



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE MEDICINA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**

SECRETARIA DE SALUD

**BENEMÉRITO HOSPITAL GENERAL
“JUAN MARÍA DE SALVATIERRA”**

**“CONCENTRACIONES URINARIAS DE ARSÉNICO EN
HABITANTES
DE LA CUENCA HIDROGRAFICA DE SAN JUAN DE
LOS PLANES BCS”**

**TESIS QUE PARA OBTENER LA ESPECIALIDAD DE:
MEDICINA INTERNA**

PRESENTA:

DR. CARLOS GUILLERMO COLÍN TORRES

ASESOR DE TESIS

DR. JUAN MANUEL COTA ABAROA

DRA. JANETTE M. MURILLO JIMÉNEZ



Salud
Baja California Sur

LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR

JUNIO 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

BENEMÉRITO HOSPITAL GENERAL

“JUAN MARÍA DE SALVATIERRA”

TESIS DE POSTGRADO

“CONCENTRACIONES URINARIAS DE ARSÉNICO EN
HABITANTES DE LA CUENCA HIDROGRAFICA DE SAN
JUAN DE LOS PLANES BCS”

PRESENTA

DR. CARLOS GUILLERMO COLÍN TORRES

DR. JUAN MANUEL COTA ABAROA

ASESOR DE TESIS

DRA. JANETTE M. MURILLO JIMÉNEZ

ASESOR DE TESIS

DR. . GUSTAVO J. FARIAS NOYOLA

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE
ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓ

DR.MARIO SALOMON VELASQUEZ

SUBDIRECTOR DE INNOVACIÓN
ENSEÑANZA ESTATAL

DR. PEDRO MERCADO

JEFE TITULAR DEL CURSO DE MEDICINA INTERNA

DEDICATORIA

Inicialmente quiero dar gracias a ese ser que me puso en esta aventura y que siempre en los momentos difíciles me mostró el camino correcto y que a pesar de los errores jamás me abandona.

A mis padres que sin ellos no sería lo que soy ahora, a mi madre por ser siempre mi ejemplo a seguir, porque me enseñó que hasta en los momentos más difíciles hay que salir adelante, a mi padre por apoyarme durante estos 11 largos años, por confiar en mí y por proporcionarme los medios para alcanzar mis metas, a ambos les estaré en eterna deuda por el simple hecho de haberme dado la vida.

A mi hermana Claudia y a mis sobrinos Alejandro y Lis porque son el gran motor que me impulsan a seguir adelante cada día.

Quiero agradecer a Ramiro Rosas por ser además de mi compañero en esta aventura, un amigo y ahora hermano, sabes que sin tus consejos y compañía este camino hubiera sido más difícil, a Rocío Audeves por ser la voz de mi conciencia, una gran amiga, Rocío gracias por tu compañía y por hacerme sentir acompañado, querido y hacer de esta experiencia un momento de felicidad, gracias por abrirme las puertas de tu casa y hacerme sentir como en familia, porque eso son ahora para mí, también agradezco tu contribución en este trabajo.

A Cintia Gonzales quien siempre creyó en mí, por ser mi maestra y aclarar siempre mis dudas, gracia por ser un gran ejemplo y aunque ahora nuestros caminos han tomado rutas distintas para mí siempre serás la jefa, una gran maestra pero sobre todo una gran amiga.

A Beatriz Almaguer, que siempre con su buen humor y positividad logro hacerme entender que la vida es más sencilla de lo que pensamos, solo hay que sonreír siempre, para hacer del momento más difícil tan solo una experiencia de aprendizaje.

A Daniela Velázquez, amiga sabes que jamás olvidare que cuando llegue fuiste la primera con quien pude abrir mi

corazón y se que a donde quiera que estemos siempre estaremos en contacto Dany gracias por todo.

A Miguel Hernández y Verónica Flores por ser excelentes compañeros y amigos sin su apoyo las cosas no hubieran resultado, cada uno a su forma me mostro una perspectiva diferente de vivir y ejercer esta profesión, me llevo lo mejor de ustedes y espero algún día la vida vuelva a cruzar nuestros caminos para disfrutar de los momentos importantes pero también de los difíciles, les deseo éxito.

A Priscilla Miranda por ser una gran compañía durante casi tres años y hacer más fácil este difícil camino y a pesar de las circunstancias siempre estaré para ayudarte.

Quiero agradecer a mis maestros de Hospital Salvatierra sin ellos no hubiera podido desempeñar mi trabajo de la manera correcta con ética y profesionalismo. Dr. Cota gracias por ser el maestro en toda la extensión de la palabra fue un placer haber sido su alumno y siempre intentare desempeñar una medicina de calidad como usted, siempre será mi ejemplo a seguir. Gracias a los doctores: Estrada, Dr. Corrales, Dr. Contreras, Dra. Segura, Dra. Orozco, Dr. Sepulveda, Dr. Preza, Dr. Mercado y al resto del personal de Enfermería, trabajo social y por hacer que mi segunda casa fuera eso y no solo un sitio de trabajo.

Quiero dar una especial agradecimiento a Roberto Aguilera, quien en un inicio me apoyo colaborando en el desempeño de este trabajo, pero al final resulto ser más que un colaborador, un amigo que durante el cierre de este proyecto de vida me apoyo, con su compañía, amistad y ejemplo, logro que retomara el rumbo de mi vida y definiera mis verdaderos objetivos, Roberto gracias por todo y sabes que creo en ti y que a pesar de lo difícil de la situación siempre estaré acompañándote en los buenos y malos momentos, sin importar las circunstancias, el tiempo y la distancia. Gracias por todo siempre te estaré en deuda.

Por último y no porque sea menos importante al contrario, quiero agradecer a la Dra. Murillo, quien con su trabajo, tenacidad y constancia logro sensibilizarme en una problemática que nos afecta a todos, personas como ella hacen falta para hacer de esta sociedad mejor, muchas gracias por hacer posible este trabajo que sabe que es también suyo y no nos queda más que seguir trabajando.

A la Dra. Marmolejo por guiarme de la mano en esta nueva experiencia, por los buenos momentos, la compañía y por creer en mí y en que este proyecto sería de gran utilidad. Dra. Gracias por todo y estoy seguro seguiremos colaborando en proyectos futuros, por que personas como usted es difícil encontrar.

A ambas les estaré eternamente agradecido sin ustedes esto no se hubiera podido llevar a cabo y definitivamente personas como ustedes, responsables, profesionales, humildes y preocupadas por lo demás son un gran ejemplo a seguir.

GRACIAS A TODOS

RESUMEN

La presencia de arsénico en agua de pozo de la cuenca hidrográfica de San Juan de Los Planes, se asocia tanto a la presencia de arsenopirita en rocas, como a la presencia de arsenolita en desechos mineros, los cuales fueron enriquecidos de este mineral durante el proceso de obtención de oro. Estos minerales en contacto con el agua liberan el arsénico de la roca contaminando el agua. Este trabajo muestra las concentraciones urinarias de arsénico (CUA) en pobladores expuestos y no expuestos a agua de pozo con arsénico con concentraciones menores y mayores a la NOM127-SSA (25 µg/l), que habitan dentro de los límites de la cuenca hidrográfica de San Juan de Los Planes. Los resultados muestran que los participantes con CUA por arriba del Índice Biológico de Exposición (IBE) a arsénico, se encontraron en los poblados de San Antonio y San Juan de Los Planes, seguidos de Juan Domínguez Cota y El Sargento. Las CUA máximas (398.71 y 301.52 µg/l) se encontraron en participantes que habitan en inmediaciones de la sierra sobre el arroyo San Antonio, Rancho La Posta y en participantes que habitan en el área de influencia del mismo arroyo, en el valle de la cuenca hidrográfica, Rancho El Bajío. Los resultados de la encuesta muestran que estadísticamente el agua de consumo es la principal fuente de exposición a arsénico, en donde la R fue de 0.37 con una p de 0.00004. A pesar de haber separado los grupos en expuestos y no expuestos, ambos grupos presentaron CUA por arriba del IBE, lo que evidencia, que consumir agua con 25 µg/l de arsénico, valor máximo establecido por la Secretaría de Salud no es suficiente para evitar la exposición crónica a arsénico a través del agua.

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes sobre el arsénico y sus efectos en el ser humano.	2
1.1.1. Mecanismo de Acción del arsénico a nivel celular	3
1.1.2. Absorción, distribución y excreción del arsénico en el organismo	4
1.1.3. Efectos del arsénico en la Salud	7
1.1.3.1. Efectos del arsénico en la Piel.	8
1.1.3.2. Efectos del arsénico en el aparato Cardiovasculares	11
1.1.3.3. Efectos del arsénico en el Sistema Nervioso	12
1.1.3.4. Efectos del arsénico en el Aparato Digestivo	14
1.1.3.5. Arsénico y Diabetes Mellitus 2 (DM2)	14
1.1.3.6. Asociación de Cáncer y arsénico	15
1.1.4. Fuentes de exposición a arsénico	17
1.1.4.1. Concentraciones urinarias de arsénico en Pozos de la Cuenca hidrográfica de San Juan de los Planes	18
1.1.4.2. Concentraciones urinarias de arsénico en Sedimentos de la Cuenca hidrográfica de San Juan de los Planes	22
1.2. Antecedentes de Estudios de arsénico Urinario	24
2. JUSTIFICACION	25
3. OBJETIVO GENERAL	26
3.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS	26
4. HIPOTESIS	27
5. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO	27
5.1. Ubicación	27
5.2. Geología Regional	28
5.3. Clima, vegetación y temperatura	29
6. MATERIAL Y METODOS	30
6.1. Tipo de estudio	30
6.2. Universo, población y tamaño de la muestra	30
6.2.1. Sujetos de estudio	30

6.2.2. Tamaño de la muestra	30
6.2.3. Criterios de Inclusión	31
6.2.4. Criterios de exclusión para grupos expuestos y no expuestos	31
6.2.5. Variables del estudio	31
7. PROCEDIMIENTOS Y METODOLOGIA	32
7.1. Procedimientos y metodología para la medición de arsénico en orina	32
7.2. Procedimientos y metodología para la aplicación de encuestas	35
8. RESULTADOS	36
8.1. Arsénico urinario y sus metabolitos	39
8.1.1. Suma de arsenicales	40
8.1.2. Arsénico Inorgánico (As i)	42
8.1.3. Arsénico Monometilado (MMA)	44
8.1.4. Arsénico Dimetilado (DMA)	45
8.2. Resultados de la Encuesta	49
8.2.1. Edad	49
8.2.2. Género	49
8.2.3. Años habitando	50
8.2.4. Ocupación	51
8.2.5. Antecedentes de enfermedades Crónico Degenerativas	52
8.2.5.1. Diabetes Mellitus 2	52
8.2.5.2. Hipertensión Arterial Sistémica	53
8.2.6. Antecedentes familiares de Cáncer	53
8.2.7. Consumo de agua	54
8.2.7.1. Consumo de agua en San Juan de Los Planes	56
8.2.7.2. Consumo de agua en El Sargento	57
8.2.7.3. Consumo de agua en Juan Domínguez Cota	58
8.2.7.4. Consumo de agua en San Antonio	58
8.2.8. Alimentación	59
8.2.8.1. Frecuencia de consumo de Carne de Res y lugar de adquisición	59
8.2.8.2. Frecuencia de consumo de Carne de Pollo	61

8.2.8.3. Frecuencia de consumo de Puerco	63
8.2.8.4. Frecuencia de consumo de Pescado	64
8.2.8.5. Frecuencia de consumo de Mariscos	65
8.2.8.6. Lugar de adquisición de lácteos	67
8.2.8.7. Lugar de adquisición de frutas y verduras en un solo lugar	68
8.2.8.7.1. Lugar de adquisición de frutas y verduras en un varios lugares	69
8.3. Análisis estadístico de la encuesta	71
9. DISCUSIÓN	75
9.1. Análisis de resultados de los parámetros considerados en este estudio.	75
9.2. Especies de arsenicales en muestras (As i, MMA, DMA, suma de arsenicales) y otros estudios a nivel mundial	80
10. CONCLUSIONES	88
11. SUGERENCIAS	90
12. AGRADECIMIENTOS	92
13. REFERENCIAS	93

1.INTRODUCCIÓN

Estudios científicos han demostrado que consumir agua con concentraciones mayores a 2.5 µg/l (1.6 L/día) pueden tener efectos en la salud (Smith et al., 1992). Por lo que este estudio se enfoca en demostrar la exposición al arsénico de los habitantes en la región a través de la comparación del Índice Biológico de Exposición a arsénico, con las concentraciones urinarias de arsénico de los participantes. Dicho índice establece que valores por arriba de 35 µg/l requieren de una intervención ambiental para reducir los niveles de exposición a este contaminante.

En la región la arsenopirita que presentan las rocas y principalmente la arsenolita subproducto de la minería, por su potencial de disolución, al contacto con el agua, liberan arsénico en su forma elemental, enriqueciendo el agua de este elemento. El agua de lluvia se contamina con arsénico al contacto con estos minerales en los desechos mineros y al contacto con las rocas expuestas en superficie que lo contienen. El agua subterránea se contamina al contacto con rocas con arsénico en fallas y fracturas, al contacto con superficies expuestas de roca con arsénico en túneles dejados por las excavaciones de la antigua minería y por la infiltración de agua de lluvia contaminada (Carrillo, 1996, Posada, 2011). El agua de los pozos que está bajo la influencia del agua contaminada que fluye eventualmente por el arroyo San Antonio, en la zona serrana presenta un promedio de arsénico de 220 µg/l (14 pozos), en la base de la sierra, sobre este arroyo en el poblado de Texcalama, presenta una concentración de 94 y 2270 µg/l (2 pozos) y el agua de pozo de los arroyos tributarios del lado Oeste del arroyo, tienen una concentración promedio de 14.6 µg/l (5 pozos) (CNA, 2003; Niparajá y Guardianes del Agua, 2011).

1.1 Antecedentes sobre el arsénico y sus efectos en el ser humano.

El arsénico es un metaloide que se encuentra de forma natural en la tierra. El nombre de arsénico deriva del Griego *arsenikon* que significa potente, pero en la actualidad es sinónimo de veneno. El átomo de arsénico existe en forma elemental y en estados de oxidación pentavalente y trivalente. La toxicidad de un arsenical depende de la rapidez con que se elimine del cuerpo y en consecuencia de su grado de acumulación en los tejidos. Los arsenicales orgánicos contienen arsénico ligado a un átomo de carbono por un enlace covalente y en ellos el arsénico existe en forma trivalente y pentavalente. Los arsenicales orgánicos suelen excretarse con mayor rapidez que los inorgánicos. Los arsenicales pentavalentes tienen muy poca afinidad por los grupos tiol, a diferencia de los trivalentes y son mucho menos tóxicos (Laurence et al., 2006).

En general la toxicidad relativa de los compuestos de arsénico depende principalmente de: 1) Su forma, ya sea orgánica o inorgánica, 2) Valencia, 3) Solubilidad, 4) Estado Físico y pureza y 5) Tasa de absorción y eliminación (ATSDR Y CSEM, 2009). Se pueden clasificar en orden de mayor a menor toxicidad de la siguiente forma: 1) Compuestos inorgánicos trivalentes, 2) Compuestos orgánicos Trivalentes, 3) Compuestos inorgánicos pentavalentes, 4) Compuestos orgánicos pentavalentes y 5) Arsénico elemental (Gorby, 1988).

1.1.1. Mecanismo de Acción del arsénico a nivel celular

Los efectos a nivel celular han sido muy discutidos pero se encuentran bien establecidos. El arsénico pentavalente es un desacoplador de la fosforilación oxidativa a nivel mitocondrial debido a que el mecanismo es por sustitución competitiva de un fosfato por un arsenato en la formación de Trifosfato de Adenosina (ATP), estos ATP son la principal fuente de energía a nivel celular para llevar a cabo cualquier función-fisiológica (Figura 1).

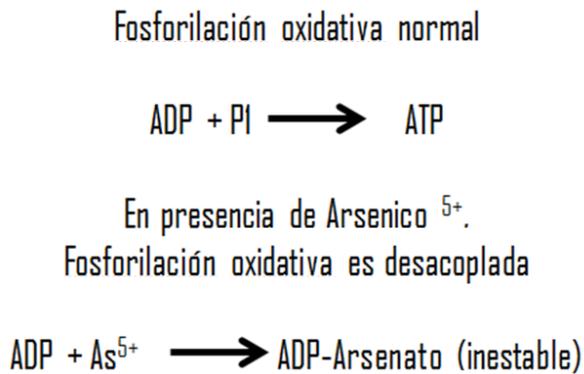


Figura 1. Mecanismo de acción del arsénico en la fosforilación oxidativa (Pigott and Liebelt, 2007).

El arsénico trivalente inhibe la conversión de dihidrolipoato a lipoato en la reacción de la enzima piruvato deshidrogenasa, disminuyendo la producción de Acetil-CoA, co factor esencial en el ciclo de Krebs del cual se produce la mayor cantidad de ATP, indispensable para todas las reacciones celulares (Figura 2).

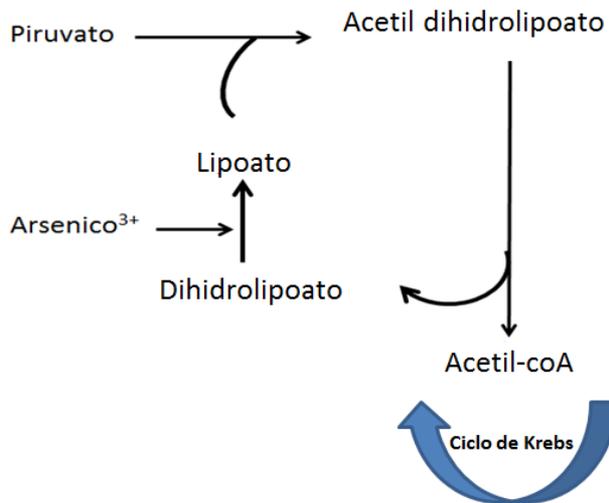


Figura 2. Mecanismo de acción del arsénico en el Ciclo de Krebs (Pigott and Liebelt, 2007).

1.1.2 Absorción, distribución y excreción del arsénico en el organismo.

La absorción de arsenicales poco hidrosolubles depende del estado físico del compuesto. El material en polvo grueso es menos tóxico, porque se elimina en las heces antes de disolverse. Las sales son más solubles en agua y se absorben mejor que el óxido (Laurence et al., 2006).

Aproximadamente el 95% de una dosis ingerida de arsénico trivalente se absorbe en el tracto digestivo (Rossman, 2007). A nivel pulmonar, aún no se determina cual es la cantidad que se absorbe por inhalación, pero se piensa que es de un 60 a 90 % (Yip y Dart, 2001).

La vida media del arsénico inorgánico en los seres humanos es de aproximadamente 10 horas (Rossman, 2007). Después de haber sido absorbido en los pulmones o tracto digestivo, se distribuye ampliamente por el torrente

sanguíneo (ATSDR Y CSEM, 2009). Una vez en el torrente sanguíneo a nivel celular se incorporan en glóbulos rojos, glóbulos blancos y otras células que reducen el arsenato a arsenito (Wang et al., 1996).

