joardar, J.C., Parvin, S., Correll, R., Naidu, R., 2006. Arsenic Contamination in Food-chain: Transfer of Arsenic into Food Materials through Groundwater Irrigation. *J. Health Popul. Nutr.* 24, 305–316.
- IARC, 2004. Monograph on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans. Some Drinking Water Disinfectant and Contaminants, Including Arsenic. Lyon, France: International Agency for Reserach on Cancer.
- INEGI, 2015. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) [WWW Document]. INEGI. URL <http://www.inegi.org.mx/> (accessed 1.7.15).
- INEGI, 2000. Tabulados temáticos sobre la población con discapacidad. XII Censo General de Población y Vivienda 2000.
- Jasso-Pineda, Y., Espinosa-Reyes, G., González-Mille, D., Razo-Soto, I., Carrizales, L., Torres-Dosal, A., Mejia-Saavedra, J., Monroy, M., Ize, A.I., Yarto, M., Díaz-Barriga, F., 2007. An integrated health risk assessment approach to the study of mining sites contaminated with arsenic and lead. *Integr. Environ. Assess. Manag.* 3, 344–350.
- Johanson, C.E., 1980. Permeability and vascularity of the developing brain: cerebellum vs cerebral cortex. *Brain Res.* 190, 3–16.
- Kersjes, M.P., Maurer, J.R., Trestrail, J.H., McCoy, D.J., 1987. An analysis of arsenic exposures referred to the Blodgett Regional Poison Center. *Vet. Hum. Toxicol.* 29, 75–78.
- Kitchin, K.T., 2001. Recent advances in arsenic carcinogenesis: modes of action, animal model systems, and methylated arsenic metabolites. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 172, 249–261. doi:10.1006/taap.2001.9157
- Komori, M., Nishio, K., Kitada, M., Shiramatsu, K., Muroya, K., Soma, M., Nagashima, K., Kamataki, T., 1990. Fetus-specific expression of a form of cytochrome P-450 in human livers. *Biochemistry (Mosc.)* 29, 4430–4433. doi:10.1021/bi00470a024
- Kuhn, A., Sigg, L., 1993. Arsenic cycling in eutrophic Lake Greifen, Switzerland: Influence of seasonal redox processes. *Limnol. Oceanogr.* 38, 1052–1059. doi:10.4319/lo.1993.38.5.1052
- Kyle, R.A., Pease, G.L., 1965. Hematologic Aspects of Arsenic Intoxication. *N. Engl. J. Med.* 273, 18–23. doi:10.1056/NEJM196507012730104
- Lansdown, A.B.G., 1995. Physiological and Toxicological Changes in the Skin Resulting from the Action and Interaction of Metal Ions. *Crit. Rev. Toxicol.* 25, 397–462. doi:10.3109/10408449509049339
- Leeder, J.S., Kearns, G.L., 1997. PHARMACOGENETICS IN PEDIATRICS: Implications for Practice. *Pediatr. Clin. North Am.* 44, 55–77. doi:10.1016/S0031-3955(05)70463-6
- Lew, K., 2008. Biological Monitoring of Arsenic for Exposure Determination. University of Alberta (Canada).
- Lillo, J., 2003. Peligros geoquímicos: arsénico de origen natural en las aguas.
- Litter, M.I., Armienta, M., Farias, S., 2009. Metodologías analíticas para la determinación y especiación de arsénico en aguas y suelos. CYTED.

- Litter, M.I., Bundschuh, J., 2010. IBEROARSEN: Situación del arsénico en la Región Ibérica e Iberoamericana. Posibles acciones articuladas e integradas para el abatimiento del arsénico en zonas aisladas. CYTED, Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.
- López Alonso, M., Benedito, J.L., Miranda, M., Castillo, C., Hernández, J., Shore, R.F., 2002. Cattle as biomonitors of soil arsenic, copper, and zinc concentrations in Galicia (NW Spain). *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 43, 103–108. doi:10.1007/s00244-002-1168-5
- López Alonso, M., Benedito, J.L., Miranda, M., Castillo, C., Hernández, J., Shore, R.F., 2000a. Arsenic, cadmium, lead, copper and zinc in cattle from Galicia, NW Spain. *Sci. Total Environ.* 246, 237–248.
- López Alonso, M., Benedito, J.L., Miranda, M., Castillo, C., Hernández, J., Shore, R.F., 2000b. Toxic and trace elements in liver, kidney and meat from cattle slaughtered in Galicia (NW Spain). *Food Addit. Contam.* 17, 447–457. doi:10.1080/02652030050034028
- Maest, M., A. S, Pasilis, S.P., Miller, L., Nordstrom, D., 1992. Redox geochemistry of arsenic and iron in Mono Lake, California, USA. In: Kharaka, Y.K., Maest, A.S.(Eds.), *Proc.7th Internat. Symp. Water-Rock Interaction*. A.A. Balkema, Rotterdam, 507–511.
- Mancilla-Villa, Ó.R., Ortega-Escobar, H.M., Ramírez-Ayala, C., Uscanga-Mortera, E., Ramos-Bello, R., Reyes-Ortigoza, A.L., 2012. METALES PESADOS TOTALES Y ARSÉNICO EN EL AGUA PARA RIEGO DE PUEBLA Y VERACRUZ, MÉXICO. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 28, 39–48.
- Marafante, E., Vahter, M., Norin, H., Envall, J., Sandström, M., Christakopoulos, A., Ryhage, R., 1987. Biotransformation of dimethylarsinic acid in mouse, hamster and man. *J. Appl. Toxicol.* JAT 7, 111–117.
- María, C.R., Rosa, 2008. Desarrollo de métodos analíticos automáticos para la determinación de metales en el medio ambiente laboral. Univ Santiago de Compostela.
- Marisa, G., González, D.E., Amoedo, D., 2009. Hidroarsenismo crónico regional endémico: un desafío diagnóstico y de prevención. *Arch. Argent. Pediatría* 107, 467–473.
- Martínez-Villegas, N., Briones-Gallardo, R., Ramos-Leal, J.A., Avalos-Borja, M., Castañón-Sandoval, A.D., Razo-Flores, E., Villalobos, M., 2013. Arsenic mobility controlled by solid calcium arsenates: A case study in Mexico showcasing a potentially widespread environmental problem. *Environ. Pollut.* 176, 114–122. doi:10.1016/j.envpol.2012.12.025
- McLaren, S.J., Kim, N.D., 1995. Evidence for a seasonal fluctuation of arsenic in New Zealand's longest river and the effect of treatment on concentrations in drinking water. *Environ. Pollut.* 90, 67–73. doi:10.1016/0269-7491(94)00092-R
- McLennan, M.W., Dodson, M.E., Kelly, J., 1972. Arsenic Poisoning in Cattle. *Aust. Vet. J.* 48, 367–367. doi:10.1111/j.1751-0813.1972.tb02271.x
- McNeill, L.S., Edwards, M., 1997. Arsenic removal during precipitative softening. *J. Environ. Eng.-Asce* 123, 453–460. doi:10.1061/(asce)0733-9372(1997)123:5(453)
- Medellín-Milán, P., Alfaro-de la Torre, M., Lira-Santillán, A., Nieto-Ahumad, B., B., Sarabia-Mléndez, I., 1993. 3, Fluorides in drinking water its correlation with parameters of the aquifer and effects on dental health in the City of San Luis Potosí, México. Presented at the Proceedings of Water Quality Technology Conference: American Water Works Association, pp. 1001–1024.
- Mejía, J., Carrizales, L., Rodríguez, V.M., Jiménez-Capdeville, M.E., Díaz-Barriga, F., 1999. [A method for assessing health risks in mining sites]. *Salud Pública México* 41 Suppl 2, S132–140.
- México en Cifras [WWW Document], 2015. . INEGI. URL <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx> (accessed 1.7.15).

- Miller, M.D., Marty, M.A., Arcus, A., Brown, J., Morry, D., Sandy, M., 2002. Differences Between Children and Adults: Implications for Risk Assessment at California EPA. *Int. J. Toxicol.* 21, 403–418. doi:10.1080/10915810290096630
- Mirkes, P.E., Cornel, L., 1992. A comparison of sodium arsenite- and hyperthermia-induced stress responses and abnormal development in cultured postimplantation rat embryos. *Teratology* 46, 251–259. doi:10.1002/tera.1420460308
- Monroy, M., Diaz-Barriga, F., Razo, I., Carrizales, L., 2012. Evaluación de la contaminación por arsénico y metales pesados (Pb,Cu,Zn) y análisis de riesgo en salud en Villa de la Paz Matehuala-SLP. SLP, México.
- Morrissey, R.E., Mottet, N.K., 1983. Arsenic-induced exencephaly in the mouse and associated lesions occurring during neurulation. *Teratology* 28, 399–411. doi:10.1002/tera.1420280311
- Morselli, P.L., Franco-Morselli, R., Bossi, L., 1980. Clinical pharmacokinetics in newborns and infants. Age-related differences and therapeutic implications. *Clin. Pharmacokinet.* 5, 485–527.
- Mottet, N.K., Ferm, V.H., 1983. The Congenital Teratogenicity and Perinatal Toxicity of Metals, in: Clarkson, T.W., Nordberg, G.F., Sager, P.R. (Eds.), *Reproductive and Developmental Toxicity of Metals*. Springer US, pp. 93–125.
- Mukherjee, A., Fryar, A.E., Thomas, W.A., 2009. Geologic, geomorphic and hydrologic framework and evolution of the Bengal basin, India and Bangladesh. *J. Asian Earth Sci.* 34, 227–244. doi:10.1016/j.jseaes.2008.05.01
- Murphy, M.J., Lyon, L.W., Taylor, J.W., 1981. Subacute arsenic neuropathy: clinical and electrophysiological observations. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry* 44, 896–900.
- Muzi, G., dell' Omo, M., Madeo, G., Abbritti, G., Caroli, S., 2001. Arsenic poisoning caused by Indian ethnic remedies. *J. Pediatr.* 139, 169. doi:10.1067/mpd.2001.116607
- Naidu, R., Smith, E., Owens, G., Bhattacharya, P., Nadebaum, P., 2006. *Managing Arsenic in the Environment*.
- Navarro, M., Sánchez, M., Lóopez, H., López, M.C., 1993. Arsenic contamination levels in waters, soils, and sludges in Southeast Spain. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 50, 356–362. doi:10.1007/BF00197194
- NCR, N.R.C. (U S.) C. on P. in the D. of I. and, 2000. *Arsenic in Drinking Water: 2001 Update [WWW Document]*. URL <http://www.nap.edu/openbook.php?isbn=0309076293> (accessed 1.4.15).
- NCR, N.R.C. (U S.) C. on P. in the D. of I. and, 1993. *Pesticides in the Diets of Infants and Children*. National Academies.
- Nemec, M., Holson, J., Farr, C., Hood, R., 1998. Developmental toxicity assessment of arsenic acid in mice and rabbits. *Reprod. Toxicol.* 12, 647–658. doi:10.1016/S0890-6238(98)00053-7
- Newman, D.K., Ahmann, D., Morel, F.M.M., 1998. A brief review of microbial arsenate respiration. *Geomicrobiol. J.* 15, 255–268. doi:10.1080/01490459809378082
- Nimick, D.A., Moore, J.N., Dalby, C.E., Savka, M.W., 1998. The fate of geothermal arsenic in the Madison and Missouri Rivers, Montana and Wyoming. *Water Resour. Res.* 34, 3051–3067. doi:10.1029/98WR01704
- NOM-147-SEMARNAT-SSA1-2004, 2004. Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT-SSA1-2004, Que establece que establece los criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio, publicada el 11 de Noviembre de 2005. *Diario Oficial de la Federación*, México.

- Nordstrom, D.K., Alpers, C.N., 1999. Negative pH, efflorescent mineralogy, and consequences for environmental restoration at the Iron Mountain Superfund site, California. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 96, 3455–3462. doi:10.1073/pnas.96.7.3455
- Nordström, S., Beckman, L., Nordenson, I., 1979. Occupational and environmental risks in and around a smelter in northern Sweden. V. Spontaneous abortion among female employees and decreased birth weight in their offspring. *Hereditas* 90, 291–296.
- Norra, S., Berner, Z.A., Agarwala, P., Wagner, F., Chandrasekharam, D., Stüben, D., 2005. Impact of irrigation with As rich groundwater on soil and crops: A geochemical case study in West Bengal Delta Plain, India. *Appl. Geochem.* 20, 1890–1906. doi:10.1016/j.apgeochem.2005.04.019
- OMS | Arsénico [WWW Document], 2012. . WHO. URL <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs372/es/> (accessed 2.23.15).
- Ortiz, D., Castro, L., Turrubiartes, F., Milan, J., Díaz-Barriga, F., 1998. Assessment of exposure to fluoride from drinking water in Durango, México, using a geographic information system. *31 4*, 183–187.
- Pearce, F., 2003. Arsenic's fatal legacy grows worldwide [WWW Document]. *New Sci.* 2407. URL <http://www.newscientist.com/article/dn4024-arsenics-fatal-legacy-grows-worldwide.html#.VQjobo6G8YM> (accessed 3.17.15).
- Perez-Vazquez, F.J., Flores-Ramirez, R., Ochoa-Martinez, A.C., Orta-Garcia, S.T., Hernandez-Castro, B., Carrizalez-Yañez, L., Pérez-Maldonado, I.N., 2015. Concentrations of persistent organic pollutants (POPs) and heavy metals in soil from San Luis Potosí, México. *Environ. Monit. Assess.* 187, 4119. doi:10.1007/s10661-014-4119-5
- Planer-Friedrich, B., Armienta, M.A., Merkel, B.J., 2001. Origin of arsenic in the groundwater of the Rioverde basin, Mexico. *Environ. Geol.* 40, 1290–1298.
- Prieto García, F., Prieto Méndez, J., Callejas Hernández, J., Gutiérrez, R., Delia, A., Marzo, M., Aurora, M., 2010. Bioacumulación de arsénico en las etapas de desarrollo de la cebada maltera (*Hordeum distichon* L.). *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 1, 37–44.
- Ramírez, A.V., 2013. Exposición ocupacional y ambiental al arsénico: actualización bibliográfica para investigación científica. *An. Fac. Med.* 74, 237–248.
- Ravenscroft, P., Brammer, H., Richards, K., 2009. *Arsenic Pollution: A global Synthesis*. Wiley-Blackwell, Singapur.
- Razo, I., 2012. Evaluación de la Contaminación por Metales y del Riesgo en Salud en un Sitio Minero de Sulfuros Polimetálicos: Caso de Villa de la Paz- Matehuala, S.L.P. (México). Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Rosas-Castor, J., Guzmán-Mar, J.L., Alfaro-Barbosa, J.M., Hernández-Ramírez, A., Pérez-Maldonado, I.N., Caballero-Quintero, A., Alessio, L., 2014. Evaluation of the transfer of soil arsenic to maize crops in suburban areas of San Luis Potosi, Mexico. *Sci. Total Environ.* 497-498, 49153–162. doi:10.1016/j.scitotenv.2014.07.072
- Rosenberg, H.G., 1974. Systemic arterial disease and chronic arsenicism in infants. *Arch. Pathol.* 97, 360–365.
- Rosenman, K., 2007. Occupational Heart Disease. Rom W Markowitz Eds *Environ. Occup. Med.*
- Roychowdhury, T., 2008. Impact of sedimentary arsenic through irrigated groundwater on soil, plant, crops and human continuum from Bengal delta: Special reference to raw and cooked rice. *Food Chem. Toxicol.* 46, 2856–2864. doi:10.1016/j.fct.2008.05.019
- Ruiz-Huerta, E.A., 2012. Fitodisponibilidad de metales, su acumulación y efectos en el desarrollo de plantas de maíz (*Zea Mays* L) crecidas en el suelo contaminado por influencia minera (Doctorado). Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica.

- Ruiz Huerta, E.A., Armienta Hernández, M.A., 2012. ACUMULACIÓN DE ARSÉNICO Y METALES PESADOS EN MAÍZ EN SUELOS CERCANOS A JALES O RESIDUOS MINEROS. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 28, 103–117.
- Ruíz-Huerta, E.A., Garza-Valera, A., Castillo, F., Avalos-Borja, M., Martínez-Villegas, N., In preparation. Arsenic accumulation in agricultural soils and maize crops irrigated with contaminated water. *Sci. Total Environ.*
- Samet, J.M., Wipfli, H., Platz, E.A., Bhavsar, N., 2009. A Dictionary of Epidemiology, Fifth Edition Edited by Miquel Porta. *Am. J. Epidemiol.* 170, 1449–1451. doi:10.1093/aje/kwp322
- Sarabia-Melendez, I.F., 1989. Contenido de fl uoruros en el agua de consumo y sus efectos en el tejido dental, San Luis Potosí, México. Universidad Autónoma De Nuevo Leon, Monterrey Nuevo León.
- Secretaría de Economía, 2001a. Análisis de agua-Determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Métodos de prueba (Cancela a la NMX-AA-073-1981).
- Secretaría de Economía, 2001b. Análisis de agua-Determinación del ion sulfato.
- Secretaría de Economía, 2001c. Análisis de agua-Determinación de nitratos en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Métodos de prueba (Cancela a la NMX-AA-079-1986).
- Secretaría De Economía [WWW Document], 2015. . SE. URL <http://www.economia.gob.mx/> (accessed 2.23.15).
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 1996. NOM-001-SEMARNAT-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. *Diario Oficial de la Federación, Mexico.*
- Secretaría de Salud, 2000. MODIFICACION a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. *Diario Oficial de la Federación, México.*
- Secretaría de Salud, 1996. Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano - Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización publicada el 18 de enero de 1996. *Diario Oficial de la Federación, México.*
- SEGOB, S.D.G., 2015. Instituto Nacional para el Federalismo y el desarrollo Municipal [WWW Document]. <http://www.inafed.gob.mx/>. URL <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM24sanluispotosi/municipios/24020a.html> (accessed 1.7.15).
- Selzer, P.M., Ancel, M.A., 1983. Chronic arsenic poisoning masquerading as pernicious anemia. *West. J. Med.* 139, 219–220.
- Setchell, B.P., Waites, G.M., 1972. The effects of local heating of the testis on the flow and composition of rete testis fluid in the rat, with some observations on the effects of age and unilateral castration. *J. Reprod. Fertil.* 30, 225–233.
- SGM, S.G.M., 2011. Panorama Minero Del Estado De San Luis Potosí.
- Shalat, S.L., Walker, D.B., Finnell, R.H., 1996. Role of arsenic as a reproductive toxin with particular attention to neural tube defects. *J. Toxicol. Environ. Health* 48, 253–272. doi:10.1080/009841096161320
- Smedley, P., Edmunds, W., Pelig-Ba, K., 1996. Mobility of arsenic in groundwater in the Obuasi gold-mining area of Ghana: some implications for human health. *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.* 113, 163–181. doi:10.1144/GSL.SP.1996.113.01.13
- Smedley, P.L., Kinniburgh, D.G., 2002. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Appl. Geochem.* 17, 517–568. doi:10.1016/S0883-2927(02)00018-5

- Smith, A.H., Marshall, G., Yuan, Y., Ferreccio, C., Liaw, J., Ehrenstein, O. von, Steinmaus, C., Bates, M.N., Selvin, S., 2006. Increased Mortality from Lung Cancer and Bronchiectasis in Young Adults after Exposure to Arsenic in Utero and in Early Childhood. *Environ. Health Perspect.* 114, 1293–1296.
- Smith, A.S., Lingas, E.O., Rahman, M., 2000. Contamination of drinking-water by arsenic in Bangladesh: a public health emergency. *Bull. World Health Organ.* 78, 1093–1103.
- Stump, D. g., Holson, J. f., Fleeman, T. I., Nemec, M. d., Farr, C. h., 1999. Comparative effects of single intraperitoneal or oral doses of sodium arsenate or arsenic trioxide during in utero development. *Teratology* 60, 283–291. doi:10.1002/(SICI)1096-9926(199911)60:5<283::AID-TERA9>3.0.CO;2-7
- Stýblo, M., Drobná, Z., Jaspers, I., Lin, S., Thomas, D.J., 2002. The role of biomethylation in toxicity and carcinogenicity of arsenic: a research update. *Environ. Health Perspect.* 110 Suppl 5, 767–771.
- Tabacova, S., Hunter III, E.S., Gladen, B.C., 1996. Developmental Toxicity of Inorganic Arsenic in Whole Embryo Culture: Oxidation State, Dose, Time, and Gestational Age Dependence. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 138, 298–307. doi:10.1006/taap.1996.0128
- Tello, E.E., 1951. Hidroarsenicismo crónico regional endémico (Hacre): sus manifestaciones clínicas. Imp. de la Universidad.
- Vahter, M., 2002. Mechanisms of arsenic biotransformation. *Toxicology* 181-182, 211–217.
- Vahter, M., Envall, J., 1983. In vivo reduction of arsenate in mice and rabbits. *Environ. Res.* 32, 14–24.
- Vieira, I., Sonnier, M., Cresteil, T., 1996. Developmental Expression of CYP2E1 in the Human Liver. *Eur. J. Biochem.* 238, 476–483. doi:10.1111/j.1432-1033.1996.0476z.x
- Waalkes, M.P., Liu, J., Ward, J.M., Diwan, B.A., 2006. Enhanced urinary bladder and liver carcinogenesis in male CD1 mice exposed to transplacental inorganic arsenic and postnatal diethylstilbestrol or tamoxifen. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 215, 295–305. doi:10.1016/j.taap.2006.03.010
- Waalkes, M.P., Liu, J., Ward, J.M., Diwan, B.A., 2004. Mechanisms underlying arsenic carcinogenesis: hypersensitivity of mice exposed to inorganic arsenic during gestation. *Toxicology, Toxicology in the New Century, Opportunities and Challenges - Proceedings of the 5th Congress of Toxicology in Developing Countries* 198, 31–38. doi:10.1016/j.tox.2004.01.017
- Walker, S.R., Parsons, M.B., Jamieson, H.E., Lanzirrotti, A., 2009. Arsenic Mineralogy of Near-Surface Tailings and Soils: Influences on Arsenic Mobility and Bioaccessibility in the Nova Scotia Gold Mining Districts. *Can. Mineral.* 47, 533–556. doi:10.3749/canmin.47.3.533
- Wang, Z., Dey, S., Rosen, B.P., Rossman, T.G., 1996. Efflux-mediated resistance to arsenicals in arsenic-resistant and -hypersensitive Chinese hamster cells. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 137, 112–119. doi:10.1006/taap.1996.0062
- Warren, G.P., Alloway, B.J., Lepp, N.W., Singh, B., Bochereau, F.J.M., Penny, C., 2003. Field trials to assess the uptake of arsenic by vegetables from contaminated soils and soil remediation with iron oxides. *Sci. Total Environ.* 311, 19–33. doi:10.1016/S0048-9697(03)00096-2
- Welch, A.H., Westjohn, D. b., Helsel, D.R., Wanty, R.B., 2000. Arsenic in Ground Water of the United States: Occurrence and Geochemistry. *Ground Water* 38, 589–604. doi:10.1111/j.1745-6584.2000.tb00251.x
- Willhite, C.C., Ferm, V.H., 1984. Prenatal and Developmental Toxicology of Arsenicals, in: Friedman, M. (Ed.), *Nutritional and Toxicological Aspects of Food Safety, Advances in Experimental Medicine and Biology*. Springer US, pp. 205–228.
- William, T., Frankenberger, J., 2001. *Environmental Chemistry of Arsenic*. CRC Press.