Es necesario que el arsenato se reduzca a arsenito (As III) antes de que pueda ocurrir la metilación. Esta reacción se lleva a cabo a través de glutatión (Miller et al., 2002). Una parte del arsenito es metilada en el hígado por la transferencia enzimática del grupo metilo de la S-adenosilmetionina que forma el arsenato de metilo (MMA V) y el arsenato de dimetilo (DMA V). Una vez terminada la reacción los productos resultantes pueden ser excretados mayor facilidad (Aposhian et al., 2004; Styblo et al., 2002).

La eficiencia de la metilación en los seres humanos decrece a dosis altas de arsénico y diversos estudios han demostrado que se encuentra ligada genéticamente (Chung et al., 2002). A si mismo otros estudios han demostrado que el sexo femenino presenta mejor capacidad de metilación, específicamente en estado gravídico (Ashan et al., 2007; Lindberd et al., 2007; Steinmaus et al., 2007; Vahter et al., 2007).

Cuando se sobrepasa la capacidad de metilación del hígado y se sigue expuesto a niveles altos de arsénico inorgánico, se observa un incremento en la retención de arsénico en los tejidos blandos. Se deposita en hígado, riñón, pulmón, corazón y en menores cantidades en músculo y sistema nervioso. Ante el alto contenido de sulfihidrilo en la queratina se encuentra en altas concentraciones en pelo y uña. Este elemento puede cruzar fácilmente la barrera placentaria por lo que puede afectar al feto (Laurence et al., 2006).

El arsénico se excreta en la orina, encontrando una mezcla de arsénico inorgánico, arsénico monometilado y arsénico dimetilado. El arsénico inorgánico se excreta en un 10 a 30 %, 10 a 30 % en su forma monometilada (MMA) y 60 a 80 % en su forma dimetilada (DMA) (Cohen et al., 2006; NRC, 1999; Vahter y Concha 2001; Schuhmacher-Wolz et al., 2009). De acuerdo a la encuesta Nacional de Salud y Nutrición del 2003-2004 (ATSDR, 2007) 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., 2008). En un estudio que realizó la ATSDR Y CSEM, en el 2009, en el cual a los voluntarios se les aplicó una sola inyección intravenosa de arsénico inorgánico trivalente, se apreció que, la mayoría del arsénico fue excretado por vía urinaria en los primeros dos días, aunque en algunos se encontró hasta la segunda semana. Debido a que el arsénico se desaloja rápidamente de la sangre, los niveles sanguíneos de este elemento pueden ser normales aunque los niveles en orina se mantengan elevados (ATSDR Y CSEM, 2009). Existen otras vías de eliminación con menor importancia entre las que se encuentra la descamación de la piel, incorporación a cabello y uñas, heces y sudor.

Además de encontrarse en la orina el arsénico inorgánico y sus metabolitos, puede encontrarse en formas orgánicas como arsenobetaina y arsenocolina (provenientes del consumo de productos del mar), las cuales no se biotransforman y se excreta rápidamente, sin cambios en la orina, cumpliendo con una vida media menor de 20 horas y eliminándose completamente en la orina en las siguientes 48 horas (ATSDR Y CSEM, 2009).

Actualmente La Conferencia Americana de Higiene Industrial, establece un índice biológico de exposición (BEI) de 35 µg/l como límite máximo de concentración urinaria de arsénico no dietario. Por arriba de estos niveles sugieren intervenir ambientalmente para remediar la exposición (ACGIH, 2003).

1.1.3. Efectos del arsénico en la salud

El arsénico afecta a prácticamente todos los aparatos y sistemas del cuerpo por que interviene con reacciones enzimáticas de amplia distribución. Los efectos en la salud han sido estudiados posteriormente a las múltiples epidemias en Bangladesh y la India. En general el cuadro clínico de afección por arsénico se puede dividir en agudo y crónico, en seguida se muestran en la Tabla 1, los efectos en la salud (Gorby, 1988).

Tabla No. 1. Intoxicación aguda y crónica por arsénico: síntomas y signos (Pigott and Liebelt, 2007).

Sistema	Intoxicación Aguda	Intoxicación Crónica
Sistema Nervioso Central	Confusión, encefalopatía, delirio, convulsiones	Cefalea crónica, psicosis, cambios de personalidad, convulsiones
Sistema Nervioso Periférico	Neuropatía Periférica	Neuropatías sensitivo motoras
Cardiovascular	Hipotensión, alteraciones de la conducción y arritmias	Alteraciones de la conducción y arritmias
Gastrointestinal	Nauseas, vómito, diarrea sanguinolenta, deshidratación, dolor abdominal, hepatitis aguda	Cirrosis e hipertensión portal
Pulmonar	Tos, disnea, edema agudo pulmonar	Tos crónica

Hematológico	Anemia hemolítica	Anemia, leucopenia y pancitopenia
Renal	Necrosis Tubular Aguda, Insuficiencia Renal Aguda	Falla Renal Crónica
Dermatológicas	Líneas de Mees, líneas transversas en cabello	Hipo o hiperpigmentación, hiperqueratosis en palmas y plantas, cáncer de piel, edema periférico y alopecia.
OTRAS		Cáncer de vejiga, pulmón, piel y hematológicos.

Los efectos a la salud secundarios a exposición crónica a arsénico se denomina arsenicosis (OMS, 2005). Los síntomas por exposición crónica, en primeras etapas son insidiosos y la magnitud depende de la dosis y tiempo de exposición. Los síntomas pueden ser tan variados que los integrantes de una misma familia pueden presentar diferentes signos y síntomas (Mazumder, 2008). Los órganos con mayor afección son la piel, el pulmón y el hígado y los sistemas cardiovascular y hematológico, sin embargo actualmente se han reportado importantes efectos en el metabolismo de carbohidratos.

1.1.3.1. Efectos del arsénico en la Piel.

Los signos más comunes en exposición crónica a As son la hiperqueratosis palmo-plantar y cambios en la pigmentación. La Hiperqueratosis ocurre con mayor frecuencia en palmas de las manos y plantas de los pies, aparece de manera difusa y se pueden acompañar de nódulos con distribución simétrica (Figura 3).



Figura 3. Lesiones hipercrómicas en palmas de las manos asociadas a arsenicosis crónica. Cortesía del Dr. Joseph Graziano (ATSDR y CSEM, 2009).

Las alteraciones de la pigmentación pueden ser hipopigmentación o hiperpigmentación, por ello se les denomina en “gotas de lluvia”. La hiperpigmentación es irregular y ocurre particularmente en axilas, cuello, ingle, párpados, pezones y sienes. En casos severos la pigmentación puede extenderse ampliamente en el tórax anterior, espalda y abdomen (Figura 4).

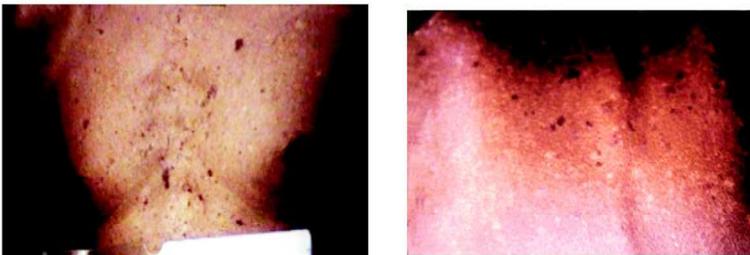


Figura 4. Lesiones hipercrómica e hipocrómicas en tórax asociadas a arsenicosis crónica (Mazumder, 2008).

En la mayoría de los casos, las queratosis por arsénico no muestran marcada atipia celular y pueden conservarse como morfológicamente normales por décadas (ATSDR 2007). En ocasiones, las células pueden adquirir una marcada atipia semejando a un carcinoma in situ como la enfermedad de Bowen y en algunas ocasiones se puede asociar a carcinoma de células basales (Cohen y Moore, 2007). Debido a que la afección en piel es el signo más común, existen diversos estudios que han comprobado la presencia de las afecciones cutáneas asociadas a consumo crónico de agua con niveles elevados de Arsénico inorgánico (Domínguez-Carmona, 2009; Schuhmacher-Wolts et al., 2009).

Los cambios en la pigmentación se han ligado a concentraciones urinarias de As i en agua por arriba de 400 µg/l. Otro estudio Realizado en México, con 104 participantes, se encontró que 55 individuos presentaron afecciones a piel y el valor establecido de arsénico en agua fue de 50 µg/l en agua de consumo, en el cual la hiperqueratosis en palmas y plantas fueron las lesiones más frecuentes en un 56% de los afectados, seguido por hipopigmentación con un 36% e hiperpigmentación 29% (Del Razo et al., 2005). Otro estudio realizado en Bangladesh encontró que en 430 de 1481 participantes, expuestos de manera crónica a arsénico en agua contaminada por más de 30 años presentaron lesiones dérmicas, estimando una prevalencia de esta afección en un 29%. La concentración de As i en agua fue de 0.01 a 2.04 miligramos por Litro (Rahman et al., 1999).

1.1.3.2. Efectos del arsénico en el aparato Cardiovasculares

Existe una fuerza de asociación limitada entre la exposición crónica al arsénico y la enfermedad vascular periférica, la Hipertensión Arterial Sistémica y la enfermedad cardiovascular (IARC 2004). Estudios experimentales revelan que la exposición al arsénico provoca una inhibición de la sintasa del óxido nítrico en el endotelio, cambios en la coagulación e inflamación, todo ello contribuyendo a aterosclerosis (Simeonova and Luster, 2004) pero también ya se demostró que la exposición crónica a arsénico provoca Hipertensión Arterial Sistémica (Chen, et al., 1995). Estudios realizados en Chile y Taiwan revelan que la ingesta de niveles de arsénico entre 0.8 y 1.82 µg/l en agua potable dan como resultado una mayor prevalencia de enfermedad vascular periférica y mortalidad cardiovascular. (Rosenman, 2007). En relación al daño en miocardio se puede apreciar en diversos cambios electrocardiográfico como son aplanamiento de las ondas T, depresión del ST, ensanchamientos del complejo QRS, prolongación del intervalo QT y taquicardia ventricular atípica y multifocal (Mazumder et al., 2003; ATSDR Y CSEM, 2009).

Una de las manifestaciones de arsenicosis crónica más alarmante, es la enfermedad del Pie Negro la cual se caracteriza por aterosclerosis generalizada e histológicamente por arterioesclerosis obliterante y tromboangeitis obliterante. La enfermedad del pie negro se caracteriza por extremidades frías, predominantemente de miembros inferiores. Hay claudicación progresiva, úlceras, gangrena y amputación espontánea. Taiwán presentó un incremento en la prevalencia de la enfermedad del pie negro con niveles de arsénico en agua potable de 170 a

800 µg/l y una exposición crónica (ATSDR Y CSEM, 2009; Pi et al., 2005. Chang et al., 2004) (Figura 5).



Figura 5. Enfermedad del pie negro, (<http://www.betterlifelabs.org/overview05.html>).

La enfermedad de Raynaud se ha visto en asociación al consumo crónico de agua contaminada por arsénico. En Chile se presentó esta enfermedad y se demostraron cambios vasoespásticos y engrosamiento de arterias de mediano y pequeño calibre (García- Vargas y Cebrian., 1996).

1.1.3.3. Efectos del arsénico en el Sistema Nervioso

Se ha demostrado destrucción que genera neuropatía periférica con una exposición aguda a dosis altas (2 mg/As/kg/día) o exposición crónica a niveles menores (0.03 -0.1 mg As/kg/día) (Chakraborti et al., 2003; ATSDR Y CSEM, 2009). La principal afección es la neuropatía periférica y se caracteriza por disestesias, debilidad muscular de las extremidades de predominio inferior, disminución de reflejos profundos y atrofia muscular.

También se asocia a alteraciones del sueño, mareo y alteraciones de la memoria (ATSDR 2007). En la intoxicación crónica la neuropatía es de predominio sensitivo con patrón guante –calcetín. Puede haber debilidad de los músculos internos de las extremidades, en donde la posibilidad de recuperación es mínima en los casos de exposición crónica (Bleecker, 2007). El principal mecanismo de acción del arsénico es la destrucción de la mielina que recubre los nervios periféricos (ATSDR 2007) (Figura 6).

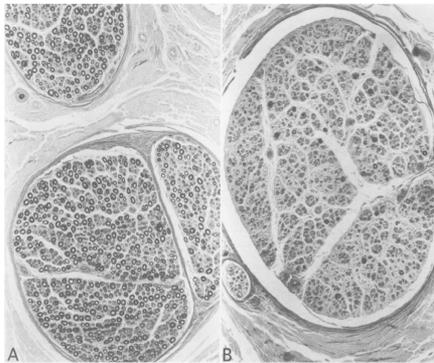


Figura 6. Cortes histológicos evaluados por microscopia óptica en la cual se aprecia en la figura A el corte de un nervio normal y en la figura B nervio lesionado asociado a arsenicosis crónica (Gorby, 1988).

1.1.3.4. Efectos del arsénico en el Aparato Digestivo

Los efectos en este aparato se aprecian principalmente a nivel hepático pudiendo llegar a generar cirrosis como parte final de la afección. Las principales lesiones son: Infiltración adiposa, necrosis central y cirrosis. Afecta el parénquima hepático, pericolangitis y trombosis de las vías biliares distales (Figura 7). La incidencia de hepatomegalia tiene una relación lineal proporcional al incremento en la exposición de arsénico en agua. En el Oeste de Bengala de 3467 pacientes con exposición a al menos 0.05 $\mu\text{g/l}$ en agua el 10.2% desarrolló hepatomegalia. Las principales manifestaciones clínicas reportadas en un estudio en Bengala de 1447 casos fueron dispepsia en 38.4%, dolor abdominal (0.05 a 1.8 $\mu\text{g/l}$ arsénico en agua), Náuseas y diarrea (Mazumder, 2008).

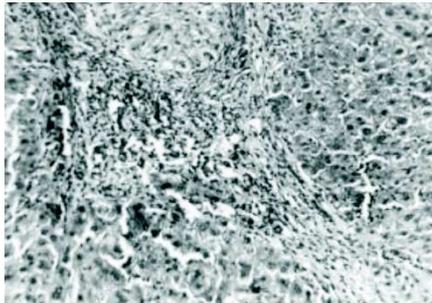


Figura 7. Corte histológico de Biopsia Hepática observado por microscopia óptica, con datos de cirrosis hepática (Mazumder, 2008).

1.1.3.5. Arsénico y Diabetes Mellitus 2 (DM2)

El mecanismo por el cual se desarrolla la enfermedad de Diabetes Mellitus 2 (DM2) es desconocido hasta el momento sin embargo se ha propuesto los siguiente: 1)

Alteración en la secreción de Insulina por la célula B pancreática (Díaz-Villaseñor et al., 2006), 2) Alteración en la captación de insulina en adipocitos e interferencia en la movilización de co transportadores de glucosa (Walton et al., 2004) y 3) Resistencia a la Insulina (Izquierdo-Vega et al., 2006).

Diferentes estudios han mostrado una asociación de 2.5 veces en el incremento en el riesgo de padecer DM2 en relación a la exposición crónica a arsénico, e indicaron que niveles por arriba de 50 µg/l de arsénico inorgánico en orina incrementan el riesgo de padecer DM2 de un 2.16 a 2.82 veces (Izquierdo-Vega et al., 2006).

1.1.3.6. Asociación de Cáncer con el Arsénico

Un gran campo estudiado es la asociación de cáncer y exposición crónica a arsénico. Los diversos estudios han asociado y comprobado al arsénico como un factor de riesgo para cáncer. Los principales órganos afectados son piel (Enfermedad de Bowen), vejiga, pulmón, hígado y riñón. El mecanismo de acción exacto aún se encuentra en estudio pero se han propuesto diversas formas como son: 1) Incremento en la incidencia de aberraciones cromosómicas y aneuploidias en linfocitos, 2) Formación de Radicales libres a nivel mitocondrial, 3) Amplificación de la mutación de sitios con daño a nivel de DNA y la 4) Intervención en la proliferación, diferenciación y apoptosis celular (Schuhmacher-Wolts et al., 2009).

Posterior a la asociación de cáncer y otros efectos a la salud del arsénico en pobladores expuestos principalmente por contaminación del agua, en el 2004 la Agencia Internacional de búsqueda de Cáncer (IARC) y en el 2007 la Agencia de Protección al medio ambiente en Estados Unidos aprobaron y declararon al arsénico como

un factor de riesgo para la salud y como carcinógeno (ATSDR Y CSEM, 2009).

Tabla 2. Asociaciones que declararon al arsénico como factor de riesgo para la salud y carcinogénico (ATSDR Y CSEM, 2009).

Agencia	Clasificación de Carcinogenicidad	Descripción
Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC)	1	Carcinógeno humano conocido
Programa Nacional de Toxicología	----	Carcinógeno humano conocido
Agencia para la Conservación del Ambiente (EPA)	Grupo A	Carcinógeno humano conocido

Según la IARC y el NRC, la asociación más fuerte entre la exposición crónica a arsénico y cáncer se da con los órganos: piel, pulmón y vejiga.

Respecto al cáncer de Piel los más frecuentes son: Carcinoma Intraepidémico, de células escamosas, y células basales. En Mongolia China en una cohorte de 3179 pacientes se demostró la asociación de cáncer de piel con concentraciones urinarias de As i en agua superior a 150 µg/l (Lamm et al., 2007).

Respecto al cáncer de pulmón se realizaron estudios en Arizona, estados Unidos en los cuales encontraron una importante correlación de cáncer de pulmón y la ingesta crónica de arsénico en agua (Hopenhay-Rich et al., 1998). Para demostrarlo administraron por 8 semanas de 10 a 50 µg/l de arsénico en agua y encontraron cambios a nivel

celular que podrían predisponer a cáncer enfermedades neoplásicas entre ellas cáncer de pulmón (Lantz et al., 2007).

El cáncer de vejiga ha sido una fuente importante de investigación ya que en sitios con altas concentraciones de arsénico en agua se incrementó la incidencia de cáncer de este órgano. Actualmente se utilizan diferentes marcadores biológicos para determinar el riesgo de cáncer a este nivel, el principal son cambios a nivel de las células del epitelio de la vejiga. Se ha demostrado que la presencia de micro núcleos en estas células, incrementan el riesgo de cáncer. Estudios realizados en Nevada, Chile y México demostraron que con concentraciones de 54µg/l de arsénico en orina ya se apreciaban los cambios celulares que incrementan el riesgo de malignidad a nivel de vejiga (Steinmaus et al., 2000).

1.1.4. Fuentes de Exposición a arsénico

Los humanos se encuentran expuestos de forma primaria al arsénico a través del aire, alimentos, agua y de forma ocupacional (Figura 8). Las principales epidemias de intoxicación por arsénico han sido por consumo de agua potable contaminada por depósitos naturales minerales, disposición inadecuada de arsénico en sus múltiples formas químicas, pesticidas, herbicidas, así como por la Industria minera, la cual ha tenido una importante participación en la contaminación de los acuíferos a nivel mundial. Este elemento por lo común es un subproducto en plantas de fundición en la obtención de oro, cobre, plomo, zinc, y otros minerales metalíferos de interés económico y es de esta manera que es liberado de la roca y expuesto al ambiente (Schuhmacher-Wolz et al., 2009; Mejia et al., 1998).

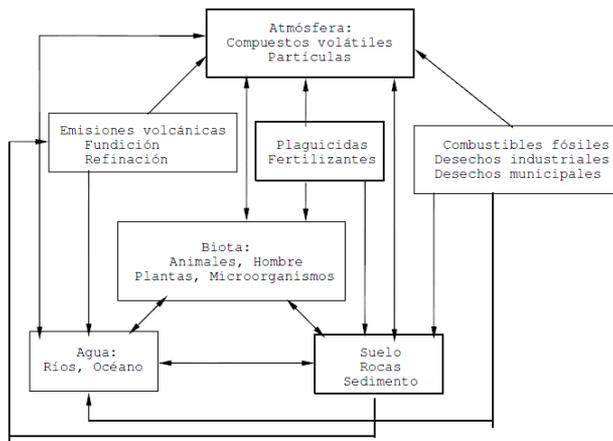


Figura 8. Ciclo de movilización del arsénico en el ambiente (Albores, 1997).

La principal fuente de exposición al arsénico es el agua por lo tanto las autoridades a nivel mundial han establecido límites en las concentraciones de arsénico en el agua. La Organización mundial de la Salud marca como límite máximo permisible 10 $\mu\text{g/l}$ de arsénico. La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 con última modificación en el 2005 establece como límite máximo 25 $\mu\text{g/l}$ de arsénico.

Estudios previos (Smith et al., 1992) han demostrado que niveles bajos de arsénico en el agua pueden ser carcinogénicos, en donde el riesgo de cáncer bebiendo agua con 2.5 $\mu\text{g/l}$ (1.6 L/día) es de 1/1000 y con niveles de 50 $\mu\text{g/l}$ (1.6 L/día) es de 21/1000.

1.1.4.1 Concentraciones de arsénico en Pozos de la Cuenca hidrográfica de San Juan de Los Planes

Estudios sobre la concentración de arsénico en agua de pozo de la cuenca de SJLP, fueron realizados en 42 pozos

por la Comisión Nacional del Agua (2003) y en 80 pozos por las organizaciones Niparajá y Guardianes del Agua (2011), los cuales muestran que la mayoría de los pozos contienen arsénico inorgánico, en donde el valor promedio en estos pozos es de 102.46 $\mu\text{g/l}$ y 72.9 $\mu\text{g/l}$ respectivamente. El porcentaje de pozos para ambos estudios es el siguiente: valores entre 1 a 10 $\mu\text{g/l}$, son de 38.1 y 26% (CNA, Niparajá respectivamente), valores entre 10.1 a 25 $\mu\text{g/l}$, son de 21.43 y 28.75%, valores entre 25.1 a 200 $\mu\text{g/l}$, son de 30.95 y 30%, valores entre 200.1 a 804 $\mu\text{g/l}$, son de 4.76 y 13.75% y con un valor de 2270 $\mu\text{g/l}$, es del 2% (CNA, 1 pozo). Ambos estudios muestran que el 59.5 % y 73% de los pozos respectivamente están por arriba de la norma internacional de salud y el 38 % y 44% respectivamente están por arriba de la norma nacional (Figura 9).

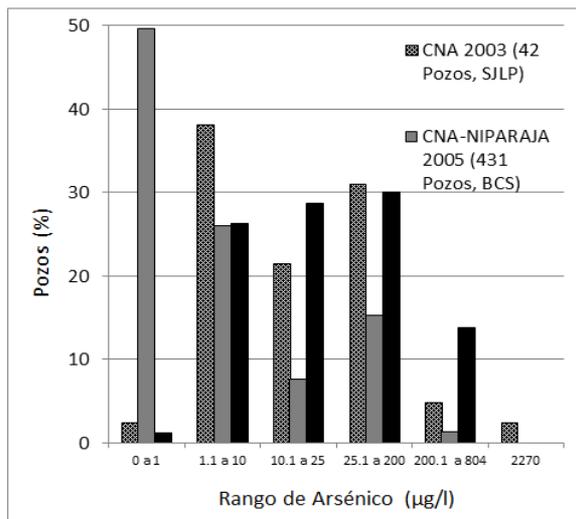


Figura 9. Concentración de arsénico en agua de pozo en el estado de Baja California Sur. Límite Máximo permitido a nivel Nacional: NOM127SSA: 25 $\mu\text{g/l}$ y a nivel

Internacional; Organización Mundial de la salud (OMS) 10 µg/l.

En la cuenca hidrográfica de SJLP la localización y concentración de arsénico de los pozos analizados por el Servicio Geológico Mexicano y reportados por Niparajá y Guardianes del Agua (2005) se presentan en la Figura 10, en donde el color amarillo muestra las concentraciones de arsénico entre 0.001 y 0.0039 mg/l, valores bajo la norma internacional, norma nacional y criterio de salud de acuerdo Smith (1999), el color verde muestra los pozos con concentraciones de arsénico entre 0.004 y 0.008 mg/l, concentraciones mínimas consideradas por Smith (1999) de impacto a la salud, el color naranja muestra los pozos por arriba del límite establecido por la Organización Mundial de La Salud y el color rojo muestra los pozos por arriba de la norma nacional (NOM127SSA).

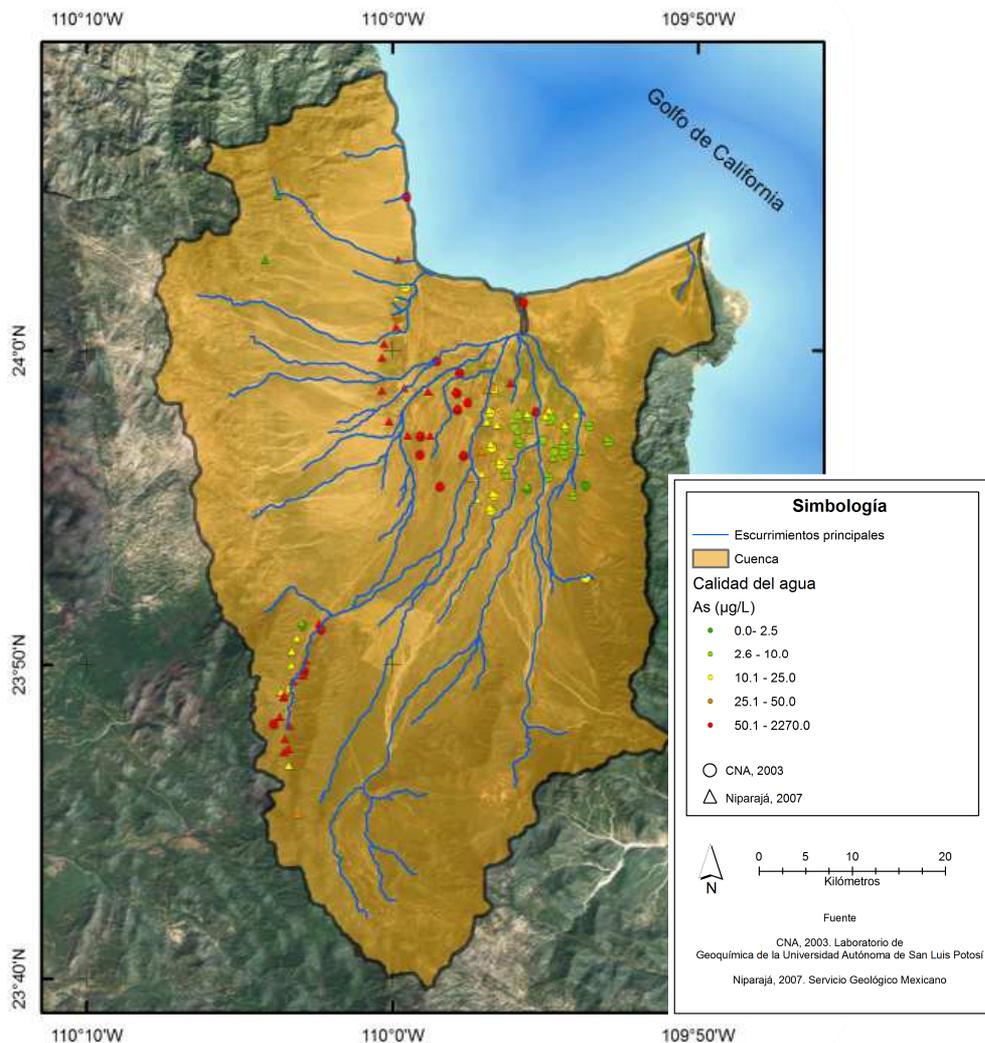


Figura 10. Concentraciones de arsénico en agua de Pozos de la cuenca de hidrográfica de San Juan de los Planes. NOM127SSA=Secretaría de Salud (1994), OMS= Organización Mundial de la Salud, CNA 2008. Lab. de Geoquímica de la UASLP. Niparaja 2007.

1.1.4.2. Concentraciones de arsénico en Sedimentos de la Cuenca hidrográfica de San Juan de los Planes

En la cuenca hidrográfica de SJLP se presentan minerales con arsénico, como la arsenopirita y la arsenolita. La arsenopirita se presenta en rocas de la región (Reporte CONACYT en preparación), y la arsenolita es un subproducto generado durante la oxidación de rocas con minerales de arsenopirita en la planta de fundición minera de Los San Juanes (Carrillo, 1996). Por lo que los desechos de minería en la región de San Antonio, contienen altas concentraciones de arsenolita (Carrillo, 1996), la cual eventualmente está siendo transportada y depositada a lo largo del arroyo San Antonio, el cual en la base de la sierra (poblado de Texcalama), se ramifica en una serie de tributarios que corren sobre el valle de la cuenca (en donde se encuentran los poblados de Juan Domínguez Cota y San Juan de Los Planes), los cuales convergen en la laguna la bocana, adyacente a la zona costera y que en época de lluvias se comunica con la bahía La Ventana depositando los materiales contaminados, en el ambiente marino (Posada, 2011).

La región en estudio cuenta con vestigios de la antigua minería practicada en el siglo pasado y debido al proceso de extracción del oro, se quemaba el material se obtuvo como subproducto el mineral arsenolita (óxido de arsénico). Este mineral fue desechado a la intemperie y debido a la solubilidad de este elemento, al mezclarse con el agua de lluvia corre por los arroyos y se infiltra en el terreno hasta llegar al agua subterránea. Por ello se considera que los desechos mineros son la principal causa de contaminación de arsénico a los pozos de agua en el área de influencia de la minería. De hecho se pueden visitar en la localidad de San Antonio, ruinas de las

antiguas plantas de fundición (Los San Juanes, Figura 11), hornos y chimeneas, para la producción de oro, plata y plomo, en donde se presenta óxido de arsénico (arsenolita) en concentraciones hasta de 208 g/k (Posada, 2011).



Figura 11. Vestigios mineros en el área de San Antonio, planta Los San Juanes, cámaras de sublimación y chimenea.

Los sedimentos son una parte fundamental que explica la contaminación de los acuíferos. Los poblados que se incluyen en este estudio, El Sargento, Juan Domínguez Cota, SJLP y San Antonio, están establecidos sobre la CHSJLP. En esta cuenca las concentraciones de As i total en sedimentos superficiales de arroyos varía ampliamente. De acuerdo a un estudio en aproximadamente 20 arroyos en donde se analizaron 56 muestras (Posada, 2011), se

encontró que 4 arroyos presentan arsénico en valores menores al valor promedio encontrado en la corteza terrestre (Wedepohl, 1995, 2 mg/kg), lo cual lo asocian al niveles base o de fondo en la región. 13 arroyos presentaron concentraciones entre 2.7 a 20 mg/kg, en donde consideran que estos arroyos tienen influencia del intemperismo de las rocas locales con minerales con arsénico como la arsenopirita. Estos valores están dentro de los rangos de referencia de arsénico tanto en suelo para uso agrícola comercial y doméstico de acuerdo a la NOM147SEMARNAT que es de 22 mg/kg, como dentro de los rangos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) que es 20 mg/kg. Los arroyos que presentaron valores mayores son los arroyos Los Chiles, con valores de 76 mg/kg (1 muestra), Arroyo Raizuda con valores de 153 y 118, 843 mg/kg (2 muestras) y el arroyo San Antonio, con valores entre 35 a 10,754 mg/kg (26 muestras) con excepción de valores de 7.6 y 8.2 mg/kg (2 muestras), lo cual se relaciona al transporte fluvial de desechos mineros aledaños a estos arroyos. De acuerdo a un estudio reportado por Carrillo (1996) existen aproximadamente 600 toneladas de óxido de arsénico en los desechos mineros, los cuales se encuentran dispersos a la intemperie sujetos al transporte por escorrentías.

1.2. Antecedentes de Estudios de arsénico Urinario

Diversos estudios a nivel mundial han encontrado que las principales fuentes de exposición al arsénico en el humano son el agua, suelos, productos del mar. Otros autores observaron que la orina es el principal biomarcador de exposición a arsénico (Marchiset-Ferlay et al., 2012). A partir de estos estudios se han realizado una serie de investigaciones que muestran la asociación entre las concentraciones de arsénico y las concentraciones

medidas en orina. En Minnessota, Estados Unidos, encontraron que los niveles de arsénico están correlacionados con los niveles de MMA y DMA en orina (Pellizari and Clayton, 2006). Así mismo en Corea del Sur, Cho et al., (in Press) demostró la asociación de arsénico en orina con arsénico en el agua y también demostró que la exposición ambiental a arsénico, aumenta la concentración en orina. Un estudio realizado en la cuenca de Lanyang, Taiwan por Chiou et al., (1997) reportó que por cada 1 $\mu\text{m}/\text{l}$ de arsénico en el agua se incrementa en una razón de 0.18 $\mu\text{g}/\text{l}$ el arsénico inorgánico en orina. También se ha demostrado que el consumo de productos del mar incrementa la concentración de arsénico inorgánico en la orina (Navas-Ancien et al., 2011). Otros estudios ya han asociado al arsénico urinario con una serie de enfermedades como la Diabetes Mellitus 2 (Coronado-González et al., 2007), hipertensión arterial sistémica (HAS) (Li et al., 2013), lesiones en piel (Lindberg et al., 2008), cáncer de vejiga (Steinmaus et al., 2000) y cáncer de pulmón (Chen et al., 2004).

2. JUSTIFICACION

La cuenca hidrográfica de San Juan de Los Planes presenta arsénico inorgánico tanto en el agua subterránea como en los suelos debido a la presencia del mineral arsenopirita encontrado en rocas metasedimentarias y epitermales de la región y a la presencia del mineral arsenolita, generado como un subproducto en las plantas de fundición durante la extracción de oro en ese tipo de rocas. Las concentraciones de este metaloide son mayores en las áreas en donde se encuentran desechos mineros y en donde estos han sido removidos por las lluvias, como a lo largo de los arroyos aledaños a las zonas mineras, en los valles en donde se depositan los

desechos y en los pozos de agua influenciados por estos desechos. Estas áreas corresponden geográficamente a la porción occidental del valle de la cuenca de SJLP. Las concentraciones de este metaloide en esos pozos rebaza la norma mexicana de 1 a 90 veces y en los sedimentos de 1 a 8,320 veces. De acuerdo a los indicadores de afectación a la biota estas áreas presentan sedimentos con valores de afectación media a alta para la biota. Por lo cual es de vital importancia determinar el Índice Biológico de Exposición (IBE) de arsénico en los habitantes de la cuenca hidrográfica de SJLP, la cual presenta en agua y sedimento niveles de arsénico de riesgo para la salud.

3. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el índice Biológico de Exposición (IBE) de arsénico en los habitantes de la cuenca hidrográfica de San Juan de los Planes B.C.S.

3.1. Objetivos específicos

Evaluar la presencia de arsénico inorgánico en habitantes de la cuenca hidrográfica de San Juan de los Planes B.C.S, mediante la determinación de la concentración urinaria de arsénico inorgánico (As i) y sus metabolitos: arsénico Monometilado (MMA) y arsénico Dimetilado (DMA).

Evaluar si los participantes se encuentran en niveles de exposición al arsénico de riesgo para su salud, mediante la comparación de la suma de la concentración urinaria de arsénico inorgánico y sus metabolitos (As i, MMA y DMA) con el valor del Índice Biológico de Exposición a arsénico.

Identificar el o los principales factores de exposición a arsénico en los participantes, mediante la aplicación de

una encuesta de los antecedentes patológicos e higiénico-dietéticos personales y heredofamiliares, y la aplicación de pruebas estadísticas de correlación.

4. HIPOTESIS

Los habitantes que utilizan agua de pozo con concentraciones por arriba de 25 µg/l; de acuerdo a los límites establecidos por la NOM127SSA, presentarán valores urinarios de arsénico por arriba del Índice Biológico de Exposición (IBE, 35µg/l), a diferencia del grupo de participantes no expuestos, en donde se espera que los niveles urinarios estén por debajo de este índice debido a que las concentraciones de arsénico en el agua son menores a 25 µg/l.

5. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DEL ESTUDIO

5.1. Ubicación

Los poblados considerados en este estudio se encuentran aproximadamente a 50 km, al sur sureste de la ciudad de La Paz, Baja California Sur, dentro de un área limitada por los paralelos 24° 10' y 23° 40' de latitud Norte y los meridianos 109° 50.0' y 110° 07.50' de longitud Oeste, que corresponden a la delimitación de la cuenca hidrográfica de San Juan de Los Planes (CHSJLP), la cual incluye una red de arroyos a partir de las zonas más altas de las sierras hasta la zona costera en donde se encuentra bahía La Ventana (INEGI, 1998, INEGI,2005).

La CHSJLP corresponde a una depresión de forma alargada, controlada por las diversas fallas que la

delimitan lateralmente con orientación Norte-Sur, que afecta en general a la Península de Baja California. Tiene una superficie aproximada de 936.4 km², con una longitud de 55 km y un ancho aproximado de 24 km. El flanco occidental de la cuenca es definido por las sierras La Trinchera con 820 m y Las Cruces con 1200 m de altura, mientras que hacia el oriente se alza la denominada Sierra Santa Martha-El Carrizal con 1100 m de altura (Pérez-Briceño, 2009). Al pie del frente montañoso, también asociado a fallas, son comunes los abanicos aluviales, el pie de monte, los taludes de derrubios, los conos de deyección y la conjunción de estas formas, hacia la parte central, constituyen una bajada. En la porción central norte se han desarrollado planicies de inundación y cerca de la línea de costa, por donde se llevan a cabo las descargas fluviales, existe una laguna, de forma alargada y perpendicular a la costa llamada "La Bocana", que representa una comunicación de forma esporádica con el mar (Nava-Sánchez, 1992). En la zona de sierras, se presentan suelos poco profundos y afloramientos rocosos, la pendiente promedio es mayor de 6.7% y el tipo de drenaje es principalmente dendrítico. En la zona de planicies la pendiente es suave, con arroyos de mayor longitud, que se trenzan y forman drenajes paralelos a subparalelos. La pendiente en general varía de 3.3% a menos de <0.5%, y los suelos son profundos en esta región. Las playas son de pendientes fuertes y los sedimentos son de arenas gruesas. La línea de costa, en Punta Arenas, está controlada por el fallamiento normal Norte-Sur de la región (Pérez Briceño, 2009).

5.2. Geología regional

Las unidades litológicas que predominan en el área, incluyen rocas de origen metamórfico, ígneo y

sedimentario, con edades del Mesozoico al Reciente, las cuales están afectadas directa o indirectamente por fallamiento. Una secuencia de conglomerados y arenisca-conglomerados cuaternarios que dan origen principalmente a los abanicos aluviales distribuidos al pie de las sierras que circundan el área de estudio y son de gran importancia para la recarga natural del acuífero de la cuenca. Al igual que materiales no consolidados que cubre el valle cuyo espesor es de 200 m y se encuentran representados por depósitos cuaternarios de origen fluvial y eólico, los cuales están integrados por los tamaños de gravas, arenas, arcillas y limos. El relleno de todos los arroyos en la zona de la sierra representa la fuente principal de sedimentos de la CHSJLP, la cual está constituida, principalmente por arenas medias a gruesas. (Nava-Sánchez, 1992).