- Wilson, R., 2006. The largest man made environmental catastrophe. Report to annual meeting of the Royal Geographical Society, London, UK. [WWW Document]. URL <http://physic.harvard.edu/~wilson/arsenic> (accessed 1.10.09).
- Winski, S.L., Carter, D.E., 1995. Interactions of rat red blood cell sulfhydryls with arsenate and arsenite. *J. Toxicol. Environ. Health* 46, 379–397. doi:10.1080/15287399509532043
- Włodarczyk, B.J., Bennett, G.D., Calvin, J.A., Finnell, R.H., 1996. Arsenic-induced neural tube defects in mice: Alterations in cell cycle gene expression. *Reprod. Toxicol.* 10, 447–454. doi:10.1016/S0890-6238(96)00131-1
- World Health Organization, 1996. *Biological Monitoring of Chemical Exposure in the Workplace Guidelines*. World Health Organization.
- World Health Organization, 1993. *WHO | Guidelines for Drinking-Water Quality, 2nd ed.* Ginebra, Suiza.
- Yáñez, J., Fierro, V., Mansilla, H., Figueroa, L., Cornejo, L., Barnes, R.M., 2005. Arsenic speciation in human hair: a new perspective for epidemiological assessment in chronic arsenicism. *J. Environ. Monit.* 7, 1335–1341. doi:10.1039/B506313B
- Yanez, L., Garcia-Nieto, E., Rojas, E., Carrizales, L., Mejia, J., Calderon, J., Razo, I., Diaz-Barriga, F., 2003. DNA damage in blood cells from children exposed to arsenic and lead in a mining area. *Environ. Res.* 93, 231–240. doi:10.1016/j.envres.2003.07.005
- Yan, X.-P., Kerrich, R., Hendry, M.J., 2000. Distribution of arsenic(III), arsenic(V) and total inorganic arsenic in porewaters from a thick till and clay-rich aquitard sequence, Saskatchewan, Canada. *Geochim. Cosmochim. Acta* 64, 2637–2648. doi:10.1016/S0016-7037(00)00380-X
- Yip, L., Dart, R., 2001. Arsenic. *Clin. Environ. Health Toxic Expo.* 858–865.
- Yoshida, T., Yamauchi, H., Fan Sun, G., 2004. Chronic health effects in people exposed to arsenic via the drinking water: dose-response relationships in review. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 198, 243–252. doi:10.1016/j.taap.2003.10.022
- Zaldívar, R., Guillier, A., 1977. Environmental and clinical investigations on endemic chronic arsenic poisoning in infants and children. *Zentralblatt Für Bakteriol. Parasitenkd. Infekt. Hyg. Erste Abt. Orig. Reihe B Hyg. Präv. Med.* 165, 226–234.

Apéndice A. Resultados de las campañas de muestreo.

No. de aprovechamiento potencial	Tipo de aprovechamiento	Sitio de muestreo	Coordenadas X	Coordenadas Y	No. de registro	No. de identificación campaña de muestreo 1	As (mg/L)	Ca (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	Alcalinidad como CaCO ₃ (mg/L)	S O ₄ (mg/L)	Cl (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)
1	Pozo	E. Abajo	336080	2604075	MH64	201312061105	0.012	209.90	27.58	22.92	35.17	115	1373	120.10	140.30
2	Pozo	E. Abajo	336127	2603350	HGQ2	201312061219	0.009	225.20	18.24	20.79	25.46	118	1368	61.54	143.96
3	Noria	E. Abajo	336866	2603698	IG44	201312061400	0.047	251.30	33.51	25.24	39.68	110	1324	82.88	134.20
4	Noria	E. Abajo	336707	2604365	IG63	201312061536	0.008	200.40	26.58	24.10	24.79	138	1260	79.41	168.36
5	Noria	Santa Lucía	337124	2604573	IG46	201312061707	0.595	218.40	20.20	28.39	49.12	153	1423	80.90	186.66
6	Noria	E. Arriba	335190	2607112	IG61	201312070728	0.026	216.90	18.85	61.52	108.71	91	1587	254.11	111.02
7	Noria	Matehuala	335476	2618924	HGQ7	201312070826	8.420	203.80	12.72	31.79	37.57	201	1345	72.96	245.22
8	Humedal	Matehuala	334565	2621104	P57	201312071002	0.058	209.10	45.05	75.07	79.10	132	1746	446.67	161.04
9	Pozo	Matehuala	331407	2612900	P21	201312071227	0.000	197.00	20.28	80.90	143.97	122	2923	436.74	148.84
10	Pozo	Matehuala	331884	2613201	P22	201312071405	0.000	223.10	22.12	83.73	148.00	100	2643	347.41	122.00
11	Pozo	Matehuala	331880	2613177	P23	201312071507	0.004	207.50	18.51	67.10	168.77	156	2813	436.74	190.32
12	Noria	Matehuala	332952	2619382	HGQ12	201312071742	0.022	206.20	19.49	35.96	33.22	127	1389	74.45	154.94
13	Manantial	Matehuala	332784	2617528	HGQ13	201312071835	74.080	218.19	12.87	44.91	91.18	246	1617	173.71	300.12
14	Laguna	Cerrito Blanco	338489	2618869	HGQ14	201312101151	8.370	223.99	13.53	34.43	40.08	186	1815	69.48	226.92

No. de aprovechamiento potencial	Tipo de aprovechamiento	Sitio de muestreo	Coordenadas X	Coordenadas Y	No. de registro	No. de identificación campaña de muestreo 1	As (mg/L)	Ca (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	Alcalinidad como CaCO ₃ (mg/L)	S O ₄ (mg/L)	Cl (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)
15	Pozo	Matehuala	334827	2617535	MH5	201312101325	0.324	226.14	17.97	22.74	44.43	176	1389	117.62	214.72
16	Pozo	Matehuala	333139	2617255	MH7	201312101440	20.412	226.06	11.26	40.58	75.28	193	1517	97.77	235.46
17	Noria	Matehuala	332806	2619834	N107	201312101637	0.078	210.32	20.43	47.28	54.54	199	1418	125.56	242.78
18	Pozo	Matehuala	333452	2619945	HGQ18	201312101748	0.068	213.08	20.65	44.81	57.59	181	1736	141.45	220.82
19	Pozo	E.Arriba	334351	2606275	HGQ19	201312171152	0.000	224.29	18.09	47.54	359.79	105	1724	239.71	128.10
20	Pozo	E.Arriba	337718	2608721	HGQ20	201312171308	0.000	232.78	23.68	32.36	93.26	109	1744	33.25	132.98
21	Noria	Los Conos	338473	2610469	IG-76	201312171327	0.000	238.31	15.87	23.87	146.45	154	1513	71.90	187.88
22	Pozo	Matehuala	333115	2615006	HGQ22	201312171800	0.000	228.61	16.90	47.57	991.20	180	2011	301.25	219.60

E. Abajo = Encarnación de Abajo
E. Arriba = Encarnación de Arriba
SM= Sin muestra

No. de aprovechamiento potencial	Tipo de aprovechamiento	Sitio de muestreo	Coordenadas X	Coordenadas Y	No. de registro	No. de identificación campaña de muestreo 2	As (mg/L)	Ca (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	Alcalinidad como CaCO ₃ (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Cl (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)
1	Pozo	E. Abajo	336080	2604075	MH64	201403291006	0.00	349.80	45.89	21.33	48.46	123	1449.0	136.98	150.06
2	Pozo	E. Abajo	336127	2603350	HGQ2	201403291115	0.00	339.94	15.01	17.29	20.48	124	1782.0	30.27	151.28
3	Noria	E. Abajo	336866	2603698	IG44	201403291217	0.00	338.72	23.19	20.91	34.67	104	1516.0	102.24	126.88
4	Noria	E. Abajo	336707	2604365	IG63	201403291304	0.00	354.12	27.14	23.86	33.49	133	1782.0	86.85	162.26
5	Noria	Santa Lucia	337124	2604573	IG46	201404080959	0.39	339.31	18.23	25.18	61.26	153	1443.0	84.37	186.66
6	Noria	E. Arriba	335190	2607112	IG61	201403291435	0.00	330.44	16.04	41.95	140.91	81	1352.0	248.15	98.82
7	Noria	Matehuala	335476	2618924	HGQ7	201403291758	8.88	346.76	11.76	28.89	49.13	147	1038.0	73.95	179.34
8	Humedal	Matehuala	334565	2621104	P57	201403291814	0.00	380.70	46.62	52.00	118.43	170	2158.0	496.30	207.40
9	Pozo	Matehuala	331407	2612900	P21		SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM
10	Pozo	Matehuala	331884	2613201	P22	201404081945	0.00	323.82	17.88	49.40	188.02	104	2558.0	670.00	126.88
11	Pozo	Matehuala	331880	2613177	P23		SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM
12	Noria	Matehuala	332952	2619382	HGQ12	201404081445	0.00	337.28	18.11	31.27	44.71	186	1527.0	64.52	226.92
13	Manantial	Matehuala	332784	2617528	HGQ13	201404081702	73.11	357.17	12.70	36.70	129.46	250	1740.0	160.80	305.00
14	Laguna	Cerrito Blanco	338489	2618869	HGQ14	201403291607	7.88	353.81	12.51	29.26	51.17	186	1269.0	66.50	226.92
15	Pozo	Matehuala	334827	2617535	MH5	201404081628	0.14	350.57	16.84	21.46	54.17	186	1445.0	104.22	226.92
16	Pozo	Matehuala	333139	2617255	MH7	2014081210	17.61	324.11	10.28	29.95	86.76	221	996.0	94.30	269.62
17	Noria	Matehuala	332806	2619834	N107	2014081400	0.00	339.22	19.56	37.75	70.68	186	1259.0	96.78	226.92
18	Pozo	Matehuala	333452	2619945	HGQ18	201404081326	0.06	355.07	20.43	36.72	79.55	132	980.0	123.58	161.04
19	Pozo	E. Arriba	334351	2606275	HGQ19	201404081108	0.00	341.76	19.46	49.46	128.49	139	1326.0	244.18	169.58
20	Pozo	E. Arriba	337718	2608721	HGQ20		SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM

No. de aprovechamiento potencial	Tipo de aprovechamiento	Sitio de muestreo	Coordenadas X	Coordenadas Y	No. de registro	No. de identificación campaña de muestreo 2	As (mg/L)	Ca (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	Alcalinidad como CaCO ₃ (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Cl (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)
21	Noria	Los Conos	338473	2610469	IG-76		SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM
22	Pozo	Matehuala	333115	2615006	HGQ22		SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM

E. Abajo = Encarnación de Abajo

E. Arriba = Encarnación de Arriba

SM= Sin muestra

Apéndice B. Reportes de la campaña de muestreo 1.