5.3. Clima, vegetación y temperatura

El clima en la parte continental, de acuerdo a lo descrito por Robles (1985), es seco desértico, cálido con una temperatura media anual mayor de 22°C, con un régimen de lluvias en verano y una oscilación anual extremosa de la temperatura que varía entre 7° y 14°C. Aquí la precipitación media anual es de 400 mm en las partes de mayor elevación y de 100 a 200 mm en las zonas por debajo de los 360 m.s.n.m. Las temperaturas registradas se encuentran entre los 0 y 45.4°C, la temperatura media anual oscila entre los 12 y 18°C (CNA, año). La región litoral en el Golfo (Roden, 1964) es un desierto cálido con una temperatura media anual de 22°C (en verano alrededor de 41°C). La precipitación anual se encuentra entre 300 mm.

6. MATERIAL Y METODOS

6.1. Tipo de estudio: Expuestos - No expuestos, Analítico y Descriptivo

6.2. Universo, población y tamaño de muestra

La población muestreada fueron los habitantes que se ubican geográficamente dentro de la CHSJLP, en los poblados de: San Juan de Los Planes con un total de habitantes de 902, de los cuales 594 son mayores de 18. Poblado de Juan Domínguez Cota con un total 801 habitantes, de los cuales 480 son mayores de 18 años. Poblado de San Antonio y Texcalama con un total de 495 habitantes, de los cuales 346 son mayores de 18 años. Poblado de El Sargento con un total 958 habitantes, de los cuales 554 son mayores de 18 años (INEGI, 2003).

6.2.1 Sujetos de estudio

Se dividieron en dos grupos, expuestos y no expuestos de acuerdo a los niveles de arsénico en el agua, así los expuestos serán los que habiten en un área geográfica con niveles de As en agua superior a 25 µg/l. Los no expuestos serán los que habiten en una zona geográfica con cifras menores a 25 µg/l de arsénico en el Agua.

6.2.2. Tamaño de la muestra

Expuestos: 86 Muestras
Juan Domínguez Cota: 61 muestras,
San Antonio: 25 muestras.
No expuestos: 95 Muestras
El Sargento: 55 muestras.
San Juan de Los Planes: 40 muestras.

6.2.3. Criterios de inclusión

Grupo de Expuestos: Pobladores mayores de 18 años, que acepten participar de manera voluntaria en el estudio, que habiten de manera continua durante el último año en la región de la CHSJLP y que geográficamente habiten en una zona con concentraciones de arsénico en agua superiores a 25 µg/l.

Grupo de No Expuestos: Pobladores mayores de 18 años, que acepten participar de manera voluntaria en el estudio, que habiten de manera continua durante el último año en la región de la CHSJLP y que geográficamente habiten en una zona con concentraciones de arsénico en agua menores a 25 µg/l.

6.2.4. Criterios de exclusión para grupos Expuestos y No Expuestos

Menores de 18 años y mujeres embarazadas

Pobladores que consumieron alimentos provenientes del mar las últimas 24 horas previas a la toma de la muestra.

Pobladores que decidan no participar en el estudio

6.2.5. Variables del Estudio

Independiente:

Concentraciones superiores a 25 µg/l de arsénico en agua de pozos de la cuenca hidrográfica de San Juan de Los Planes.

Edad

Dependiente:

Índice Biológico de Exposición de arsénico urinario en los pobladores participantes.

7. PROCEDIMIENTOS Y METODOLOGIA

7.1. Procedimientos y metodología de la medición de arsénico en orina

Se realizaron encuestas a los participantes para explicarles el objetivo del estudio y entregarles el formato de consentimiento informado para la toma de muestras y análisis de esta.

Se tomaron muestras de orina en recipientes estériles de polipropileno de 100 cc. La muestra de orina fue la primera micción matutina de chorro medio. Se resaltó la importancia de no consumir productos del mar 24 hr previas de obtención de la muestra.

Una vez colectadas las muestras se mantuvieron a una temperatura aproximada de 10 °C o menores en hieleras habilitadas con refrigerantes.

Se transportaron a las instalaciones de CICIMAR del Instituto Politécnico Nacional, donde se les realizó un examen general de orina, con tiras reactivas de 8 elementos (Leucocitos, nitritos, urobilinógeno, proteínas, pH, sangre, densidad, cetonas, bilirrubinas y glucosa) para valorar la calidad de la orina.

Posterior al análisis de orina se depositaron 10 ml de muestra en tubos de polipropileno de 15 ml y se mantuvieron a una temperatura de 0 °C para su conservación. Posteriormente se enviaron las muestras en hieleras con refrigerantes al laboratorio de Toxicología del

CINVESTAV del Instituto Politécnico Nacional en la Ciudad de México, para su determinación.

Medición de arsénico en orina: Las determinaciones de especies arsenicales (As_i^{V+III} , MMA^{V+III} , DMA^{V+III}) en orina se realizaron usando separación con cromatografía de gases usando una criotrampa y detección con Espectrofotometría de Absorción Atómica y generación de hidruros usando un multiatomizador. Principio: El sistema de separación está basado en la capacidad que tienen los compuestos arsenicales de formar especies volátiles en función de la temperatura. Este sistema consiste en un vaso de reacción, donde se realizó la generación de arsinas a un pH de 6, previa a una reducción con cisteína.

Procedimiento: En un vaso de reacción, a una muestra representativa (0.01-1ml) de orina y pre tratada con cisteína al 2%, se le adicionó 13 ml de agua desionizada y 1 ml de Tris-HCl (0.75M). Se mezcló la muestra con 1 ml de una solución de $NaBH_4$ al 1% en NaOH 0.02M, se dejó reaccionar 3 minutos con un flujo constante de helio (85 ml/min), se cerró el sistema para que el flujo de helio arrastre las arsinas, se aplicó un gradiente de temperatura de -293 a 50°C, esto es por medio de una criotrampa con nitrógeno líquido y calentamiento a través de corriente aplicada en el alambre enrollado en la columna, liberándose las arsinas formadas de As_i a -55°C, de MMA a 2°C y de DMA a 36°C. La atomización de las arsinas fue realizada con una microflama de hidrogeno y aire, con flujo de 15 y 35 ml/min, respectivamente, a través de un multiatomizador. Las arsinas fueron detectadas con un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer, modelo 400. Las áreas obtenidas de las muestras fueron directamente proporcionales a la concentración de las especies arsenicales (Figura 12).

Control de Calidad: Se prepararon gráficos de calibración para las especies arsenicales a tres diferentes concentraciones, cada una de ellas contiene una mezcla de las tres especies arsenicales (As i, MMA y DMA) de acuerdo a las concentraciones presentes en la Tabla 3.

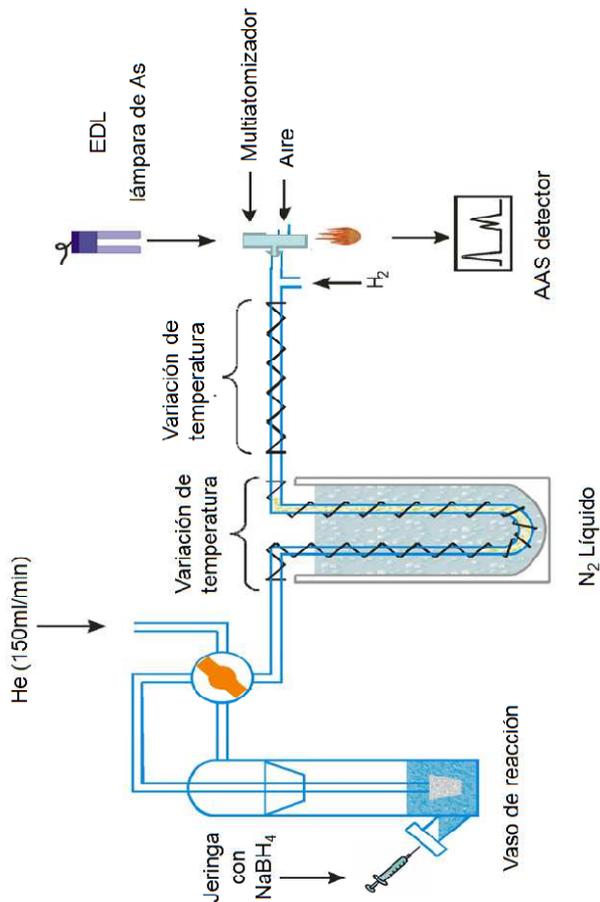


Figura 12. Sistema utilizado en el laboratorio de Toxicología (CINVESTAV-IPN) para la determinación de las especies arsenicales.

Tabla No. 3. Concentración de arsenicales usados para la calibración del método

GRAFICAS DE CALIBRACIÓN			
	As _i (ng)	MMA (ng)	DMA (ng)
1	0.5	0.5	1.5
2	1.5	1.5	4.5
3	3	3	9

7.2. Procedimientos y metodología para la aplicación de la Encuesta

La encuesta se hizo en cada poblado, el cual fue solicitado a voluntarios, a través de llenar un formato foliado para cada participante, con el objeto de conocer los siguientes antecedentes: 1.- Sexo y edad de los participantes, 2.- Lugar de residencia y años habitando, 3.- Antecedentes Heredofamiliares, 4.- Antecedentes personales no patológicos, 5.- Antecedentes Personales Patológicos y 6.- Hábitos Higiénico Dietéticos (Origen del agua que consumen, así como alimentos, lácteos, carnes y frutos). Estas encuestas fueron aplicadas por un encuestador. Una vez llenada la encuesta, se llenó el formato de consentimiento informado explicando que no existía ningún riesgo al participar en el estudio y los beneficios de su participación. El voluntario firmó el documento de aceptación por su participación y el investigador firmó por su compromiso de entrega de resultados.

Los resultados de la encuesta fueron procesados estadísticamente para encontrar las variables

correlacionadas con los niveles de arsénico. Se empleó el programa para análisis estadístico R-2.15.3. En donde se correlacionaron de manera no paramétrica, los niveles de arsénico con las demás variables, estimando el coeficiente de la correlación de Spearman. Se consideraron como correlaciones significativas aquellas que presentaban un valor de $p < 0.05$. Las variables fueron: 1.- Sexo y edad de los participantes, 2.- Lugar de residencia y años habitando, 3.- Antecedentes Heredofamiliares, 4.- Antecedentes personales no patológicos, 5.- Antecedentes Personales Patológicos y 6.- Hábitos Higiénico Dietéticos (Origen del agua que consumen, así como alimentos, lácteos, carnes y frutos). Se hicieron 3 matrices de correlaciones. La primera incluía las variables de años habitando, antecedentes de DM2, HAS, cáncer, cirugías, días de consumo de carne, pollo, pescado, mariscos y puerco, lugar de adquisición de lácteos, fruta y carne local y la segunda sólo incluía a aquellos encuestados que sólo tomaran agua tratada o que sólo tomaran agua no tratada.

8. RESULTADOS

El total de participantes fue de 181, de los cuales el 36 % obtuvieron valores de concentración de arsénico urinario mayores al Índice Biológico de Exposición (IBE, 35 $\mu\text{g/l}$), y el 64 % por debajo de este índice. Del grupo de expuestos el 38 % presentó niveles de arsénico por arriba del IBE y el 62 % por debajo de este índice. Del grupo de no expuestos el 34 % presentó niveles de arsénico por arriba del IBE y el 66 % por debajo de este índice (Figura 13).

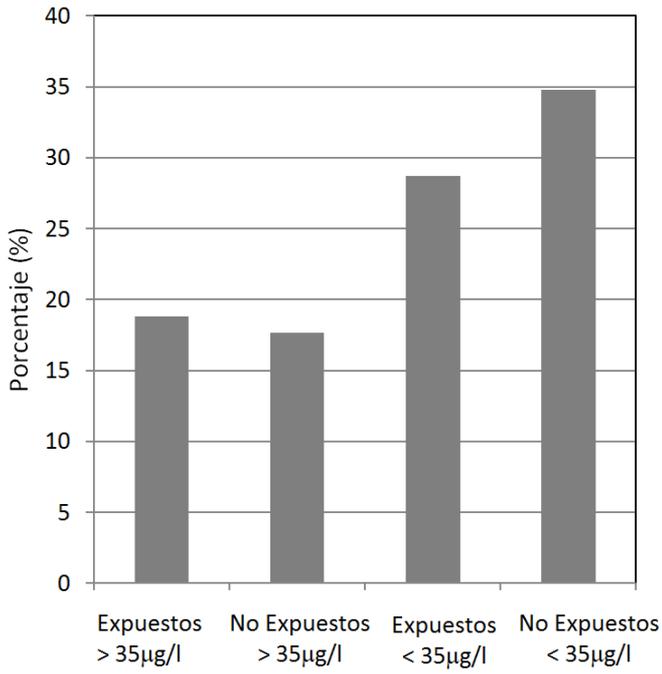
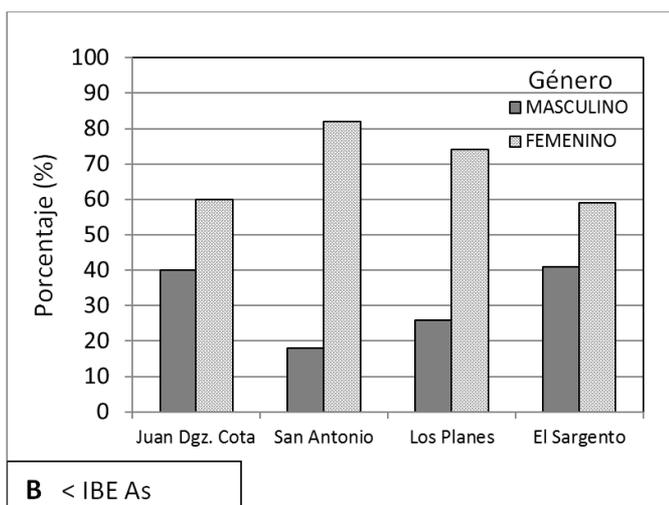
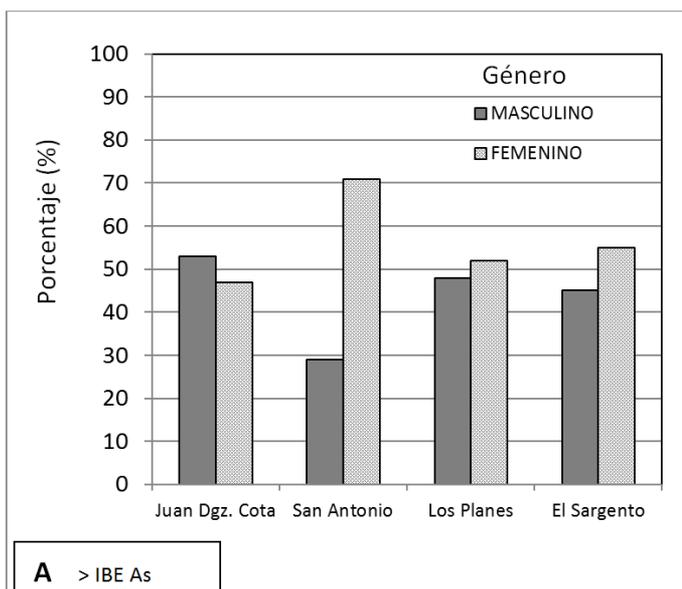


Figura 13. Porcentaje de participantes expuestos y no expuestos que presentaron valores mayores y menores al IBE de arsénico urinario (35 µg/l).



Figuras 14 A y 14 B. Porcentaje de participantes de cada poblado y por género con valores mayores (A) y menores (B) al IBE (35 µg/l) de arsénico urinario.

Del total de participantes de las poblaciones expuestas y no expuestas el 60 % son del género femenino y el 40 % del género masculino. Del número total de muestras el mayor porcentaje corresponde al género femenino (Tabla 4). Los valores mayores de IBE se encuentran en el género femenino, sin embargo esto puede estar relacionado a que se obtuvieron un mayor número de muestras en este género.

Tabla No. 4. Porcentaje de participantes de acuerdo a género en grupo de expuestos y no expuestos.

POBLADO	MASCULINO (%)	FEMENINO (%)
Juan Domínguez Cota	44	56
San Antonio	24	76
San Juan de Los Planes	37	63
El Sargento	42	58

8.1. Arsénico urinario y sus metabolitos

Concentraciones urinarias de arsénico y sus metabolitos, en los participantes del grupo de expuestos y no expuestos (Tabla 5).

Tabla 5. Concentración urinaria de arsenicales en pobladores de la CHSJLP. Valor promedio, desviación estándar, valor máximo y mínimo de arsénico inorgánico (As i), arsénico Monometilado (MM As), Dimetilado (DM As) y suma de arsenicales para cada poblado.

Localidad	As i μg/l	MMA μg/l	DMA μg/l	Suma Arsenicales μg/l
San Antonio	7.81 ± 9.98 (0.83 – 36.16)	9.08 ± 11.97 (0.68 – 44.72)	51.42 ± 66.68 (9.2 – 326.2)	68.3 ± 83.9 (12.31 – 398.71)
El Sargento	1.6 ± 1.2 (0.02 – 5.43)	2.12 ± 1.2 (0.27 – 5.31)	21.6 ± 14.8 (5.56 – 94.74)	25.39 ± 16.0 (6.06 – 99.48)
Juan Domínguez Cota	2.70 ± 2.19 (0.16 – 11.85)	3.24 ± 2.38 (0.56 – 14.90)	28.87 ± 27.33 (5.58 – 115.9)	32.8 ± 27.0 (6.32 – 130.4)
San Juan de Los Planes	6.32 ± 7.6 (0.7 – 35.93)	7.6 ± 10.05 (0.34 – 50.33)	48.78 ± 48.76 (8.31 – 215.26)	62.7 ± 67.6 (10.43 – 301.52)

8.1.1 Suma de arsenicales

De acuerdo a la suma de arsenicales los valores promedio que sobre pasaron el IBE (35 μg/l) se encontraron en los poblado de San Antonio, perteneciente al grupo de los expuestos, con un valor de 68.3 μg/l, seguido de San Juan de Los Planes, perteneciente al grupo de los no expuestos, con un valor de 62.7 μg/l. El poblado de JDC, perteneciente al grupo de Expuestos obtuvo un valor menor al IBE de 32.8 μg/l así como el poblado de El Sargento, perteneciente al grupo de los no Expuestos con un valor de 25.39 μg/l (Figura 15).

La mayor concentración de arsénico urinario se encontró en el poblado de San Antonio, el promedio de afectados fue mayor en el poblado de San Juan de Los Planes.

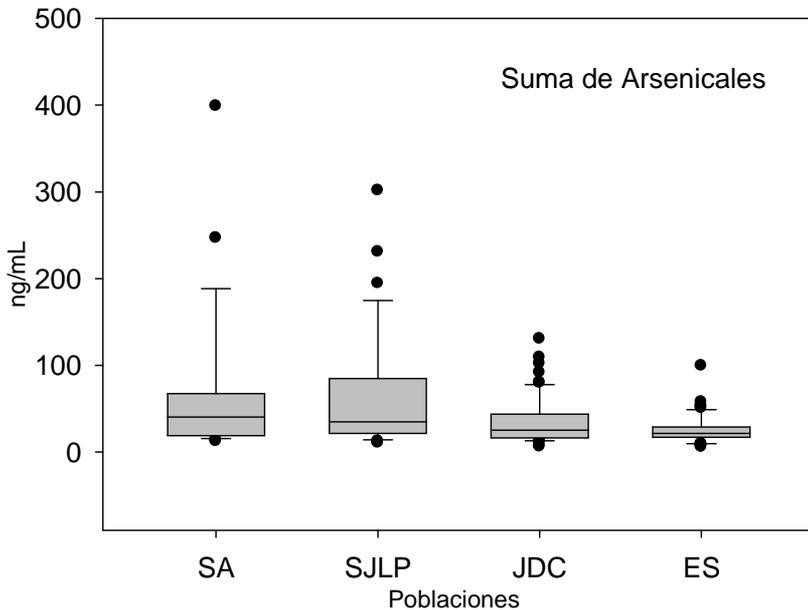


Figura 15. Concentración de la suma de arsenicales (As i, MMA, DMA). Valores mínimos, máximos y promedio de participantes expuestos y no expuestos que sobrepasaron el IBE (35 $\mu\text{g/l}$).

Como se apreció en la figura anterior los 4 poblados participantes presentaron muestras de orina con niveles de arsénico urinarios por arriba de los 35 $\mu\text{g/l}$ (IBE). Del grupo de no expuestos, El Sargento presentó 11 de 55 muestras con niveles mayores al IBE, el poblado de JDC obtuvo 19 de 61 muestras. Del grupo de expuestos, el poblado de SJLP presentó 21 de 40 muestras y San Antonio 14 de 25 muestras por arriba del IBE. Lo que significa que ambos grupos; expuestos y no expuestos se encuentran afectados (Figura 16).

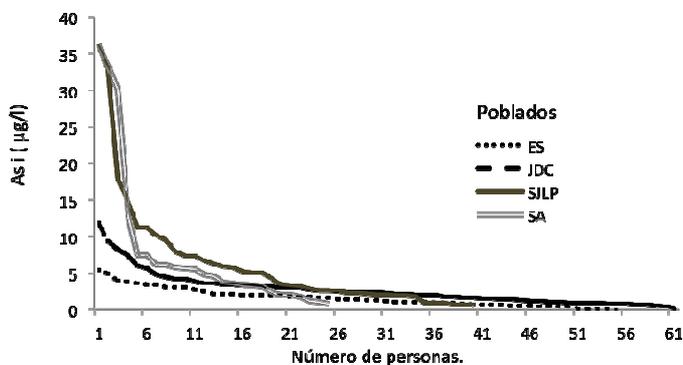


Figura 16. Concentración de la suma de arsenicales (As_i, MMA, DMA) en participantes expuestos y no expuestos que superaron el IBE (35 µg/l).

8.1.2. Arsénico Inorgánico (As_i)

El promedio de As_i fue mayor en el poblado de San Antonio con 7.81 µg/l, seguido del poblado de SJLP con 6.32 µg/l. El poblado de JDC presentó un promedio de 2.70 µg/l y en El Sargento se presentó el valor mínimo del estudio con 1.6 µg/l (Figura 17).

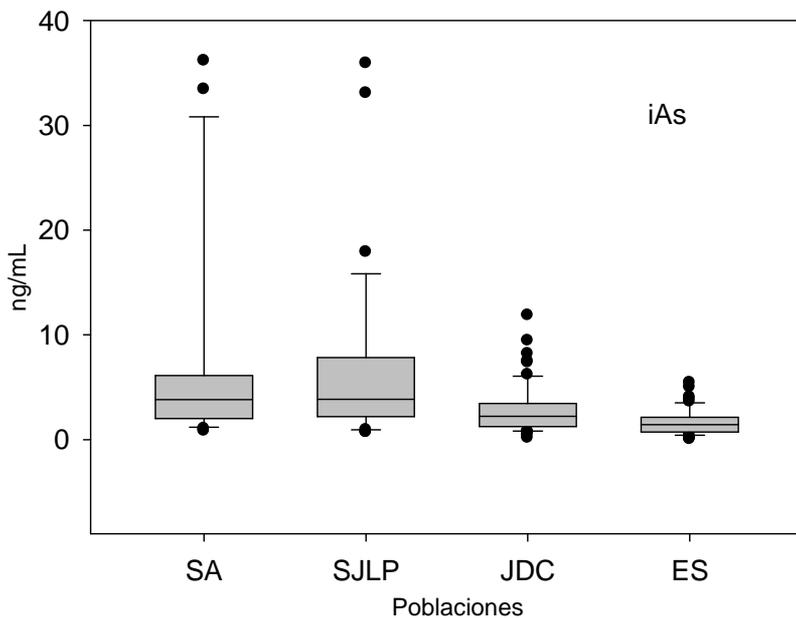


Figura 17. Concentración de arsénico inorgánico (As i). Valores mínimos, máximos y promedio de participantes expuestos y no expuestos que sobrepasaron el IBE (35 $\mu\text{g/l}$).

Los valores máximos presentaron el mismo comportamiento que el promedio de la concentración de arsénico Inorgánico. San Antonio presentó 36.16 $\mu\text{g/l}$, representando el valor más alto respecto a los demás poblados, seguido de SJLP con 35.93 $\mu\text{g/l}$, JDC con 11.85 $\mu\text{g/l}$ y en El Sargento con 4.43 $\mu\text{g/l}$ (Figura 18).

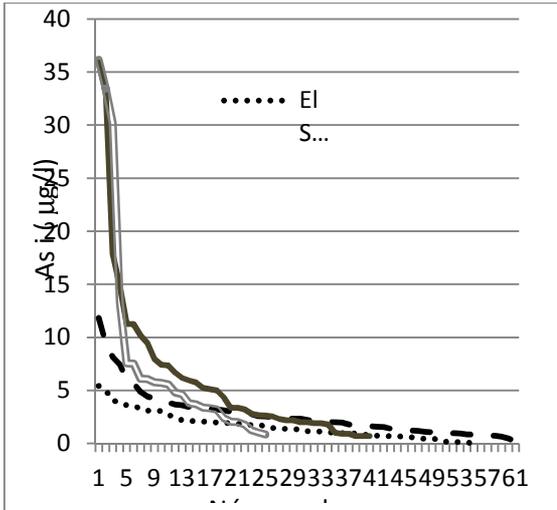


Figura 18. Concentración de arsénico inorgánico (As i) en participantes expuestos y no expuestos que superaron el IBE (35 µg/l).

8.1.3. Arsénico Monometilado (MMA)

El Promedio más alto de arsénico Monometilado se encontró el Poblado de San Antonio con un valor de 9.08 µg/l, seguido de SJLP (7.6 µg/l), JDC (3.24 µg/l) y El Sargento (2.12 µg/l). Los valores máximos se encontraron en el poblado de SJLP con valores de 50.33 µg/l, seguido de San Antonio con valores de 44.72 µg/l (Figura 19).

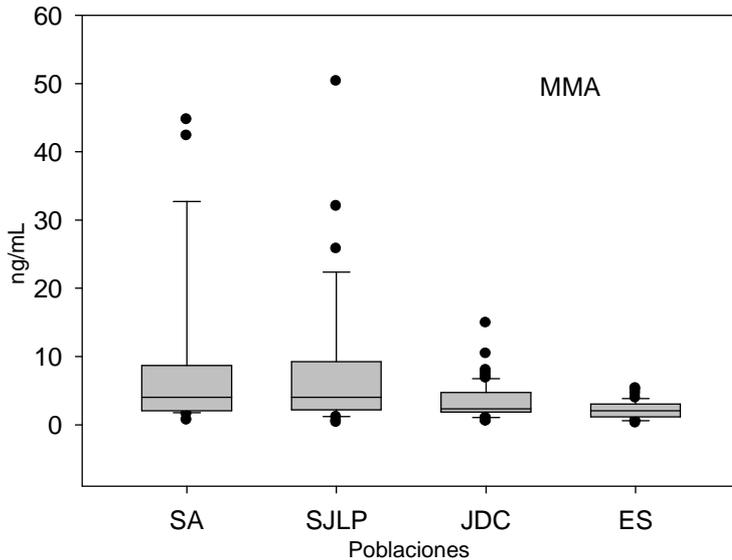


Figura 19. Concentración de arsénico Monometilado (MMA). Valores mínimos, máximos y promedio de participantes expuestos y no expuestos que sobrepasaron el IBE (35 $\mu\text{g/l}$).

8.1.4. Arsénico Dimetilado (DMA)

El promedio más alto de arsénico dimetilado se encontró en el poblado de San Antonio (51.42 $\mu\text{g/l}$), seguido de SJLP (48.78 $\mu\text{g/l}$), JDC (28.87 $\mu\text{g/l}$) y El Sargento (21.6 $\mu\text{g/l}$). Los valores máximos se encontraron en San Antonio con 326.2 $\mu\text{g/l}$, seguido de SJLP (216.26 $\mu\text{g/l}$), JDC (115.9 $\mu\text{g/l}$) y El Sargento (94.74 $\mu\text{g/l}$). En todos los participantes se apreció de manera general que este metabolito

predomina sobre el resto de las especies arsenicales (Figuras 20 A y 20 B).

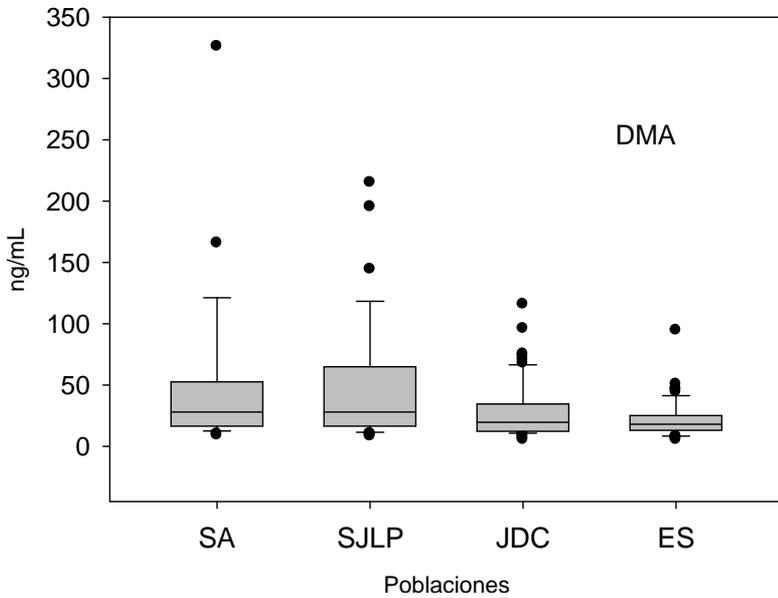


Figura 20 A. Concentración de arsénico Dimetilado (DMA). Valores mínimos, máximos y promedio de participantes expuestos y no expuestos que superaron el IBE (35 $\mu\text{g/l}$).

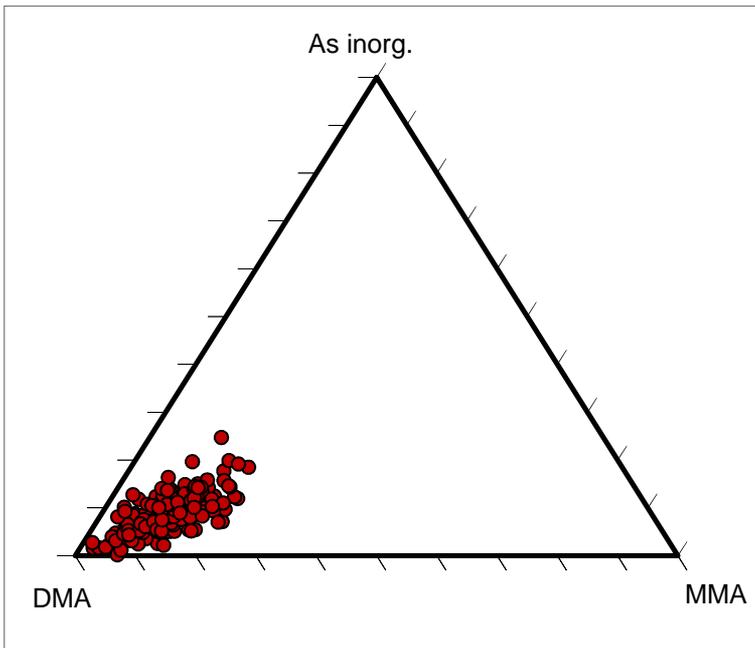


Figura 20 B. Porcentaje de Arsenicales (As i, DMA, MMA) en participantes expuestos y no expuestos.

En las figuras 21 A y 21 B se presenta un resumen de los valores mínimos y máximos de arsenicales por cada poblado.

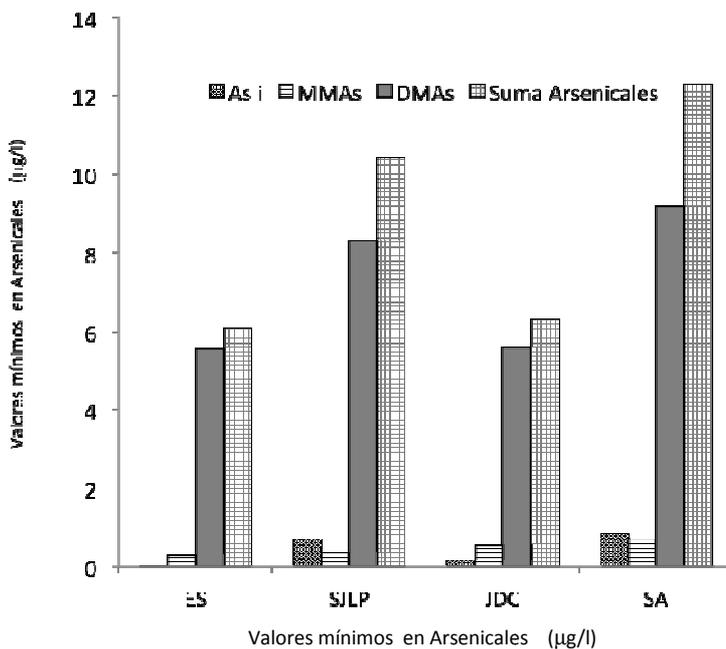


Figura 21 A. Valores mínimos de la concentración de la suma de arsenicales, As i, MMA y DMA por poblado, de los participantes expuestos y no expuestos.

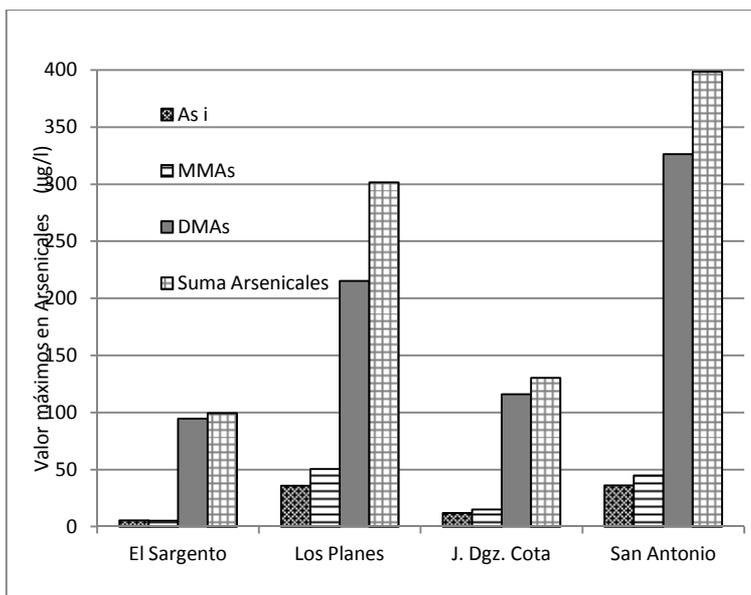


Figura 21 B. Valores mínimos de la concentración de la suma de arsenicales, As i, MMA y DMA por poblado, de los participantes expuestos y no expuestos.

8.2. Resultados de la Encuesta

8.2.1. Edad

La edad promedio de participantes osciló entre los 40 años y 53 años. El Sargento presentó una edad promedio de 43 años, JDC 40 años, SJLP 53 años y San Antonio 42 años. La edad mínima fue de 18 años, en las 4 poblaciones y la edad máxima de 84 años en los poblados de JDC y El Sargento, seguido de SJLP con 76 años y San Antonio con 72 años.

8.2.2. Género

El género predominante en las 4 poblaciones fue el femenino. En el Poblado de El Sargento 58 % fueron del

género femenino y 42 % del género masculino. En JDC el 54 % femenino y 46 % masculino. En San Antonio 76 % femenino y 24 % masculino, siendo este poblado el de menor participación del género masculino. SJLP con 63 % de participantes del género femenino y 37 % género masculino.

8.2.3 Años Habitando

El promedio de años habitando en el poblado de San Antonio es de 28 años (mínimo 2, máximo 54), en SJLP 32 años (mínimo 2, máximo 65), en JDC 27 años (mínimo 1, máximo 84) y en El Sargento 33 años (mínimo 3, máximo 84). Considerando a los habitantes que presentaron concentraciones urinarias por arriba del IBE se elaboró una diagrama de dispersión con las concentraciones de la suma de arsenicales contra los años habitando en el lugar (Figura 22).

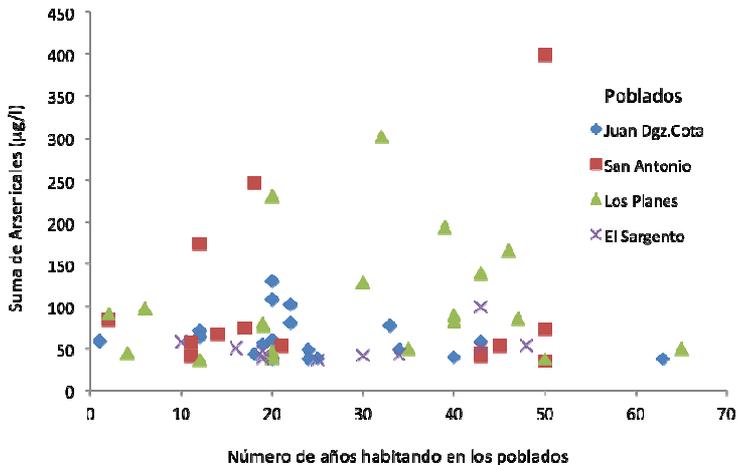


Figura No. 22. Diagrama de dispersión de la concentración de la suma de arsenicales y años habitando en los

poblado de los participantes que presentaron concentraciones urinarias de arsénico por arriba del IBE.

8.2.4. Ocupación

La ocupación predominante de los participantes que presentaron valores mayores del IBE, en el poblado de El Sargento es el 36 % amas de casa, 27 % oficios varios (Mecánico, Palapero, Chofer, albañil, trabajador social, Carpintero, Intendencia, músico). En el poblado de San Juan de Los Planes, ama de casa con un 59 %, agricultor 18 % y 13 % empleado (no especificado). En el poblado de JDC, 42 % amas de casa, 31 % agricultor y 21 % empleado. En el poblado de San Antonio, el 53 % amas de casa, 15 % agricultores y empleados (Figura 23 A). La información de la ocupación y la concentración de la suma de arsenicales se incluyó en un diagrama de dispersión (Figura 23 B), el cual muestra agrupamientos en ama de casa, agricultor y empleado, mismos que se vieron reflejados en los porcentajes mencionados anteriormente.