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Lugar: Encarnación De Abajo,
Matehuala, San Luis Potosí.

Fecha: 19 De Marzo De 2014
No de Muestra: 1 Registro: MH64

Datos Del Solicitante

Representante	Leonardo Reyes Medrano
Ciudad	Matehuala
Estado	San Luis Potosí
Teléfono	(488) 101 4850
E-mail	lormprovea@hotmail.com

Muestreo

Responsable De Muestreo	Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas
Fecha De Muestreo	6 De Diciembre de 2013

Tipo De Muestra

Muestra De Agua

Parámetros Físico Químicos	Método	Resultado
pH	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	6.99 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	5.63 mS/cm
Alcalinidad	Kit Alcalinity HACH	115 mg/L como CaCO ₃
Aniones		
Cl ⁻	Volumétrico	120.1 mg/L
SO ₄ ²⁻	Espectrofotométrico	1373.0 mg/L
HCO ₃ ⁻	A partir de la alcalinidad	140.3 mg/L
	Método	Resultados

Cationes		
Ca ²⁺	ICP-OES	209.92 mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	22.92 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	35.16 mg/L
K ⁺	ICP-OES	27.58 mg/L
	Otros Analitos	
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	0.012 mg/L

Elaboró	Revisó
Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICYT antonio.lara@ipicyt.edu.mx	Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICYT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Lugar: Encarnación De Abajo,
Matehuala, San Luis Potosí.

Fecha: 19 De Marzo De 2014
No de Muestra: 2 **Registro:** HGQ2

Datos Del Solicitante

Representante	Leonardo Reyes Medrano
Ciudad	Matehuala
Estado	San Luis Potosí
Teléfono	(488) 101 4850
E-mail	lormprovea@hotmail.com

Muestreo

Responsable De Muestreo	Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas
Fecha De Muestreo	6 De Diciembre de 2013

Tipo De Muestra

Muestra De Agua

Parámetros Físico Químicos	Método	Resultado
pH	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	6.87 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	5.14 mS/cm
Alcalinidad	Kit Alacalinity HACH	118 mg de CaCO ₃
Aniones		
Cl ⁻	Volumétrico	61.5 mg/L
SO ₄ ²⁻	Espectrofotométrico	1368.0 mg/L
HCO ₃ ⁻	Volumétrico	143.9 mg/L

	Método	Resultados
Cationes		
Ca ²⁺	ICP-OES	225.22 mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	20.79 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	25.46 mg/L
K ⁺	ICP-OES	18.24 mg/L
Otros Analitos		
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	0.009 mg/L

<i>Elaboró</i>	<i>Revisó</i>
<p>Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICT antonio.lara@ipicyt.edu.mx</p>	<p>Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx</p>

c.c.p. Archivo del Laboratorio de Hidrogeoquímica

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Lugar: Encarnación De Abajo,
Matehuala, San Luis Potosí

Fecha: 19 De Marzo De 2014
No de Muestra: 3 Registro: IG44

Datos Del Solicitante

Representante

Ciudad

Matehuala

Estado

San Luis Potosí

Teléfono

E-mail

Muestreo

Responsable De Muestreo

Dra. Nadia Valentina Martínez
Villegas

Fecha De Muestreo

6 De Diciembre de 2012

Tipo De Muestra

Agua subterránea pozo

	Método	Resultado
	Parámetros Físico Químicos	
pH	Sistema Multi- Sonda YSI 556 (MPS)	6.93 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi- Sonda YSI 556 (MPS)	2.451 mS/cm
Alcalinidad	Kit Alcalinity HACH	110 mg/L de CaCO ₃
	Aniones	
Cl ⁻	Volumétrico	82.88 mg/L
SO ₄ ²⁻	Espectrofotométrico	1324 mg/L
HCO ₃ ⁻	A partir de la alcalinidad	134.2 mg/L

	Método	Resultados
Cationes		
Ca ²⁺	ICP-OES	251.31mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	25.24 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	39.68 mg/L
K ⁺	ICP-OES	33.50mg/L
	Otros Analitos	
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	0.047 mg/L

Elaboró	Revisó
<p>Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICT antonio.lara@ipicyt.edu.mx</p>	<p>Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx</p>

c.c.p. Archivo del Laboratorio de Hidrogeoquímica

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Lugar: Encarnación De Abajo,
Matehuala, San Luis Potosí.

Fecha: 19 De Marzo De 2014
No de Muestra: 4 Registro: IG46

Datos Del Solicitante

Representante

Ciudad

Matehuala

Estado

San Luis Potosí

Teléfono

E-mail

Muestreo

Responsable De Muestreo

Dra. Nadia Valentina Martínez
Villegas

Fecha De Muestreo

6 De Diciembre de 2012

Tipo De Muestra

Muestra De Agua

	Método	Resultado
	Parámetros Físico Químicos	
pH	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	8.47 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	1.932 mS/cm
Alcalinidad	Kit Alcalinity HACH	138mg/L de CaCO ₃
Aniones		
Cl ⁻	Volumétrico	79.40 mg/L
SO ₄ ²⁻	Espectrofotométrico	1260 mg/L
HCO ₃ ⁻	A partir de la alcalinidad	168.36 mg/L

	Método	Resultados
Cationes		
Ca ²⁺	ICP-OES	200.40 mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	24.10 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	24.79 mg/L
K ⁺	ICP-OES	26.57 mg/L
	Otros Analitos	
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	0.009 mg/L

Elaboró	Revisó
<p>Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICT antonio.lara@ipicyt.edu.mx</p>	<p>Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx</p>

c.c.p. Archivo del Laboratorio de Hidrogeoquímica

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Lugar: Santa Lucia, Matehuala, San Luis Potosí.

Fecha: 19 De Marzo De 2014
No de Muestra: 5 Registro: IG61

Datos Del Solicitante

Representante

Ciudad

Matehuala

Estado

San Luis Potosí

Teléfono

E-mail

Muestreo

Responsable De Muestreo

Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas

Fecha De Muestreo

6 De Diciembre de 2012

Tipo De Muestra

Muestra De Agua

	Método	Resultado
	Parámetros Físico Químicos	
pH	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	8.05 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	2.483 mS/cm
Alcalinidad	Kit Alcalinity HACH	153 mg/L de CaCO ₃
Aniones		
Cl ⁻	Volumétrico	80.89 mg/L
SO ₄ ²⁻	Espectrofotométrico	1423 mg/L
HCO ₃ ⁻	A partir de alcalinidad	186.66 mg/L

	Método	Resultados
Cationes		
Ca ²⁺	ICP-OES	218.45 mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	28.39 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	49.12mg/L
K ⁺	ICP-OES	20.19 mg/L
	Otros Analitos	
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	0.596 mg/L

<i>Elaboró</i>	<i>Revisó</i>
<p>Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICT antonio.lara@ipicyt.edu.mx</p>	<p>Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx</p>

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Lugar: Encarnación De Arriba,
Matehuala, San Luis Potosí.

Fecha: 19 De Marzo De 2014
No de Muestra: 6 Registro: IG61

Datos Del Solicitante

Representante

Ciudad

Matehuala

Estado

San Luis Potosí

Teléfono

E-mail

Muestreo

Responsable De Muestreo

Dra. Nadia Valentina Martínez
Villegas

Fecha De Muestreo

6 De Diciembre de 2012

Tipo De Muestra

Muestra De Agua

	Método	Resultado
	Parámetros Físico Químicos	
pH	Sistema Multi- Sonda YSI 556 (MPS)	8.08 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi- Sonda YSI 556 (MPS)	3.69 mS/cm
Alcalinidad	Kit Alcalinity HACH	91 mg/L de CaCO ₃
Aniones		
Cl ⁻	Volumétrico	254.10 mg/L
SO ₄ ²⁻	Espectrofotométrico	1587 mg/L
HCO ₃ ⁻	A partir de la alcalinidad	111.02 mg/L

	Método	Resultados
Cationes		
Ca ²⁺	ICP-OES	216.94 mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	61.52 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	108.70 mg/L
K ⁺	ICP-OES	18.85 mg/L
	Otros Analitos	
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	0.027 mg/L

<i>Elaboró</i>	<i>Revisó</i>
<p>Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICT antonio.lara@ipicyt.edu.mx</p>	<p>Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx</p>

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Lugar: Matehuala, San Luis Potosí.

Fecha: 19 De Marzo De 2014

No de Muestra: 7 **Registro:** HGQ7

Datos Del Solicitante

Representante

Ciudad

Matehuala

Estado

San Luis Potosí

Teléfono

E-mail

Muestreo

Responsable De Muestreo

Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas

Fecha De Muestreo

6 De Diciembre de 2012

Tipo De Muestra

Muestra De Agua

	Método	Resultado
	Parámetros Físico Químicos	
pH	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	7.03 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	2.93 mS/cm
Alcalinidad	Kit Alcalinity HACH	201 mg/L de CaCO ₃
Aniones		
Cl ⁻	Volumétrico	72.95 mg/L
SO ₄ ²⁻	Espectrofotométrico	1345 mg/L
HCO ₃ ⁻	A Partir de la alcalinidad	245.22 mg/L
	Método	Resultados

Cationes		
Ca ²⁺	ICP-OES	203.83 mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	31.79 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	37.57 mg/L
K ⁺	ICP-OES	12.71 mg/L
Otros Analitos		
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	8.42 mg/L

<i>Elaboró</i>	<i>Revisó</i>
Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICT antonio.lara@ipicyt.edu.mx	Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx

c.c.p. Archivo del Laboratorio de Hidrogeoquímica

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Lugar: Matehuala, San Luis Potosí

Fecha: 19 De Marzo De 2014
No de Muestra: Humedal 8 **Registro:**
P57

Representante

Ciudad

Matehuala

Estado

San Luis Potosí

Teléfono

E-mail

Muestreo

Responsable De Muestreo

Dra. Nadia Valentina Martínez
Villegas

Fecha De Muestreo

6 De Diciembre de 2012

Tipo De Muestra

Muestra De Agua

	Método	Resultado
	Parámetros Físico Químicos	
pH	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	7.0 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	3.55 mS/cm
Alcalinidad	Kit Alcalinity HACH	132 mg/L de CaCO ₃
Aniones		
Cl ⁻	Volumétrico	446.67 mg/L
SO ₄ ²⁻	Espectrofotométrico	1746 mg/L
HCO ₃ ⁻	A partir de la alcalinidad	161.04 mg/L

	Método	Resultados
Cationes		
Ca ²⁺	ICP-OES	209.13 mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	75.07 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	79.10 mg/L
K ⁺	ICP-OES	45.05 mg/L
Otros Analitos		
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	0.058 mg/L

Elaboró	Revisó
<p>Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICT antonio.lara@ipicyt.edu.mx</p>	<p>Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx</p>

c.c.p. Archivo del Laboratorio de Hidrogeoquímica

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Lugar: Rancho Los Olivos, Matehuala
San Luis Potosí

Fecha: 19 De Marzo De 2014
No de Muestra: 9 Registro: P21

Datos Del Solicitante

Representante	Jorge Arturo Yrizar
Ciudad	Matehuala
Estado	San Luis Potosí
Teléfono	(488) 101 1423
E-mail	rancholosolivos@hotmail.com

Muestreo

Responsable De Muestreo	Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas
Fecha De Muestreo	6 De Diciembre de 2013

Tipo De Muestra

Muestra De Agua

Parámetros Físico Químicos	Método	Resultado
pH	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	7.31 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	4.4 mS/cm
Alcalinidad	Kit Alkalinity HACH	122 mg/L de CaCO ₃
Aniones		
Cl ⁻	Volumétrico	436.7 mg/L
SO ₄ ²⁻	Espectrofotométrico	2923.0 mg/L
HCO ₃ ⁻	A partir de la alcalinidad	148.8 mg/L

	Método	Resultados
Cationes		
Ca ²⁺	ICP-OES	197.0 mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	80.9 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	143.9 mg/L
K ⁺	ICP-OES	20.2 mg/L
Otros Analitos		
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	0.00 mg/L

<i>Elaboró</i>	<i>Revisó</i>
<p>Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICT antonio.lara@ipicyt.edu.mx</p>	<p>Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx</p>

c.c.p. Archivo del Laboratorio de Hidrogeoquímica

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Lugar: Rancho Los Olivos,
Matehuala, San Luis Potosí

Fecha: 19 De Marzo De
2014

No de Muestra: 10 Registro: P22

Datos Del Solicitante

Representante	Jorge Arturo Yrizar
Ciudad	Matehuala
Estado	San Luis Potosí
Teléfono	(488) 101 1423
E-mail	rancholosolivos@hotmail.com

Muestreo

Responsable De Muestreo	Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas
Fecha De Muestreo	6 De Diciembre de 2013

Tipo De Muestra

Muestra de agua

Parámetros Físico Químicos	Método	Resultado
pH	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	7.11 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	4.0 mS/cm
Alcalinidad	Kit Alcalinity HACH	100 mg/L de CaCO ₃
Aniones		
Cl ⁻	Volumétrico	347.4 mg/L
SO ₄ ²⁻	Espectrofotométrico	2643.0 mg/L
HCO ₃ ⁻	A partir de alcalinidad	122 mg/L

	Método	Resultados
Cationes		
Ca ²⁺	ICP-OES	223.1mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	83.7 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	147.9 mg/L
K ⁺	ICP-OES	22.1 mg/L
	Otros Analitos	
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	0.0 mg/L

Elaboró	Revisó
<p>Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICT antonio.lara@ipicyt.edu.mx</p>	<p>Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx</p>

c.c.p. Archivo del Laboratorio de Hidrogeoquímica

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Lugar: Rancho Los Olivos,
Matehuala, San Luis Potosí

Fecha: 19 De Marzo De 2014
No de Muestra: 11 **Registro:** P23

Datos Del Solicitante

Representante	Jorge Arturo Yrizar
Ciudad	Matehuala
Estado	San Luis Potosí
Teléfono	(488) 101 1423
E-mail	rancholosolivos@hotmail.com

Muestreo

Responsable De Muestreo	Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas
Fecha De Muestreo	6 De Diciembre de 2013

Tipo De Muestra

Muestra De Agua

Parámetros Físico Químicos	Método	Resultado
pH	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	7.2 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	4.7 mS/cm
Alcalinidad	Kit Alcalinity HACH	156 mg/L de CaCO ₃
Aniones		
Cl ⁻	Volumétrico	436.7 mg/L
SO ₄ ²⁻	Espectrofotométrico	2813.0 mg/L
HCO ₃ ⁻	A partir de la alcalinidad	190.3 mg/L

	Método	Resultados
Cationes		
Ca ²⁺	ICP-OES	207.5 mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	67.1 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	168.7 mg/L
K ⁺	ICP-OES	18.5 mg/L
Otros Analitos		
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	0.004 mg/L

<i>Elaboró</i>	<i>Revisó</i>
<p>Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICT antonio.lara@ipicyt.edu.mx</p>	<p>Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx</p>

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Lugar: Matehuala, San Luis Potosí
Lumbrera Jhony

Fecha: 19 De Marzo De 2014
No de Muestra: 12 Registro: HGQ12

Datos Del Solicitante

Representante

Ciudad

Matehuala

Estado

San Luis Potosí

Teléfono

E-mail

Muestreo

Responsable De Muestreo

Dra. Nadia Valentina Martínez
Villegas

Fecha De Muestreo

6 De Diciembre de 2013

Tipo De Muestra

Muestra De Agua

	Método	Resultado
	Parámetros Físico Químicos	
pH	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	7.3 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	2.5 mS/cm
Alcalinidad	Kit Alcalinity HACH	127 mg/L de CaCO ₃
	Aniones	
Cl ⁻	Volumétrico	74.4 mg/L
SO ₄ ²⁻	Espectrofotométrico	1389..0 mg/L
HCO ₃ ⁻	A partir de la alcalinidad	154.9 mg/L

	Método	Resultados
Cationes		
Ca ²⁺	ICP-OES	206.2 mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	35.9 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	33.2 mg/L
K ⁺	ICP-OES	19.4 mg/L
	Otros Analitos	
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	0.023 mg/L

<i>Elaboró</i>	<i>Revisó</i>
<p>Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICT antonio.lara@ipicyt.edu.mx</p>	<p>Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx</p>

c.c.p. Archivo del Laboratorio de Hidrogeoquímica

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Lugar: Matehuala, San Luis Potosí.

Fecha: 19 De Marzo De 2014

No de Muestra: 13 **Registro:** HGQ13

Datos Del Solicitante

Representante

Ciudad

Matehuala

Estado

San Luis Potosí

Teléfono

E-mail

Muestreo

Responsable De Muestreo

Dra. Nadia Valentina Martínez
Villegas

Fecha De Muestreo

6 De Diciembre de 2012

Tipo De Muestra

Muestra De Agua

	Método	Resultado
	Parámetros Físico Químicos	
pH	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	6.8 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	3.32 mS/cm
Alcalinidad	Kit Alcalinity HACH	246 mg/L de CaCO ₃
Aniones		
Cl ⁻	Volumétrico	173.70 mg/L
SO ₄ ²⁻	Espectrofotométrico	1617 mg/L
HCO ₃ ⁻	Volumétrico	300.12 mg/L
	Método	Resultados

Cationes		
Ca ²⁺	ICP-OES	218.1 mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	44.9 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	91.1 mg/L
K ⁺	ICP-OES	12.87 mg/L
	Otros Analitos	
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	74.08 mg/L

<i>Elaboró</i>	<i>Revisó</i>
<p>Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICT antonio.lara@ipicyt.edu.mx</p>	<p>Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx</p>

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Lugar: Matehuala, San Luis Potosí.

Fecha: 7 De Enero De 2014

No de Muestra: 14 Registro: HGQ14

Datos Del Solicitante

Representante

Ciudad

Matehuala

Estado

San Luis Potosí

Teléfono

E-mail

Muestreo

Responsable De Muestreo

Dra. Nadia Valentina Martínez
Villegas

Fecha De Muestreo

6 De Diciembre de 2012

Tipo De Muestra

Muestra De Agua

	Método	Resultado
	Parámetros Físico Químicos	
pH	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	7.88 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	2.76 mS/cm
Alcalinidad	Kit Alcalinity HACH	186 mg/L de CaCO ₃
Aniones		
Cl ⁻	Volumétrico	69.48 mg/L
SO ₄ ²⁻	Espectrofotométrico	1815 mg/L
HCO ₃ ⁻	A partir de la alcalinidad	226.92 mg/L

	Método	Resultados
Cationes		
Ca ²⁺	ICP-OES	223.98 mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	34.43 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	40.07 mg/L
K ⁺	ICP-OES	13.52 mg/L
	Otros Analitos	
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	8.3 mg/L

<i>Elaboró</i>	<i>Revisó</i>
<p>Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICT antonio.lara@ipicyt.edu.mx</p>	<p>Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx</p>

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Lugar: Matehuala, San Luis Potosí.

Fecha: 19 De Marzo De 2014

No de Muestra: 15 **Registro:** MH5

Datos Del Solicitante

Representante

Ciudad

Matehuala

Estado

San Luis Potosí

Teléfono

E-mail

Muestreo

Responsable De Muestreo

Dra. Nadia Valentina Martínez
Villegas

Fecha De Muestreo

6 De Diciembre de 2012

Tipo De Muestra

Muestra De Agua

	Método	Resultado
	Parámetros Físicos Químicos	
pH	Sistema Multi- Sonda YSI 556 (MPS)	6.81 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi- Sonda YSI 556 (MPS)	3.24 mS/cm
Alcalinidad	Kit Alcalinity HACH	176 mg/L de CaCO ₃
Aniones		
Cl ⁻	Volumétrico	117.62 mg/L
SO ₄ ²⁻	Espectrofotométrico	1389 mg/L
HCO ₃ ⁻	A partir de la alcalinidad	214.72 mg/L
	Método	Resultados
Cationes		

Ca ²⁺	ICP-OES	226.13 mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	22.74 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	44.43 mg/L
K ⁺	ICP-OES	17.97 mg/L
	Otros Analitos	
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	0.325 mg/L

<i>Elaboró</i>	<i>Revisó</i>
<p>Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICT antonio.lara@ipicyt.edu.mx</p>	<p>Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx</p>

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Lugar: Matehuala, San Luis Potosí.

Fecha: 19 De Marzo De 2014

No de Muestra: 16 **Registro:** MH7

Datos Del Solicitante

Representante

Ciudad

Matehuala

Estado

San Luis Potosí

Teléfono

E-mail

Muestreo

Responsable De Muestreo

Dra. Nadia Valentina Martínez
Villegas

Fecha De Muestreo

6 De Diciembre de 2012

Tipo De Muestra

Muestra De Agua

	Método	Resultado
	Parámetros Físico Químicos	
pH	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	6.51 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	3.44 mS/cm
Alcalinidad	Kit Alcalinity HACH	193 mg/L de CaCO ₃
Aniones		
Cl ⁻	Volumétrico	97.77 mg/L
SO ₄ ²⁻	Espectrofotométrico	1517 mg/L
HCO ₃ ⁻	A partir de alcalinidad	235.46 mg/L

	Método	Resultados
Cationes		
Ca ²⁺	ICP-OES	226.06 mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	40.58 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	75.28 mg/L
K ⁺	ICP-OES	11.25 mg/L
Otros Analitos		
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	20.412 mg/L

<i>Elaboró</i>	<i>Revisó</i>
<p>Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICT antonio.lara@ipicyt.edu.mx</p>	<p>Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx</p>

c.c.p. Archivo del Laboratorio de Hidrogeoquímica.