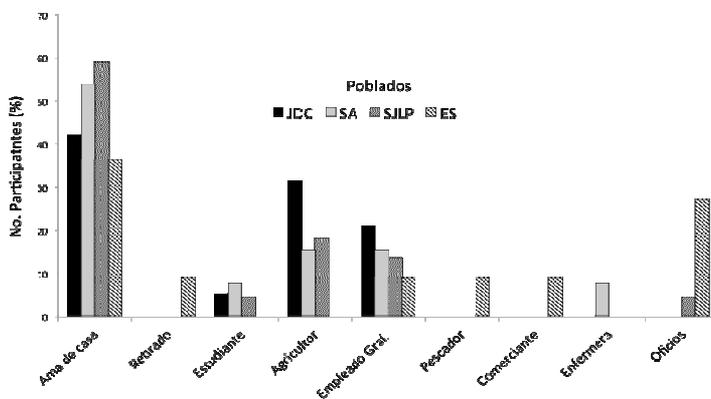


Figura No. 23 A. Ocupación de los participantes por poblado que presentaron valores por arriba del IBE.

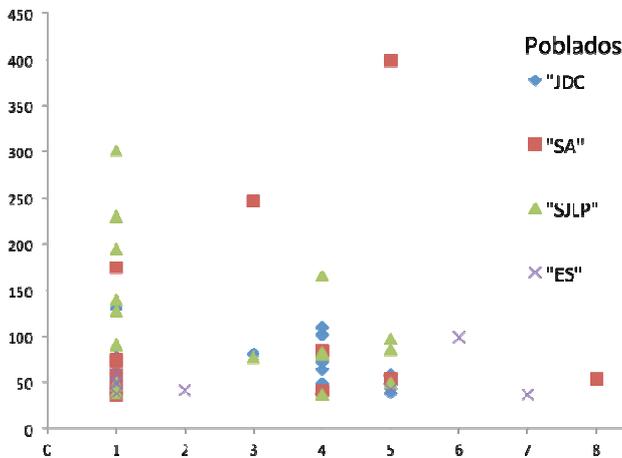


Figura No.23 B. Diagrama de dispersión de la concentración de la suma de arsenicales y la ocupación de los participantes que presentaron valores mayores al IBE. 1= Ama de Casa, 2= Retirado, 3= Estudiante, 4= Agricultor, 5= Empleado, 6= Pescador, 7= Comerciante, 8= Enfermera y 9= Músico.

8.2.5. Antecedentes de Enfermedades Crónico Degenerativas

8.2.5.1. Diabetes Mellitus 2 (DM2)

Se consideró como antecedentes positivo únicamente en familiares de primera línea ya diagnosticados previamente por un médico y en tratamiento. El poblado que presentó el mayor porcentaje de casos de DM2 fue el poblado de El Sargento con un 76 %, seguido de San Antonio con un 52 %, SJLP 51 % y JDC 40 % (Figura 24).

8.2.5.2. Hipertensión Arterial Sistémica (HAS)

El poblado que presentó mayor porcentaje de antecedente de HAS fue El Sargento con 78 %, seguido por San Antonio con 60 %, SJLP 51 % y JDC 46 % (Figura 24).

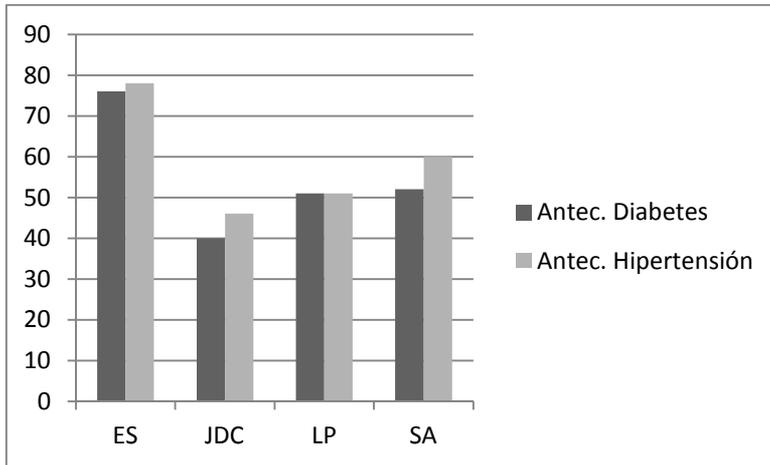


Figura No. 24. Antecedentes de DM2 e HAS en familiares de primera línea, porcentaje por poblado.

8.2.6. Antecedentes Familiares de Cáncer

EL poblado que presentó el mayor porcentaje de cáncer en un familiar de primera línea fue El Sargento y SJLP con un 54 %, seguido de San Antonio con un 52 % y JDC con un 37 %. El órgano afectado con cáncer que predominó fue el estómago en dos poblados. San Antonio presentó un 20 % de antecedentes de cáncer de estómago, SJLP 11 % de estómago, El Sargento de cáncer de Pulmón con un 11 % y JDC cáncer de mama con un 9 % (Figura 25).

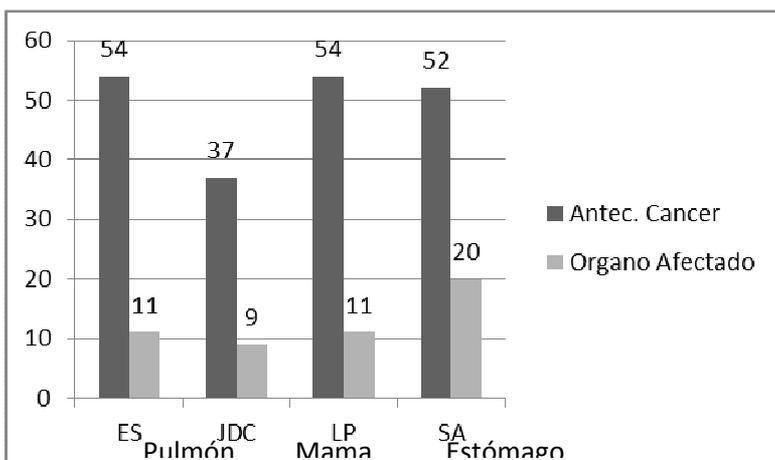


Figura 25. Porcentaje de antecedentes de cáncer en familiares de primera línea de los participantes, por poblado y principal órgano afectado.

8.2.7. Consumo de Agua

De acuerdo al agua de consumo por localidad, se muestra que el mayor número de participantes consumen agua purificada seguido de agua purificada y sus mezclas, pozo y de la llave, pozo y sus mezclas, garrafón y desaladora (Figura 26).

En el poblado de JDC el consumo de agua es principalmente de purificadora con un 68.85 %, purificadora y sus mezclas 11.47 %, agua de pozo y la llave 8.20 %, pozo y sus mezclas 0 %, garrafón 6.5 % y desaladora 4.9 %. En San Antonio el consumo de agua es principalmente de purificadora con un 60 %, purificadora y sus mezclas 28 %, agua de pozo y de la llave 4 %, pozo y sus mezclas 0 %, garrafón 8 % y desaladora 0 %. En el poblado de SJLP el consumo de agua es principalmente de purificadora con un 42.5 %, purificadora y sus mezclas 15 %, agua de pozo y la llave 27.5 %, pozo y sus mezclas

5 %, garrafón 10 % y desaladora 0 %. En El Sargento el consumo de agua es principalmente de purificadora con un 74.5 %, purificadora y sus mezclas 20 %, agua de pozo y la llave 0 %, pozo y sus mezclas 0 %, garrafón 1.8 % y desaladora 3.6 %. (Figura 26).

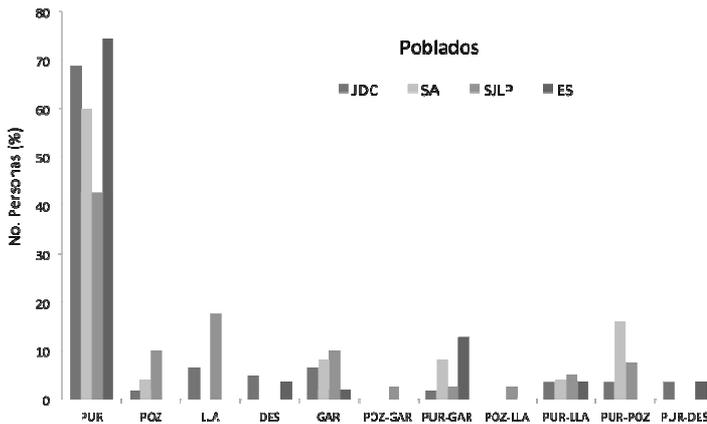


Figura 26. Porcentaje de participantes No Expuestos y Expuestos que consumen diferentes tipo de agua (PUR=purificadora, POZ=Pozo, LLA=Llave, GAR=Garrafón, DES=Desaladora).

Los participantes expuestos y no expuestos que presentaron concentraciones urinarias de arsénico menores al IBE (35 µg/l), consumen principalmente agua de la purificadora con 72.17 %, de purificadora y sus mezclas 14.78 %, pozo 0.87 %, pozo y sus mezclas 0.87 % (sin considerar la mezcla con agua purificada), garrafón 6.09 %, desaladora 3.48 % y de la llavee 1.54 %. El consumo de agua no tratada (Pozo y Llave) en combinación con agua tratada (purificada y garrafón) fue del 5.52 %.

Los participantes expuestos y no expuestos que presentaron concentraciones urinarias de arsénico mayores al IBE (35 µg/l), consumen principalmente agua de la purificadora con 48.48 %, purificadora y sus mezclas 21.21 %, pozo 7.58 %, pozo y sus mezclas sin considerar la mezcla con agua purificada 1.52 %, garrafón 6.06 %, desaladora 1.52 % y de la llavee 13.64 %. (Figura27). Considerando el número total de participantes (181), 66 de ellos (36 %) obtuvieron concentraciones urinarias mayores al IBE, de los cuales el 69.7 % consume agua tratada (purificadora, garrafón, embotellada y desaladora) y el 30.3 % consume agua no tratada (pozo y llave).

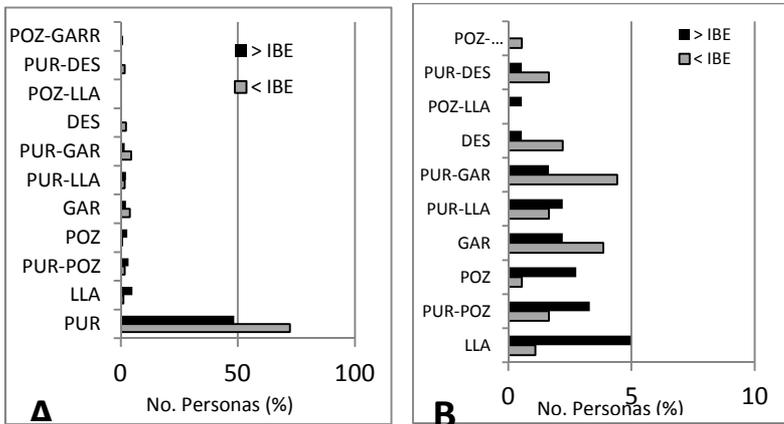


Figura 27 A. Porcentaje de participantes No Expuestos y Expuestos que consumen diferentes tipo de agua (PUR=purificadora, POZ=Pozo, LLA=Llave, GAR=Garrafón, DES=Desaladora), con valores mayores y menores de IBE (35 µg/l). Figura 27 B. Detalle de Figura 27 A, sin incluir el porcentaje de agua purificada.

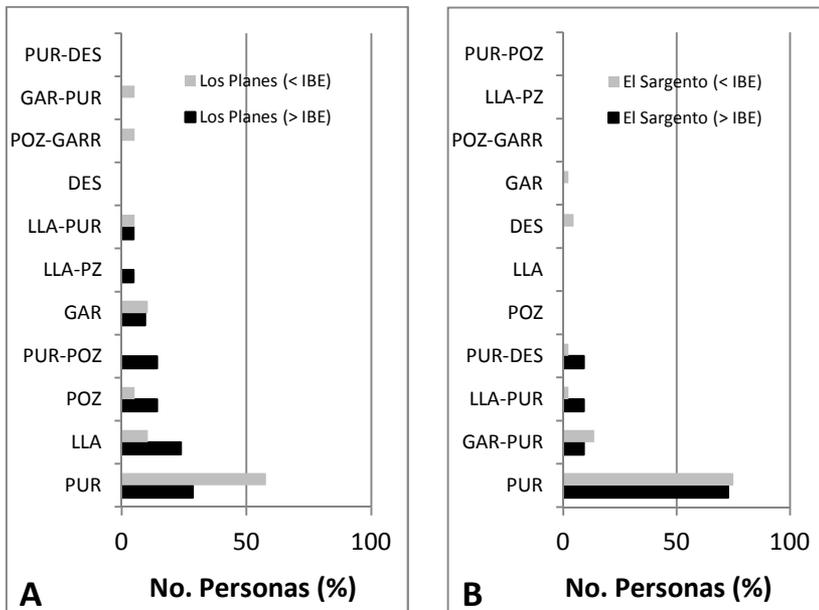
8.2.7.1. Consumo de Agua en San Juan de Los Planes

En el poblado de San Juan de Los Planes los participantes con concentraciones urinarias de arsénico por arriba del

IBE consumen principalmente agua purificada con el 28 %, seguido de agua de llave con 23 %, agua de pozo 14 %, una combinación de agua de pozo-purificadora con un 14 %, agua de garrafón con 9 %m seguido de otras combinaciones ver Figura 28 A.

8.2.7.2. Consumo de Agua en El Sargento

En El Sargento el agua que consumen los participantes, con concentraciones urinarias de arsénico sobre el IBE, es principalmente agua purificada con un 72 %, seguido de una combinación de garrafón-purificadora, llave-purificadora y purificadora-desaladora, todas con aproximadamente 9 % (Figura 28 B).



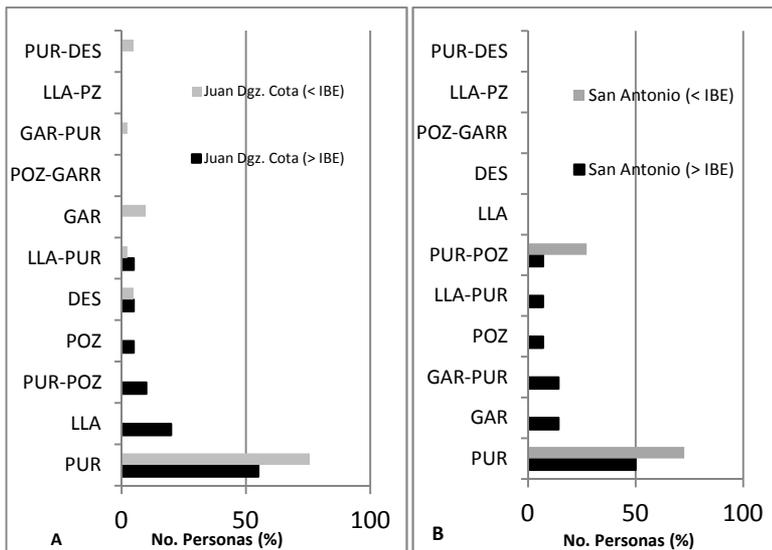
Figuras 28 A y 28 B. Porcentaje de participantes No Expuestos que consumen diferentes tipo de agua (PUR=purificadora, POZ=Pozo, LLA=Llave, GAR=Garrafón, DES=Desaladora), con valores mayores y menores de IBE (35 µg/l).

8.2.7.3. Consumo de Agua en Juan Domínguez Cota

En el poblado de Juan Domínguez Cota el agua que consumen los participantes, con concentraciones urinarias de arsénico sobre el IBE son principalmente agua purificada con el 55 %, agua de la llave con 20 %, una combinación de agua de pozo-purificadora con un 10 % , seguido de otras combinaciones ver Figura 29 A.

8.2.7.4. Consumo de Agua en San Antonio

En San Antonio el agua que consumen los participantes, con concentraciones urinarias de arsénico sobre el IBE, es principalmente agua purificada con un 50 %, seguido de garrafón y una combinación de garrafón-purificadora, ambas con 14 %. El consumo de agua de pozo se apreció con un 7 %, seguido de otras combinaciones ver Figura 29 B.



Figuras No. 29 A y 29 B. Porcentaje de participantes Expuestos que consumen diferentes tipo de agua (PUR=purificadora, POZ=Pozo, LLA=Llave, GAR=Garrafón, DES=Desaladora), con valores mayores y menores de IBE (35 µg/l).

8.2.8. Alimentación

8.2.8.1. Frecuencia de consumo de Carne de Res y lugar de adquisición

En el poblado de El Sargento el 81 % de los participantes consume carne de Res de 1 a 3 días de la semana, el 5.4 % consume de 4 a 7 días de la semana y el 12 % no la consume. En el poblado de SJLP 72 % consume de 1 a 3 de la semana, el 17 % de 4 a 7 días de la semana y el 10 % no la consume. En el poblado de JDC el 93 % consume de 1 a 3 días de la semana, el 4.9 % de 4 a 7 días de la semana y el 1.64 % no la consume. En el poblado de San Antonio el 80 % consume de 1 a 3 días de la semana, 12 % de 4 a 7 días de la semana y el 8 % no la consume (Figura 30).

Considerando a Los participantes que presentaron concentraciones urinarias de arsénico por arriba del Índice Biológico de Exposición (IBE 35 µg/l) el consumo de carne de res es el siguiente: en el poblado de El Sargento el 90 % consumen carne de 1 a 3 días de la semana, 9 % de 4 a 7 días de la semana. En el poblado de SJLP el 90 % consume de 1 a 3 días de la semana y el 9.5 % de 4 a 7 días de la semana. En el poblado de JDC el 84 % consume de 1 a 3 días de la semana, el 10 % de 4 a 7 días de la semana y el 5.6 % no la consumen. En el Poblado de San Antonio el 92 % consumen de 1 a 3 días

de la semana y el 7 % de 4 a 7 días de la semana (Figura 30).

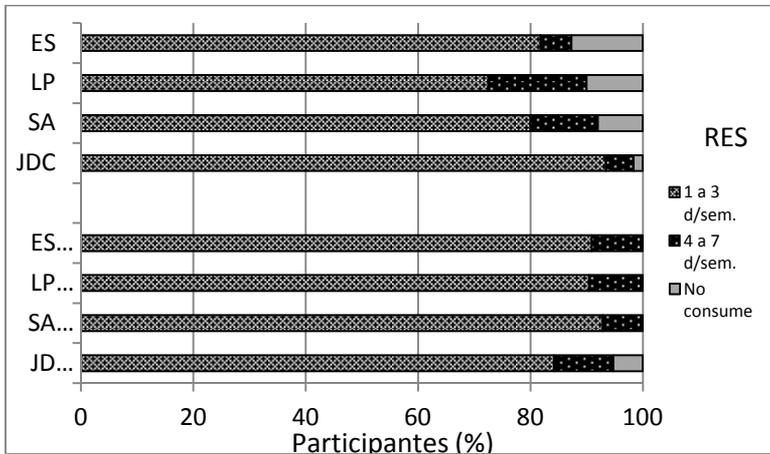


Figura 30. Porcentaje de participantes que consumen carne de Res del grupo de expuestos y no expuestos y de participantes que presentaron concentraciones urinarias de arsénico por arriba del IBE (35 µg/l).

Los participantes adquieren la carne de Res principalmente en Supermercados de la ciudad de La Paz, tiendas locales, Granjas y una combinación de estas. En El Sargento principalmente la adquieren de supermercado 40 % y tiendas locales 43 %. En SJLP principalmente de tiendas locales 57 %, seguido de supermercado 27%. En JDC, el 62 % principalmente de tiendas locales, seguido de supermercado con 27% y en el poblado de San Antonio, el 52 % principalmente de tiendas locales, seguido de granja con un 24 % (Figura 31).

Considerando solo a los participantes que presentaron concentraciones urinarias de arsénico por arriba del Índice Biológico de Exposición (IBE 35 µg/l) adquieren la carne principalmente de la forma siguiente: En El Sargento la

adquiere tanto de Supermercado 45 % como local 27, seguido de la combinación, granja y supermercado en un 18 %. En SJLP de tienda local en un 57 %, seguido de supermercado con 23 %. En JDC un 68 % consume de tiendas locales, seguido de supermercado y granja, ambos con un 15 % y en el poblado de San Antonio un 50 % de tiendas locales, seguido de granja con un 28 % (Figura 31).

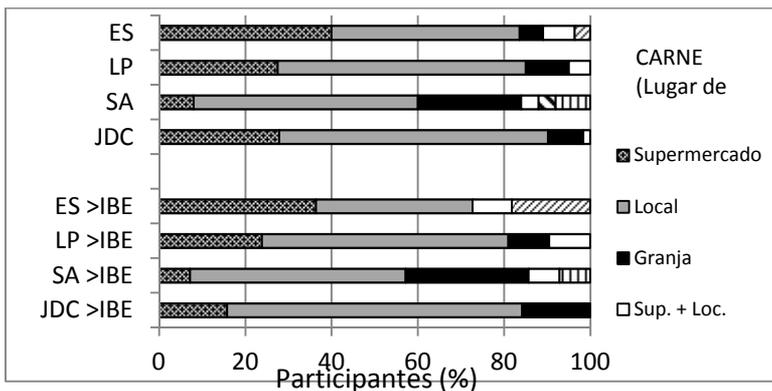


Figura 31. Lugar de adquisición de Carne de los participantes por poblados y de los participantes que obtuvieron valores por arriba del Índice Biológico de Exposición (IBE). Sup= Supermercado, Loc.=Local, Gra.= Granja.

8.2.8.2. Frecuencia de consumo de Carne de Pollo

En El Sargento el 90 % de los participantes consume carne de Pollo de 1 a 3 días de la semana, el 5.4 % de 4 a 7 días de la semana y el 3.6 % no lo consume. En el poblado de SJLP el 77 % de 1 a 3 días de la semana, el 15 % de 4 a 7 días de la semana y el 7.5 % no lo consumen. En el poblado de JDC el 98 % consume de 1 a 3 días de la semana y el 1.6 % de 4 a 7 días de la

semana. En el poblado de San Antonio el 76 % consume de 1 a 3 días de la semana y el 24 % no lo consumen.

Los participantes que presentaron concentraciones urinarias de arsénico por arriba del Índice Biológico de Exposición (IBE 35 µg/l) consumen pollo porcentualmente de la forma siguiente. En el poblado de El Sargento el 90 % consume carne de 1 a 3 días de la semana, el 9 % de 4 a 7 días de la semana. En el poblado de SJLP el 76 % consume de 1 a 3 días de la semana, el 9.5 % de 4 a 7 días de la semana y el 14 % no lo consumen. En El poblado de JDC el 94 % consume de 1 a 3 días de la semana y el 5.2 % de 4 a 7 días de la semana. En el poblado de San Antonio el 71 % consume de 1 a 3 días de la semana y el 28 % no lo consume (Figura 32).

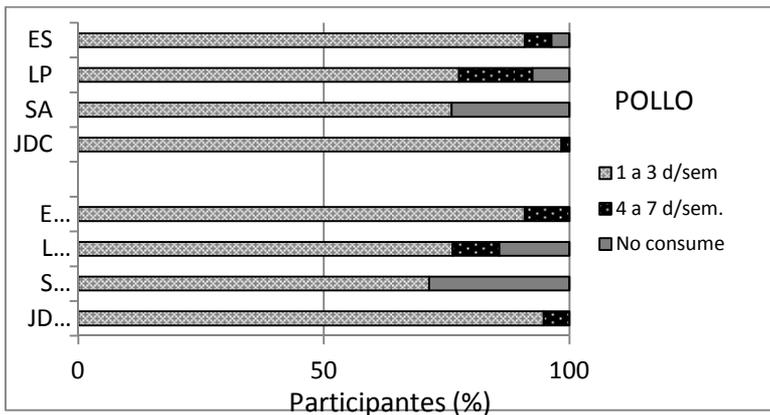


Figura 32. Porcentaje de participantes que consumen carne de Pollo del grupo de expuestos y no expuestos y de participantes que presentaron concentraciones urinarias de arsénico por arriba del IBE (35 µg/l).

8.2.8.3. Frecuencia de consumo de Carne de Puerco

En El Sargento el 29 % de los participantes consume carne de 1 a 3 días de la semana, el 3.6 % de 4 a 7 días de la semana y el 67 % no lo consume. En el poblado de SJLP el 12.5 % de 1 a 3 días de la semana, el 10 % de 4 a 7 días de la semana y el 77 % no lo consumen. En el poblado de JDC el 26 % consume de 1 a 3 días de la semana, el 3.2 % de 4 a 7 días de la semana y el 70 % no la consume. En el poblado de San Antonio el 24 % consume de 1 a 3 días de la semana y el 76 % no lo consume (Figura 33).

Considerando a los participantes que presentaron concentraciones urinarias de arsénico por arriba del Índice Biológico de Exposición (IBE 35 µg/l) consumen carne de puerco porcentualmente de la forma siguiente. El Sargento 27 % consume carne de 1 a 3 días de la semana, el 9 % de 4 a 7 días de la semana y el 63 % no la consumen. En el poblado de SJLP el 14 % consume de 1 a 3 días de la semana, el 14 % de 4 a 7 días de la semana y el 71 % no la consumen. En el poblado de JDC el 26 % consume de 1 a 3 días de la semana, el 5 % de 4 a 7 días de la semana y el 68 % no la consume. En el poblado de San Antonio el 21 % consume de 1 a 3 días de la semana y el 78 % no la consumen (Figura 33).

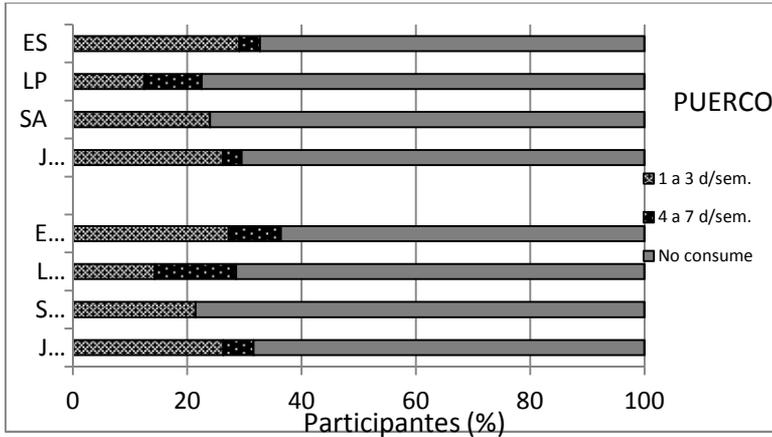


Figura 33. Porcentaje de participantes que consumen carne de Puerco del grupo de expuestos y no expuestos y de participantes que presentaron concentraciones urinarias de arsénico por arriba del IBE (35 µg/l).

8.2.8.4. Frecuencia de consumo de Pescado

En el poblado de El Sargento el 49 % los participantes consume pescado de 1 a 3 días de la semana, el 47 % de 4 a 7 días de la semana y el 3.6 % no lo consume. En el poblado de SJLP el 60 % consumen de 1 a 3 de de la semana, el 17.5 % 4 a 7 días de la semana y 22.5 % no lo consumen. En el poblado de JDC el 65.5 % consume de 1 a 3 días de la semana, el 16 % de 4 a 7 días de la semana y el 18 % no lo consume. En el poblado de San Antonio el 60 % consume de 1 a 3 días de la semana, el 16 % de 4 a 7 días de la semana y el 24 % no lo consume (Figura 34).

Considerando a los participantes que presentaron concentraciones urinarias de arsénico por arriba del Índice Biológico de Exposición (IBE 35 µg/l) el consumo de pescado porcentualmente es de la forma siguiente. En el

poblado de El Sargento el 45 % consume carne de 1 a 3 días de la semana, el 36 % de 4 a 7 días de la semana y el 18 % no lo consume. En el poblado de SJLP 47 % consume de 1 a 3 días de la semana, 23 % de 4 a 7 días de la semana y el 28 % no lo consume. En el poblado de JDC consume en un 63 % de 1 a 3 días de la semana, el 21 % de 4 a 7 días de la semana y el 15 % no lo consume. En el poblado de San Antonio el 57 % lo consume de 1 a 3 días, el 28 % de 4 a 7 días y el 14 % no lo consume (Figura 34).

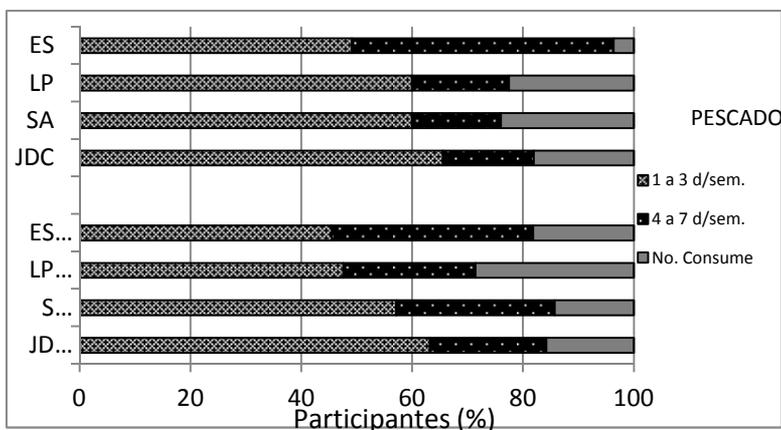


Figura 34. Porcentaje de participantes que consumen pescado del grupo de expuestos y no expuestos y de participantes que presentaron concentraciones urinarias de arsénico por arriba del IBE (35 µg/l).

8.2.8.5. Frecuencia de consumo de Mariscos

En el poblado de El Sargento el 45 % de los participantes consumen mariscos de 1 a 3 días de la semana, el 3.6 % de 4 a 7 días de la semana y el 50 % no los consumen. En el poblado de SJLP el 17.5 % consumen de 1 a 3 días de la semana, el 7.5 % de 4 a 7 días de la semana y el 75 % no los consumen. En el poblado de JDC el 29 %

consumen de 1 a 3 días de la semana, 1.6 % de 4 a 7 días de la semana y el 68 % no los consumen. En el poblado de San Antonio el 24 % consumen de 1 a 3 días de la semana y el 76 % no los consumen (Figura 35).

Considerando a los participantes que presentaron concentraciones urinarias de arsénico por arriba del Índice Biológico de Exposición (IBE 35 µg/l) el consumo de mariscos porcentualmente es de la forma siguiente. En el poblado de El Sargento el 54 % los consumen de 1 a 3 días de la semana, el 9 % de 4 a 7 días de la semana y el 36 % no los consumen. En el poblado de SJLP el 19 % los consumen de 1 a 3 días de la semana, el 14 % de 4 a 7 días de la semana y el 66 % no los consumen. En el poblado de JDC el 15 % los consumen de 1 a 3 días de la semana, el 5.2 % de 4 a 7 días de la semana y el 78 % no los consumen. En el poblado de San Antonio el 21 % los consumen de 1 a 3 días y el 78 % no los consumen (Figura 35).

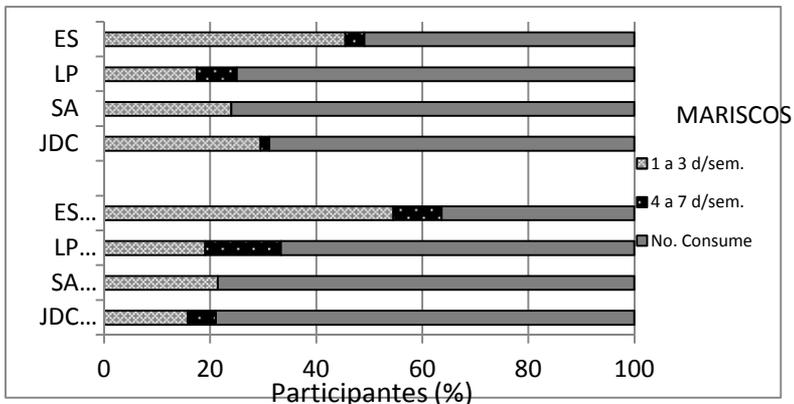


Figura 35. Porcentaje de participantes que consumen mariscos del grupo de expuestos y no expuestos y de participantes que presentaron concentraciones urinarias de arsénico por arriba del IBE (35 µg/l).

8.2.8.6. Lugar de adquisición de lácteos

El lugar en donde adquieren los lácteos los participantes es principalmente del Supermercado de la ciudad de La Paz, tiendas locales, elaborados en casa y una combinación de estos. En El Sargento principalmente adquieren los lácteos de tiendas locales con un 62 %, seguido de supermercados en un 16 % y elaborados en casa con un 12 %. En el poblado de SJLP principalmente consumen de tiendas locales 52 %, seguido de supermercado 25% y elaborados en casa con un 12 %. En el poblado de JDC, el 75 % consume de tiendas locales, seguido de supermercado con 16 %. En el poblado de San Antonio, el 52 % consume de tiendas locales, seguido de 20 % de supermercado y con un 12 % elaborados en casa (Figura 36).

Considerando a los participantes que presentaron concentraciones urinarias de arsénico por arriba del Índice Biológico de Exposición (IBE 35 µg/l) el lugar en donde adquieren los productos lácteos porcentualmente es de la forma siguiente. En El Sargento el 54 % es de tiendas locales, seguido de Supermercado con 27 % y elaborado en casa con el 18 %. En el poblado de SJLP principalmente los adquieren en tiendas locales con un 61 %, seguido de supermercado con 28 %. En el poblado de JDC el 68 % de tiendas locales, el 15 % elaborado en casa y el 10 % en supermercado. En el poblado de San Antonio el 57 % de tiendas locales, seguido de supermercado con un 21 % (Figura 36).

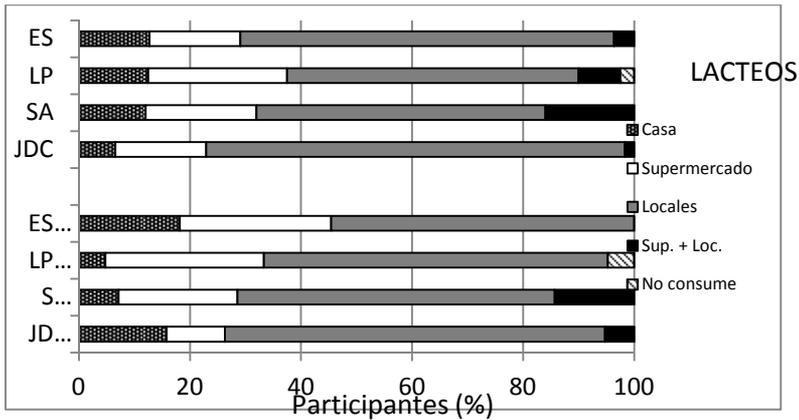


Figura 36. Lugar de adquisición de productos lácteos de participantes de los diferentes poblados y de participantes que obtuvieron valores por arriba del Índice Biológico de Exposición (IBE). Sup= Supermercado, Loc.=Local.

8.2.8.7. Lugar de adquisición de frutas y verduras un solo lugar

El lugar en donde adquieren los frutos y verduras los participantes es de Supermercado de la ciudad de La Paz, cultivos regionales, cultivos en casa y cultivos locales (Figura 20) y una combinación de estos (Figura 21). En El Sargento principalmente adquieren la fruta y las verduras del supermercado con el 50 % y cultivos locales en un 30%. En el poblado de SJLP principalmente los adquieren de tiendas locales con un 32 %, seguido de supermercado 22 %. En el poblado de JDC, el 44 % consume de supermercado seguido de cultivos locales con el 34 %. En el poblado de San Antonio el 44 % consume de tiendas locales, seguido de supermercados con un 40 % (Figura 37).

Considerando a los participantes que presentaron concentraciones urinarias de arsénico por arriba del Índice

Biológico de Exposición (IBE 35 µg/l), estos adquieren las frutas y verduras porcentualmente de la forma siguiente. En el poblado del Sargento la adquiere de Supermercado con el 45 %, seguido de tiendas locales con el 27 %. En el poblado de SJLP principalmente de tiendas locales en un 33 %, seguido de supermercado con 28 %. En el poblado de JDC el 36 % de tiendas locales, seguido de cultivos regionales y supermercados, ambos con el 21 % y en el poblado de San Antonio el 50 % en supermercados, seguido de tiendas locales con un 35 % (Figura 37).

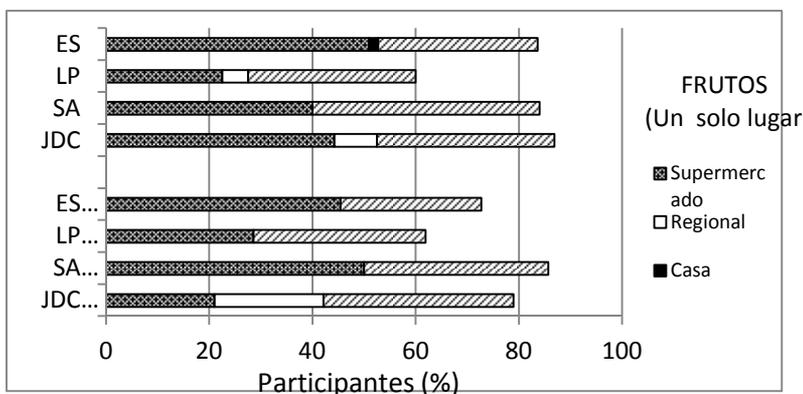


Figura 37. Lugar de adquisición de frutas y verduras de un solo lugar como supermercado, cultivo regional, cultivo en casa y tienda local, de todos participantes de los diferentes poblados y de los participantes que obtuvieron valores por arriba del Índice Biológico de Exposición (IBE).

8.2.8.7.1 Lugar de adquisición de frutas y verduras un varios lugares

El lugar en donde adquieren los frutos y verduras los participantes es principalmente de Supermercados de la Cd. de La Paz, cultivos regionales, cultivos en casa y cultivos locales. A continuación se presenta el porcentaje de participantes que adquieren sus frutas y verduras en

más una fuente, las cuales ya se mencionaron anteriormente. En El Sargento la combinación principal en donde adquieren las frutas y verduras es de supermercado y cultivos locales con un 10 %. En el poblado de SJLP las combinaciones principales son de supermercado y cultivos locales y de supermercado y regionales, ambos con un 15 %. En el poblado de JDC, las combinaciones principales son de supermercado y cultivos locales y de cultivos regionales y locales, ambos con 4.9 %. En San Antonio, las combinaciones principales son supermercado y cultivos locales con el 12 % (Figura 38).