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Lugar: Matehuala, San Luis Potosí

Fecha: 19 De Marzo De 2014

No de Muestra: 17 **Registro:** N107

Datos Del Solicitante

Representante	David Herrera Ávila
Ciudad	Matehuala
Estado	San Luis Potosí
Teléfono	
E-mail	

Muestreo

Responsable De Muestreo	Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas
Fecha De Muestreo	6 De Diciembre de 2013

Tipo De Muestra

Muestra De Agua

Parámetros Físico Químicos	Método	Resultado
pH	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	6.79 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	3.301 mS/cm
Alcalinidad	Kit Alcalinity HACH	199 mg/L de CaCO ₃
Aniones		
Cl ⁻	Volumétrico	125.5 mg/L
SO ₄ ²⁻	ICP-OES	1418.8 mg/L
HCO ₃ ⁻	A partir de la alcalinidad	242.7 mg/L

	Método	Resultados
Cationes		
Ca ²⁺	ICP-OES	210.3 mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	47.2 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	54.5 mg/L
K ⁺	ICP-OES	20.4 mg/L
	Otros Analitos	
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	0.078 mg/L

Elaboró	Revisó
<p>Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICT antonio.lara@ipicyt.edu.mx</p>	<p>Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx</p>

c.c.p. Archivo del Laboratorio de Hidrogeoquímica.

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Lugar: Matehuala, San Luis Potosí

Fecha: 19 De Marzo De 2014

No de Muestra: 18 **Registro:** HGQ 18

Datos Del Solicitante

Representante

Ciudad

Matehuala

Estado

San Luis Potosí

Teléfono

E-mail

Muestreo

Responsable De Muestreo

Dra. Nadia Valentina Martínez
Villegas

Fecha De Muestreo

6 De Diciembre de 2012

Tipo De Muestra

Muestra De Agua

	Método	Resultado
	Parámetros Físico Químicos	
pH	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	7.25 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	3.036 mS/cm
Alcalinidad	Kit Alkalinity HACH	181mg/L de CaCO ₃
Aniones		
Cl ⁻	Volumétrico	141.44 mg/L
SO ₄ ²⁻	Espectrofotométrico	1736 mg/L
HCO ₃ ⁻	A partir de alcalinidad	220.82 mg/L

	Método	Resultados
Cationes		
Ca ²⁺	ICP-OES	213.08 mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	44.81 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	57.58 mg/L
K ⁺	ICP-OES	20.648 mg/L
Otros Analitos		
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	0.068 mg/L

<i>Elaboró</i>	<i>Revisó</i>
<p>Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICT antonio.lara@ipicyt.edu.mx</p>	<p>Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx</p>

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Lugar: Matehuala San Luis Potosí

Fecha: 19 De Marzo De 2014

No de Muestra: 19 **Registro:** HGQ19

Datos Del Solicitante

Representante

Ciudad

Matehuala

Estado

San Luis Potosí

Teléfono

E-mail

Muestreo

Responsable De Muestreo

Dra. Nadia Valentina Martínez
Villegas

Fecha De Muestreo

6 De Diciembre de 2012

Tipo De Muestra

Muestra De Agua

	Método	Resultado
	Parámetros Físico Químicos	
pH	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	7.2 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	4.14 mS/cm
Alcalinidad	Kit Alcalinity HACH	105 mg/L de CaCO ₃
Aniones		
Cl ⁻	Volumétrico	239.71 mg/L
SO ₄ ²⁻	Espectrofotométrico	1724 mg/L
HCO ₃ ⁻	A partir de la alcalinidad	128.1mg/L

	Método	Resultados
Cationes		
Ca ²⁺	ICP-OES	224.29 mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	47.54 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	359.79mg/L
K ⁺	ICP-OES	18.09 mg/L
Otros Analitos		
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	0.00 mg/L

<i>Elaboró</i>	<i>Revisó</i>
<p>Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICT antonio.lara@ipicyt.edu.mx</p>	<p>Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx</p>

	Método	Resultados
Cationes		
Ca ²⁺	ICP-OES	232.78 mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	32.36 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	93.26 mg/L
K ⁺	ICP-OES	23.68 mg/L
Otros Analitos		
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	0.00 mg/L

<i>Elaboró</i>	<i>Revisó</i>
<p>Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICT antonio.lara@ipicyt.edu.mx</p>	<p>Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx</p>

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Lugar: Matehuala San Luis Potosí

Fecha: 19 De Marzo De 2014

No de Muestra: 21 **Registro:** IG-76

Datos Del Solicitante

Representante

Ciudad

Matehuala

Estado

San Luis Potosí

Teléfono

E-mail

Muestreo

Responsable De Muestreo

Dra. Nadia Valentina Martínez
Villegas

Fecha De Muestreo

6 De Diciembre de 2012

Tipo De Muestra

Muestra De Agua

	Método	Resultado
	Parámetros Físico Químicos	
pH	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	6.66 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	2.73 mS/cm
Alcalinidad	Kit Alcalinity HACH	154 mg/L de CaCO ₃
Aniones		
Cl ⁻	Volumétrico	71.9 mg/L
SO ₄ ²⁻	Espectrofotométrico	1513 mg/L
HCO ₃ ⁻	A partir de la alcalinidad	187.88mg/L

	Método	Resultados
Cationes		
Ca ²⁺	ICP-OES	238.31 mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	23.87 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	146.45 mg/L
K ⁺	ICP-OES	15.87 mg/L
	Otros Analitos	
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	0.00 mg/L

<i>Elaboró</i>	<i>Revisó</i>
<p>Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICT antonio.lara@ipicyt.edu.mx</p>	<p>Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx</p>

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Lugar: Matehuala, San Luis Potosí.
Chorizo "Las sevillanas"

Fecha: 19 De Marzo De 2014
No de Muestra: 22 **Registro:** HGQ 22

Datos Del Solicitante

Representante

Ciudad	Matehuala
Estado	San Luis Potosí
Teléfono	
E-mail	

Muestreo

Responsable De Muestreo	Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas
Fecha De Muestreo	6 De Diciembre de 2013

Tipo De Muestra

Muestra De Agua

	Método	Resultado
	Parámetros Físico Químicos	
pH	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	6.2 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	4.8 mS/cm
Alcalinidad	Kit Alcalinity HACH	180 mg/L de CaCO ₃
Aniones		
Cl ⁻	Volumétrico	301.2 mg/L
SO ₄ ²⁻	Espectrofotométrico	2011 mg/L
HCO ₃ ⁻	A partir de la alcalinidad	219.6 mg/L

	Método	Resultados
Cationes		
Ca ²⁺	ICP-OES	228.6 mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	47.5 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	991.2 mg/L
K ⁺	ICP-OES	16.9 mg/L
	Otros Analitos	
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	0.0 mg/L

<i>Elaboró</i>	<i>Revisó</i>
<p>Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICT antonio.lara@ipicyt.edu.mx</p>	<p>Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx</p>

Apéndice C. Reportes de la campaña de muestreo 2.

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Lugar: Encarnación De Abajo,
Matehuala, San Luis Potosí.

Fecha: 17 De Mayo De 2014
No de Muestra: 1 **Registro:** MH64

Datos Del Solicitante

Representante	Leonardo Reyes Medrano
Ciudad	Matehuala
Estado	San Luis Potosí
Teléfono	(488) 101 4850
E-mail	lormprovea@hotmail.com

Muestreo

Responsable De Muestreo	Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas
Fecha De Muestreo	29 De Marzo 2014

Tipo De Muestra

Muestra De Agua

Parámetros Físico Químicos	Método	Resultado
pH	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	6.9 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	2.8 mS/cm
Alcalinidad	Kit Alcalinity HACH	123 mg/L como CaCO ₃
Aniones		
Cl ⁻	Volumétrico	136.9 mg/L
SO ₄ ²⁻	Espectrofotométrico	1449.0 mg/L
HCO ₃ ⁻	A partir de la alcalinidad	150.6 mg/L
	Método	Resultados

Cationes		
Ca ²⁺	ICP-OES	349.8 mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	21.3 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	48.5 mg/L
K ⁺	ICP-OES	45.9 mg/L
	Otros Analitos	
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	0.0 mg/L

<i>Elaboró</i>	<i>Revisó</i>
<p>Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICT antonio.lara@ipicyt.edu.mx</p>	<p>Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx</p>

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Lugar: Encarnación De Abajo,
Matehuala, San Luis Potosí.

Fecha: 17 De Mayo De 2014
No de Muestra: 2 Registro: HGQ2

Datos Del Solicitante

Representante	Leonardo Reyes Medrano
Ciudad	Matehuala
Estado	San Luis Potosí
Teléfono	(488) 101 4850
E-mail	lormprovea@hotmail.com

Muestreo

Responsable De Muestreo	Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas
Fecha De Muestreo	29 De Marzo de 2014

Tipo De Muestra

Muestra De Agua

Parámetros Físico Químicos	Método	Resultado
pH	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	6.9 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	2.5 mS/cm
Alcalinidad	Kit Alacalinity HACH	124 mg de CaCO ₃
Aniones		
Cl ⁻	Volumétrico	30.3 mg/L
SO ₄ ²⁻	Espectrofotométrico	1782.0 mg/L
HCO ₃ ⁻	Volumétrico	151.28 mg/L

	Método	Resultados
Cationes		
Ca ²⁺	ICP-OES	339.9 mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	17.29 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	20.4 mg/L
K ⁺	ICP-OES	15.01 mg/L
Otros Analitos		
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	0.000 mg/L

<i>Elaboró</i>	<i>Revisó</i>
<p>Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICT antonio.lara@ipicyt.edu.mx</p>	<p>Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx</p>

c.c.p. Archivo del Laboratorio de Hidrogeoquímica

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Lugar: Encarnación De Abajo,
Matehuala, San Luis Potosí

Fecha: 17 De Mayo De 2014
No de Muestra: 3 **Registro:** IG44

Datos Del Solicitante

Representante

Ciudad	Matehuala
Estado	San Luis Potosí
Teléfono	
E-mail	

Muestreo

Responsable De Muestreo	Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas
Fecha De Muestreo	29 De Marzo De 2014

Tipo De Muestra

Agua subterránea pozo

	Método	Resultado
	Parámetros Físico Químicos	
pH	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	7.0 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	2.6 mS/cm
Alcalinidad	Kit Alcalinity HACH	104 mg/L de CaCO ₃
Aniones		
Cl ⁻	Volumétrico	102.23 mg/L
SO ₄ ²⁻	Espectrofotométrico	1516 mg/L
HCO ₃ ⁻	A partir de la alcalinidad	126.8 mg/L
	Método	Resultados
Cationes		

Ca ²⁺	ICP-OES	338.8 mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	20.91 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	34.6 mg/L
K ⁺	ICP-OES	23.1 mg/L
	Otros Analitos	
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	0.0 mg/L

<i>Elaboró</i>	<i>Revisó</i>
<p>Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICT antonio.lara@ipicyt.edu.mx</p>	<p>Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx</p>

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICO

Lugar: Encarnación De Abajo,
Matehuala, San Luis Potosí.

Fecha: 17 De Mayo De 2014
No de Muestra: 4 **Registro:** IG63

Datos Del Solicitante

Representante

Ciudad	Matehuala
Estado	San Luis Potosí
Teléfono	
E-mail	

Muestreo

Responsable De Muestreo	Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas
Fecha De Muestreo	29 De Marzo de 2014

Tipo De Muestra

Muestra De Agua

	Método	Resultado
	Parámetros Físico Químicos	
pH	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	7.5 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	2.6 mS/cm
Alcalinidad	Kit Alcalinity HACH	133mg/L de CaCO ₃
Aniones		
Cl ⁻	Volumétrico	86.85 mg/L
SO ₄ ²⁻	Espectrofotométrico	1782 mg/L
HCO ₃ ⁻	A partir de la alcalinidad	162.2 mg/L
	Método	Resultados
Cationes		

Ca ²⁺	ICP-OES	354.1 mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	23.86 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	33.5 mg/L
K ⁺	ICP-OES	27.14 mg/L
	Otros Analitos	
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	0.000 mg/L

<i>Elaboró</i>	<i>Revisó</i>
<p>Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICT antonio.lara@ipicyt.edu.mx</p>	<p>Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx</p>

c.c.p. Archivo del Laboratorio de Hidrogeoquímica

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Lugar: Santa Lucia, Matehuala, San Luis Potosí.

Fecha: 17 De Mayo De 2014
No de Muestra: 5^a **Registro:** IG46

Datos Del Solicitante

Representante

Ciudad

Matehuala

Estado

San Luis Potosí

Teléfono

E-mail

Muestreo

Responsable De Muestreo

Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas

Fecha De Muestreo

29 De Marzo de 2014

Tipo De Muestra

Muestra De Agua

	Método	Resultado
	Parámetros Físico Químicos	
pH	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	7.1 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	2.8 mS/cm
Alcalinidad	Kit Alcalinity HACH	153 mg/L de CaCO ₃
Aniones		
Cl ⁻	Volumétrico	84.4 mg/L
SO ₄ ²⁻	Espectrofotométrico	1443 mg/L
HCO ₃ ⁻	A partir de alcalinidad	186.7 mg/L

	Método	Resultados
Cationes		
Ca ²⁺	ICP-OES	339.3 mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	25.2 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	61.2 mg/L
K ⁺	ICP-OES	18.2 mg/L
Otros Analitos		
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	0.395 mg/L

<i>Elaboró</i>	<i>Revisó</i>
<p>Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICT antonio.lara@ipicyt.edu.mx</p>	<p>Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx</p>

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Lugar: Encarnación De Arriba,
Matehuala, San Luis Potosí.

Fecha: 17 De Mayo De 2014
No de Muestra: 6 Registro: IG61

Datos Del Solicitante

Representante

Ciudad

Matehuala

Estado

San Luis Potosí

Teléfono

E-mail

Muestreo

Responsable De Muestreo

Dra. Nadia Valentina Martínez
Villegas

Fecha De Muestreo

29 De Marzo de 2014

Tipo De Muestra

Muestra De Agua

	Método	Resultado
	Parámetros Físico Químicos	
pH	Sistema Multi- Sonda YSI 556 (MPS)	7.45 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi- Sonda YSI 556 (MPS)	3.6 mS/cm
Alcalinidad	Kit Alcalinity HACH	81 mg/L de CaCO ₃
Aniones		
Cl ⁻	Volumétrico	248.15 mg/L
SO ₄ ²⁻	Espectrofotométrico	1352.0 mg/L
HCO ₃ ⁻	A partir de la alcalinidad	98.8 mg/L

	Método	Resultados
Cationes		
Ca ²⁺	ICP-OES	330.5 mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	41.95 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	140.9 mg/L
K ⁺	ICP-OES	16.0 mg/L
	Otros Analitos	
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	0.0 mg/L

<i>Elaboró</i>	<i>Revisó</i>
<p>Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICT antonio.lara@ipicyt.edu.mx</p>	<p>Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx</p>

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Lugar: Matehuala, San Luis Potosí.

Fecha: 17 De Mayo De 2014

No de Muestra: 7 **Registro:** HQG7

Datos Del Solicitante

Representante

Ciudad

Matehuala

Estado

San Luis Potosí

Teléfono

E-mail

Muestreo

Responsable De Muestreo

Dra. Nadia Valentina Martínez
Villegas

Fecha De Muestreo

29 De marzo de 2014

Tipo De Muestra

Muestra De Agua

	Método	Resultado
	Parámetros Físico Químicos	
pH	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	7.1 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	2.7 mS/cm
Alcalinidad	Kit Alkalinity HACH	147.0 mg/L de CaCO ₃
Aniones		
Cl ⁻	Volumétrico	73.9 mg/L
SO ₄ ²⁻	Espectrofotométrico	1038.0 mg/L
HCO ₃ ⁻	A Partir de la alcalinidad	179.34 mg/L
	Método	Resultados

Cationes		
Ca ²⁺	ICP-OES	346.7 mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	28.8 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	49.1 mg/L
K ⁺	ICP-OES	11.7 mg/L
Otros Analitos		
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	8.8 mg/L

<i>Elaboró</i>	<i>Revisó</i>
Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICT antonio.lara@ipicyt.edu.mx	Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx

c.c.p. Archivo del Laboratorio de Hidrogeoquímica

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Lugar: Matehuala, San Luis Potosí

Fecha: 17 De Mayo De 2014

No de Muestra: 8 Registro:P57

Datos Del Solicitante

Representante

Ciudad

Matehuala

Estado

San Luis Potosí

Teléfono

E-mail

Muestreo

Responsable De Muestreo

Dra. Nadia Valentina Martínez
Villegas

Fecha De Muestreo

29 De Marzo de 2014

Tipo De Muestra

Muestra De Agua

	Método	Resultado
	Parámetros Físico Químicos	
pH	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	8.0 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	4.1 mS/cm
Alcalinidad	Kit Alcalinity HACH	170 mg/L de CaCO ₃
Aniones		
Cl ⁻	Volumétrico	496.3 mg/L
SO ₄ ²⁻	Espectrofotométrico	2158.0 mg/L
HCO ₃ ⁻	A partir de la alcalinidad	207.4 mg/L
	Método	Resultados
Cationes		

Ca ²⁺	ICP-OES	380.6 mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	52.0 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	118.4 mg/L
K ⁺	ICP-OES	46.6 mg/L
	Otros Analitos	
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	0.0 mg/L

<i>Elaboró</i>	<i>Revisó</i>
<p>Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICT antonio.lara@ipicyt.edu.mx</p>	<p>Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx</p>

c.c.p. Archivo del Laboratorio de Hidrogeoquímica

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Lugar: Rancho Los Olivos,
Matehuala, San Luis Potosí

Fecha: 17 De Mayo De 2014
No de Muestra: 10 **Registro:** P22

Datos Del Solicitante

Representante	Jorge Arturo Yrizar
Ciudad	Matehuala
Estado	San Luis Potosí
Teléfono	(488) 101 1423
E-mail	rancholosolivos@hotmail.com

Muestreo

Responsable De Muestreo	Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas
Fecha De Muestreo	29 De Marzo de 2014

Tipo De Muestra

Muestra de agua

Parámetros Físico Químicos	Método	Resultado
pH	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	7.4 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	4.1 mS/cm
Alcalinidad	Kit Alcalinity HACH	104 mg/L de CaCO ₃
Aniones		
Cl ⁻	Volumétrico	670.4 mg/L
SO ₄ ²⁻	Espectrofotométrico	2558.0 mg/L
HCO ₃ ⁻	A partir de alcalinidad	126.8 mg/L
	Método	Resultados

Cationes		
Ca ²⁺	ICP-OES	323.8mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	49.4 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	188.0 mg/L
K ⁺	ICP-OES	17.8 mg/L
	Otros Analitos	
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	0.0 mg/L

<i>Elaboró</i>	<i>Revisó</i>
<p>Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICT antonio.lara@ipicyt.edu.mx</p>	<p>Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx</p>

c.c.p. Archivo del Laboratorio de Hidrogeoquímica

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Lugar: Matehuala, San Luis Potosí
Lumbrera Jhony

Fecha: 17 De Mayo De 2014
No de Muestra: 12 **Registro:** HGQ12

Datos Del Solicitante

Representante

Ciudad Matehuala
Estado San Luis Potosí
Teléfono
E-mail

Muestreo

Responsable De Muestreo Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas
Fecha De Muestreo 29 De Marzo de 2014

Tipo De Muestra

Muestra De Agua

	Método	Resultado
	Parámetros Físico Químicos	
pH	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	7.5 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	2.6 mS/cm
Alcalinidad	Kit Alcalinity HACH	186 mg/L de CaCO ₃
Aniones		
Cl ⁻	Volumétrico	64.5 mg/L
SO ₄ ²⁻	Espectrofotométrico	1527.0 mg/L
HCO ₃ ⁻	A partir de la alcalinidad	226.9 mg/L
	Método	Resultados
Cationes		
Ca ²⁺	ICP-OES	337.2 mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	31.27 mg/L

Na ⁺	ICP-OES	44.7 mg/L
K ⁺	ICP-OES	18.11 mg/L
	Otros Analitos	
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	0.0 mg/L

<i>Elaboró</i>	<i>Revisó</i>
<p>Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICT antonio.lara@ipicyt.edu.mx</p>	<p>Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx</p>

c.c.p. Archivo del Laboratorio de Hidrogeoquímica

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Lugar: Matehuala, San Luis Potosí.

Fecha: 17 De Mayo De 2014

No de Muestra: 13 **Registro HGQ 13**

Datos Del Solicitante

Representante

Ciudad

Matehuala

Estado

San Luis Potosí

Teléfono

E-mail

Muestreo

Responsable De Muestreo

Dra. Nadia Valentina Martínez
Villegas

Fecha De Muestreo

29 De Marzo de 2014

Tipo De Muestra

Muestra De Agua

	Método	Resultado
	Parámetros Físico Químicos	
pH	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	6.9 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	3.3 mS/cm
Alcalinidad	Kit Alcalinity HACH	250 mg/L de CaCO ₃
Aniones		
Cl ⁻	Volumétrico	160.8 mg/L
SO ₄ ²⁻	Espectrofotométrico	1740 mg/L
HCO ₃ ⁻	Volumétrico	305.0 mg/L
	Método	Resultados

Cationes		
Ca ²⁺	ICP-OES	357.1 mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	36.7 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	129.4mg/L
K ⁺	ICP-OES	12.7 mg/L
	Otros Analitos	
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	73.1 mg/L

<i>Elaboró</i>	<i>Revisó</i>
<p>Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICYT antonio.lara@ipicyt.edu.mx</p>	<p>Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICYT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx</p>

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Lugar: Matehuala, San Luis Potosí.

Fecha: 17 De Mayo De 2014

No de Muestra: 14 **Registro:** HGQ14

Datos Del Solicitante

Representante Bernabe Grimaldo

Ciudad	Matehuala
Estado	San Luis Potosí
Teléfono	4881201654
E-mail	Olgagrimaldo_nena@hotmail.com

Muestreo

Responsable De Muestreo	Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas
--------------------------------	--

Fecha De Muestreo	29 De Marzo de 2014
--------------------------	---------------------

Tipo De Muestra

Muestra De Agua

	Método	Resultado
	Parámetros Físico Químicos	
pH	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	8.5 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	2.7 μ S/cm
Alcalinidad	Kit Alcalinity HACH	186 mg/L de CaCO ₃
Aniones		
Cl ⁻	Volumétrico	66.5 mg/L
SO ₄ ²⁻	Espectrofotométrico	1269 mg/L
HCO ₃ ⁻	A partir de la alcalinidad	226.92 mg/L
	Método	Resultados
Cationes		

Ca ²⁺	ICP-OES	353.8 mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	29.2 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	51.1 mg/L
K ⁺	ICP-OES	12.5 mg/L
	Otros Analitos	
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	7.88 mg/L

<i>Elaboró</i>	<i>Revisó</i>
<p>Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICT antonio.lara@ipicyt.edu.mx</p>	<p>Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx</p>

c.c.p. Archivo del Laboratorio de Hidrogeoquímica

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Lugar: Matehuala, San Luis Potosí.

Fecha: 19 De Mayo De 2014
No de Muestra: 15 **Registro:** MH5

Datos Del Solicitante

Representante

Ciudad	Matehuala
Estado	San Luis Potosí
Teléfono	
E-mail	

Muestreo

Responsable De Muestreo	Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas
Fecha De Muestreo	29 De Marzo de 2014

Tipo De Muestra

Muestra De Agua

	Método	Resultado
	Parámetros Físico Químicos	
pH	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	7.2 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	2.8 mS/cm
Alcalinidad	Kit Alcalinity HACH	186 mg/L de CaCO ₃
Aniones		
Cl ⁻	Volumétrico	104.2 mg/L
SO ₄ ²⁻	Espectrofotométrico	1445 mg/L
HCO ₃ ⁻	A partir de la alcalinidad	226.9 mg/L
	Método	Resultados
Cationes		

Ca ²⁺	ICP-OES	350.5 mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	21.46 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	54.1mg/L
K ⁺	ICP-OES	16.8 mg/L
	Otros Analitos	
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	0.144 mg/L

<i>Elaboró</i>	<i>Revisó</i>
<p>Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICT antonio.lara@ipicyt.edu.mx</p>	<p>Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx</p>

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Lugar: Matehuala, San Luis Potosí.

Fecha: 17 De Mayo De 2014

No de Muestra: 16 **Registro:** MH7

Datos Del Solicitante

Representante

Ciudad

Matehuala

Estado

San Luis Potosí

Teléfono

E-mail

Muestreo

Responsable De Muestreo

Dra. Nadia Valentina Martínez
Villegas

Fecha De Muestreo

29 De Marzo de 2014

Tipo De Muestra

Muestra De Agua

	Método	Resultado
	Parámetros Físico Químicos	
pH	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	7.0 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	3.0 mS/cm
Alcalinidad	Kit Alcalinity HACH	221 mg/L de CaCO ₃
Aniones		
Cl ⁻	Volumétrico	94.2 mg/L
SO ₄ ²⁻	Espectrofotométrico	996.0 mg/L
HCO ₃ ⁻	A partir de alcalinidad	269.6 mg/L

	Método	Resultados
Cationes		
Ca ²⁺	ICP-OES	324.1 mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	29.9 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	86.7 mg/L
K ⁺	ICP-OES	10.2 mg/L
Otros Analitos		
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	17.6 mg/L

<i>Elaboró</i>	<i>Revisó</i>
<p>Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICT antonio.lara@ipicyt.edu.mx</p>	<p>Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx</p>

c.c.p. Archivo del Laboratorio de Hidrogeoquímica

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Lugar: Matehuala, San Luis Potosí

Fecha: 17 De Mayo De 2014

No de Muestra: 17 **Registro:** N107

Datos Del Solicitante

Representante	David Herrera Ávila
Ciudad	Matehuala
Estado	San Luis Potosí
Teléfono	
E-mail	

Muestreo

Responsable De Muestreo	Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas
Fecha De Muestreo	29 De Marzo de 2014

Tipo De Muestra

Muestra De Agua

Parámetros Físico Químicos	Método	Resultado
pH	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	7.27 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	2.9 mS/cm
Alcalinidad	Kit Alcalinity HACH	186 mg/L de CaCO ₃
Aniones		
Cl ⁻	Volumétrico	96.7 mg/L
SO ₄ ²⁻	ICP-OES	1259 mg/L
HCO ₃ ⁻	A partir de la alcalinidad	226.9 mg/L
	Método	Resultados

Cationes		
Ca ²⁺	ICP-OES	339.2 mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	37.7 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	70.7 mg/L
K ⁺	ICP-OES	19.5 mg/L
	Otros Analitos	
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	0.0 mg/L

<i>Elaboró</i>	<i>Revisó</i>
<p>Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICYT antonio.lara@ipicyt.edu.mx</p>	<p>Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICYT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx</p>

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Lugar: Matehuala, San Luis Potosí

Fecha: 17 De Mayo De 2014

No de Muestra: 18 **Registro HGQ 18**

Datos Del Solicitante

Representante

Ciudad

Matehuala

Estado

San Luis Potosí

Teléfono

E-mail

Muestreo

Responsable De Muestreo

Dra. Nadia Valentina Martínez
Villegas

Fecha De Muestreo

29 De Marzo de 2014

Tipo De Muestra

Muestra De Agua

	Método	Resultado
	Parámetros Físico Químicos	
pH	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	7.25 unidades de pH
Conductividad	Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS)	3.0 mS/cm
Alcalinidad	Kit Alkalinity HACH	132mg/L de CaCO ₃
Aniones		
Cl ⁻	Volumétrico	123.5 mg/L
SO ₄ ²⁻	Espectrofotométrico	980.0 mg/L
HCO ₃ ⁻	A partir de alcalinidad	161.0 mg/L
	Método	Resultados

Cationes		
Ca ²⁺	ICP-OES	355.0 mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	36.72 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	79.5 mg/L
K ⁺	ICP-OES	20.4 mg/L
Otros Analitos		
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	0.060 mg/L

<i>Elaboró</i>	<i>Revisó</i>
Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICT antonio.lara@ipicyt.edu.mx	Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx

c.c.p. Archivo del Laboratorio de Hidrogeoquímica

	Método	Resultados
Cationes		
Ca ²⁺	ICP-OES	341.7 mg/L
Mg ²⁺	ICP-OES	49.46 mg/L
Na ⁺	ICP-OES	128.4 mg/L
K ⁺	ICP-OES	19.4 mg/L
Otros Analitos		
	Método	Resultados
Arsénico	ICP-OES	0.00 mg/L

<i>Elaboró</i>	<i>Revisó</i>
<p>Q.F.B Antonio De Jesús Lara Del Río Analista Laboratorio De Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas IPICT antonio.lara@ipicyt.edu.mx</p>	<p>Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas Responsable Laboratorio de Hidrogeoquímica División de Geociencias Aplicadas, IPICT nadia.martinez@ipicyt.edu.mx</p>

c.c.p. Archivo del Laboratorio de Hidrogeoquímica

Apéndice D. Encuesta

E Alimentación				F Recreacionales						
¿De dónde provienen los alimentos que consume tales cómo? ¿En que porcentaje?				¿Con qué frecuencia visita?						
	Productos propios	Locales	Regionales	Centro comercial	El lago	Nunca <input type="checkbox"/>	C/8 días <input type="checkbox"/>	C/ 15 días <input type="checkbox"/>	C/ mes <input type="checkbox"/>	C/ 6 meses <input type="checkbox"/>
Maíz	%	%	%	%	El club de tiro o graseo	Nunca <input type="checkbox"/>	C/8 días <input type="checkbox"/>	C/ 15 días <input type="checkbox"/>	C/ mes <input type="checkbox"/>	C/ 6 meses <input type="checkbox"/>
Leche	%	%	%	%	Hotel " Las Palmas"	Nunca <input type="checkbox"/>	C/8 días <input type="checkbox"/>	C/ 15 días <input type="checkbox"/>	C/ mes <input type="checkbox"/>	C/ 6 meses <input type="checkbox"/>
Queso	%	%	%	%	¿Nada en la laguna?	Nunca <input type="checkbox"/>	(una o dos veces por semana) <input type="checkbox"/>	Cada mes <input type="checkbox"/>	Cada 6 meses <input type="checkbox"/>	Cada año <input type="checkbox"/>
Carnes	%	%	%	%	¿Utilizó o ha utilizado materiales del graseo en la construcción de su casa o relleno de su patio?					
Huevo	%	%	%	%	% Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	¿Cuántos camiones de carga?	1-2 <input type="checkbox"/>	2-4 <input type="checkbox"/>	4-8 <input type="checkbox"/>	>8 <input type="checkbox"/>
Verdura	%	%	%	%	¿Ha notado cuál es la dirección del viento que acarrea el polvo que entra a su casa ?					
Tortilla	%	%	%	%	% Norte <input type="checkbox"/> Sur <input type="checkbox"/> Este <input type="checkbox"/> Oeste <input type="checkbox"/>					
Frutas	%	%	%	%						
Frijol	%	%	%	%						
Pescado	%	%	%	%						
G Salud				H Opcionales						
¿Ha presentado presenta algún malestar de los siguientes?				Fecha de diagnóstico						
Adormecimientos	Si ()	No ()		Número de seguro:						
Dolores de cabeza	Si ()	No ()		Unidad médica:						
Nauseas	Si ()	No ()		I Observaciones						
Vómitos	Si ()	No ()								
¿Ha presentado o presenta alguna enfermedad de las siguientes?										
Enfermedades de la piel										
Hiperqueratosis palmar	Si ()	No ()								
Hiperqueratosis plantar	Si ()	No ()								
Hiperpigmentación	Si ()	No ()								
Dermatitis Eczematosa	Si ()	No ()								
Dermatitis folicular	Si ()	No ()								
Otras dermatosis	Si ()	No ()								
Uñas (líneas mees)	Si ()	No ()								
Cáncer de piel	Si ()	No ()								
Epitelioma espinocelular	Si ()	No ()								
Epitelioma basocelular	Si ()	No ()								
Melanoma	Si ()	No ()								
Algunos tipos de Cáncer										
Cáncer de pulmón	Si ()	No ()								
Cáncer de vejiga	Si ()	No ()								
Cáncer de riñón	Si ()	No ()								
Enfermedades cardiovasculares y a										
Cardio Vascular	Si ()	No ()								
Enf. Arterial periférica	Si ()	No ()								
Enf. Cardiovascular	Si ()	No ()								
Enf. Cardiovascular	Si ()	No ()								
Enfermedades reproductivas										
Efectos sobre la reproducción	Si ()	No ()								
Defectos congénitos	Si ()	No ()								
Rn bajo peso	Si ()	No ()								
Abortos	Si ()	No ()								
Otras										
Neuropatía periférica	Si ()	No ()								
Diabetes	Si ()	No ()								