Considerando a los participantes que presentaron concentraciones urinarias de arsénico por arriba del Índice Biológico de Exposición (IBE 35 µg/l), estos adquieren las frutas y verduras porcentualmente de la forma siguiente. En El Sargento la combinación principal en donde adquieren las frutas y verduras es de supermercado y cultivos locales con un 27 %. En el poblado de SJLP las combinaciones principales son de cultivos regionales y cultivos locales con el 19 % y de supermercado y cultivos locales con un 14 %. En JDC, las combinaciones principales son de supermercado y cultivos locales y de cultivos regionales y locales, ambos con 10 %. En San Antonio, las combinaciones principales son supermercado y cultivos locales, y supermercados y cultivos de casa, ambos con el 7 % (Figura 38).

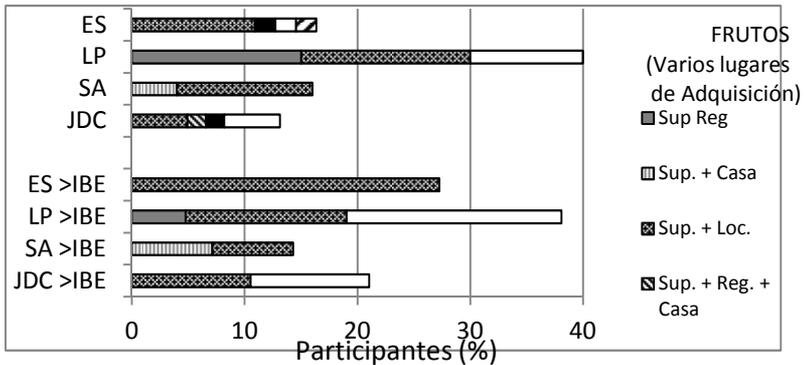


Figura 38. Combinaciones de lugares de adquisición de frutas y verduras en todos los participantes, en porcentaje, de los diferentes poblados y de participantes que obtuvieron valores por arriba del Índice Biológico de Exposición (IBE). Sup.= Supermercado, Reg.= cultivos regionales, Cas.= cultivos caseros, Loc.= cultivos locales.

8.3. Análisis Estadístico de la Encuesta

Los datos de la encuesta fueron analizados con el Software libre para el análisis estadístico R y se empleó la correlación rho de Spearman para identificar la asociación de las variables de los arsenicales con los resultados de la encuesta, aceptándose un valor de $p < 0.05$ como significativo (R Development Core Team, 2011).

Tomando en cuenta a todos los participantes (N=181), las variables que obtuvieron los valores mayores de correlación (R) son: el consumo de agua no tratada, lugar de adquisición de carne, lugar de adquisición de fruta y ocupación en la agricultura (Figuras 39, 40 A y 40 B).

De acuerdo al consumo de agua y su relación con arsénico inorgánico presentó una R de 0.33 y una P de 0.00003, con respecto al MMA una R de 0.34 y una P de 0.00002, con respecto al DMA una R de 0.37 y una P de 0.00004 y con la suma de arsenicales una R de 0.37 y una P de 0.000004.

De acuerdo a la ocupación, los participantes que se dedican a la agricultura presentan una relación con arsénico inorgánico con una R de 0.21 y una P de 0.004, con respecto al MMA una R de 0.21 y una P de 0.003, con respecto al DMA con una R de 0.21 y una P de 0.003 y con la suma de arsenicales una R de 0.21 y una P de 0.003.

De acuerdo al lugar de adquisición de la carne de Res se presenta una relación con arsénico inorgánico con una R de 0.14 y una P de 0.04, con respecto al MMA con una R de 0.16 y una P de 0.02, con respecto al DMA con una R de 0.11 y una P de 0.13 y con la suma de arsenicales con una R de 0.11 y una P de 0.11.

De acuerdo al lugar de adquisición de frutas y verduras, se presenta una relación con arsénico inorgánico con una R de 0.09 y una P de 0.22, con respecto al MMA con una R de 0.09 y una P de 0.18, con respecto al DMA con una R de 0.13 y una P de 0.06 y con la suma de arsenicales con una R de 0.13 y una P de 0.06.

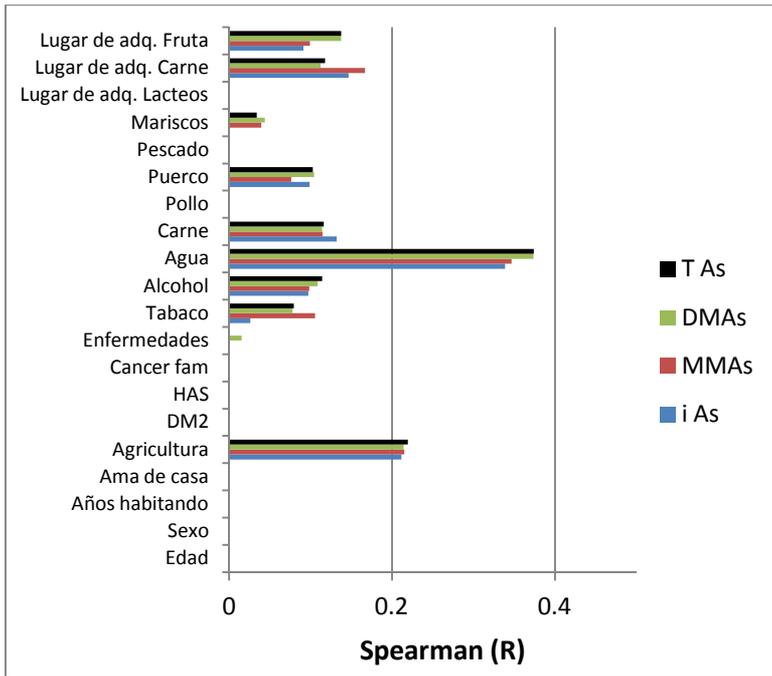


Figura No. 39 Valores de R, para las variables con mayor correlación con las concentraciones urinarias de los arsenicales As i, MMA, DMA y suma de arsenicales (T As).

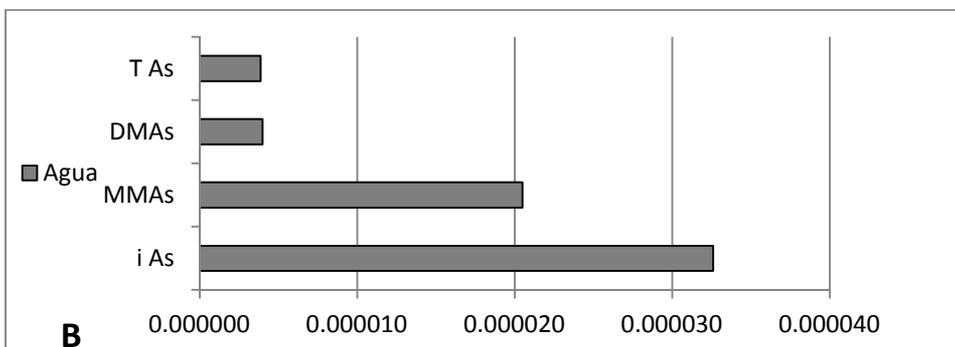
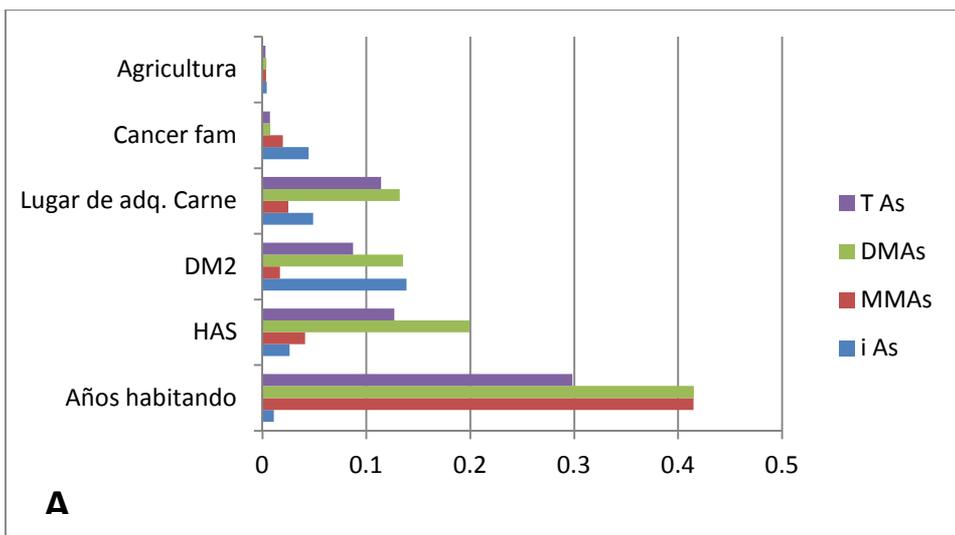


Figura No. 40 A. Valores de p para las variables que obtuvieron mayor significancia estadística (R). Figura 40 B. Valores de p para la variable de consumo de agua no tratada (pozo y llave) de todos los participantes.

En relación a la estadística aplicada a cada población se encontró que en El Sargento las variables que mejor se correlacionaron con la concentración urinaria del arsenical MMA fue el lugar en donde se adquiere la carne de Res ($R=0.31$ y un valor de p de 0.02) y el lugar de adquisición de los lácteos con una R de 0.27 y una p de 0.04. Para el

poblado de JDC la variable que mejor se correlacionó con todos los arsenicales fue el agua. Para el As i una R de 0.39 y una p de 0.004, para el MMA una R de 0.34 y una p de 0.01, para el DMA una R de 0.43 y una p de 0.001 y para la suma de arsenicales una R de 0.42 con una p de 0.001. En el poblado de SJLP la mejor variable que se correlacionó con todos los arsenicales fue el agua. Para el As i una R de 0.34 con una p de 0.05, para el MMA una R de 0.43 con una p de 0.01, para el DMA una R de 0.42 con una p de 0.01 y en la suma de arsenicales una R de 0.4 con una p de 0.01. En el poblado de San Antonio la variable que mejor se correlacionó con todos los arsenicales fue el consumo de pescado con una R de 0.6 con una p de 0.002, para el MMA fue una R de 0.6 con una de 0.0005, para el DMA con una R de 0.6 con una p de 0.001 y para la suma de arsenicales una R de 0.6 con una p de 0.0006.

9. DISCUSION

9.1. Análisis de resultados de los parámetros considerados en este estudio.

De los 181 participantes se encontró que el 36% presentó concentraciones urinarias de arsénico por arriba del Índice Biológico de Exposición (IBE) y el 64 % por debajo de este, lo que refleja que aproximadamente una tercera parte de todos los participantes se encuentran expuestos a arsénico en el área que habitan.

La hipótesis planteada se descarta por completo, ya que se esperaba encontrar que del grupo de no expuestos todos presentarían concentraciones urinarias por debajo de 35 $\mu\text{g/l}$, pero se obtuvo que un 38% superó el Índice Biológico de Exposición (IBE) y el 62% presentó concentraciones urinarias de arsénico por debajo del IBE.

Al Igual para el grupo de expuestos se descarta la hipótesis pues se esperaba que todos los participantes presentaran concentraciones urinarias por arriba de 35 $\mu\text{g/l}$ pero solo el 34% de los participantes cumplió con lo planteado en la hipótesis y el 66% presentó concentraciones urinarias por debajo 35 $\mu\text{g/l}$, dato que nulifica la hipótesis planteada previamente.

Para clasificar a los participantes de los cuatro poblados, se tomó como criterio de inclusión las concentraciones de arsénico en el agua de los pozos de la región, quedando seleccionados en el grupo de no expuestos aquellos que habitan en un área con concentraciones menores a 25 $\mu\text{g/l}$, límite establecido por la NOM127-SSA y en el grupo de expuestos aquellos habitantes que habitan una región con concentraciones de arsénico en el agua de pozo con valores superiores a los establecidos por la NOM127-SSA. Considerar este dato es de relevancia ya que el poblado con concentraciones mayores fue el de SJLP el cual pertenece al grupo de los no Expuestos, seguido de San Antonio perteneciente al grupo de Expuestos.

Como se puede apreciar en la tabla número 5, en donde se evidencian los resultados de la suma de arsenicales, el poblado de San Antonio presenta el promedio más alto de la suma de arsenicales con 68.3 $\mu\text{g/l}$, resultado esperado ya que en San Antonio se encontró la muestra con mayor concentración de arsénico urinario que fue de 398.71 $\mu\text{g/l}$, pero al analizar la figura número 15 en la cual se grafica la suma de arsenicales, el Poblado de SJLP presenta una mayor agrupación de muestras que supera el IBE, es decir el poblado con mayor número de muestras con valores por arriba de 35 $\mu\text{g/l}$.

El poblado de SJLP presentó una concentración promedio de arsénico urinario de 62.7 $\mu\text{g/l}$, con un valor máximo de 301.52 $\mu\text{g/l}$ en uno de sus participantes. El haber encontrado a uno de los poblados pertenecientes al grupo de no expuestos como de los más afectados en este estudio requiere de un mayor análisis. Considerando el consumo de agua como la principal fuente de exposición al arsénico en la región, el poblado de SJLP es el que consume en mayor porcentaje agua de la llave o de pozo con un 27.5 % con respecto a los otros poblados, lo cual explicaría los resultados obtenidos ya que estadísticamente se encontró que el agua tiene una relación directa con los resultados de la suma de arsenicales en orina con una R de 0.4 y una p de 0.01. Lo anterior muestra que el consumir agua con cifras de 25 $\mu\text{g/l}$ de arsénico no brinda una seguridad para quien la consume pues en los habitantes de este poblado que pertenecen al grupo de no Expuestos, se encontraron muestras de orina con concentraciones de arsénico por arriba del índice Biológico de Exposición. Por lo anteriormente mencionado es necesario que el valor establecido por la NOM127-SSA de 25 $\mu\text{g/l}$ se ajuste al valor dictado por la Organización Mundial de la Salud, el cual es de 10 $\mu\text{g/l}$.

En la literatura Sun et al., (2007) muestran que existe un incremento significativo tanto de la concentración ($p=0.5$) de cada metabolito (MMA, DMA) como de la suma de cada metabolito con el incremento de 20 $\mu\text{g/l}$ a 90 y a 160 $\mu\text{g/l}$ del nivel del As i en el agua. De acuerdo a Chiou et al., (1997) por cada 1 $\mu\text{g/g}$ de arsénico que se incrementa en el agua, se incrementa 0.18 $\mu\text{g/l}$ de arsénico en la orina. Lo que representa que los participantes que se encuentran excretando concentraciones de 35 $\mu\text{g/l}$ (valor por arriba del

IBE) reducirían su nivel de exposición en aproximadamente 2.7 µg/l.

Por otra parte del 48 % de participantes del poblado de SJLP obtuvieron valores menores al IBE, de los cuales el 42.5 % consume agua purificada, lo cual refleja que el beber agua de este tipo disminuye las probabilidades de entrar en contacto con arsénico a través del agua.

En el poblado de SJLP el 52 % de los participantes obtuvieron valores mayores al Índice de Exposición Biológica, de estos el 28 % consume agua purificada (Figura 28A y 28B), lo que refleja que a pesar de consumir agua purificada no se disminuye el riesgo de entrar en contacto con arsénico, por lo que se deberá de evaluar la calidad del agua que beben y utilizan para cocinar los alimentos, así como la evaluación de la técnica de purificación.

El segundo poblado más afectado es San Antonio en donde se obtuvo la muestra con mayor concentración urinaria de arsénico (398.71 µg/l). El participante con este valor habita en el Rancho La Posta (3.5 km al norte de San Antonio) en donde las concentraciones de arsénico en el agua de pozo son de 371 µg/l (Niparajá-Guardianes del Agua (201). Este resultado era esperado debido a que este pozo está muy cercano al arroyo San Antonio el cual drena materiales contaminados de los vestigios de la minería.

En la literatura se muestra que existe una relación entre la ingesta de As i en el agua con algunas enfermedades, como por ejemplo en el estado de Zimapán, Hidalgo se realizó un estudio de concentraciones urinarias de arsénico en personas que consumían concentraciones de

As i en el agua por arriba de 10 $\mu\text{g/l}$ y de 50 $\mu\text{g/l}$, en donde los participaciones con mayores concentraciones presentaron lesiones en piel (Valenzuela et al., 2005). Otro estudio demuestra que hay un incremento en la prevalencia de hipertensión arterial sistémica en pobladores que consumen agua con concentraciones de arsénico por arriba de 50 $\mu\text{g/l}$ (Li et al., 2013).

Un estudio realizado en la población de Estados Unidos muestra que consumir productos del mar incrementa la concentración urinaria de arsénico, aun restando el valor del arsénico orgánico (Navas-Acien et al., 2010). Lo cual demuestra también que el pescado puede ser otra fuente de exposición al arsénico inorgánico. En el presente estudio, el poblado de San Antonio presentó que los datos con mayor relevancia estadística fue el consumo de pescado con una R de 0.6 y una p de 0.0006.

En el poblado de JDC, el agua fue la variable que presentó una mayor relación con la suma de arsenicales, con una R de 0.4 y una p de 0.001. En esta zona el 32% de los participantes presentó valores por arriba del IBE, de los cuales el 50 % consume agua purificada y el 30 % agua no tratada (pozo, llave), lo cual puede estar relacionado a las concentraciones de arsénico en pozos aledaños al poblado los cuales tienen un promedio de As i de 100 $\mu\text{g/l}$ y en los sedimentos una concentración promedio de 81 mg/k. Este poblado está bajo la influencia de sedimentos del arroyo San Antonio el cual acarrea principalmente arsenolita producto de la minería (Posada, 2011).

El poblado de El Sargento, fue el que presentó el menor número de participantes con concentraciones por arriba del Índice Biológico de Exposición, lo cual se preveía debido a que este poblado se encuentran geográficamente

fuera de la influencia directa de las fuentes principales de aporte de desechos mineros dentro de la CHSJLP. Los participantes que obtuvieron valores mayores al IBE consumen principalmente agua purificada en un 72 % y el 9 % de llave. Para este poblado no se tienen datos de la concentración de As i en agua de pozo, sin embargo se infiere que los pozos tienen arsénico debido a que es una región en donde se encuentran de manera natural minerales con arsénico y que en un pozo a 3 km al sur de este poblado tiene una concentración de 77 $\mu\text{g/l}$. Esta región presenta una falla activa que corre a lo largo de la zona costera, la cual tiene emanaciones de agua caliente, la cual puede estar promoviendo la lixiviación de rocas con arsénico. Por otra parte no existe un inventario de la ubicación de desechos mineros los cuales pudieran estar también presentes en esta porción de la CHSJL.

9.2. Especies de arsenicales en muestras (As i, MMA, DMA, suma de arsenicales) y otros estudios a nivel mundial

De acuerdo a la concentración de la suma de arsenicales en los participante, se muestra que el 36 % obtuvo valores que excedieron el Índice Biológico de Exposición (IBE = 35 $\mu\text{g/l}$; ACGIH, 2003). Los valores de los arsenicales para cada poblado se compararon con datos de las mismas especies arsenicales en estudios similares en el mundo (Valenzuela et al., 2005; Pellizzari and Clayton, 2006; Izquierdo-Vega et al., 2006; Cho et al., (en prensa). Los porcentaje promedio de As i en los poblados de este estudio, San Antonio (11.16 $\mu\text{g/l}$), SJLP (9.8 $\mu\text{g/l}$), JDC (8.8 $\mu\text{g/l}$) y El Sargento (6.49 $\mu\text{g/l}$), están su mayoría están por debajo de los valores en otros estudios (10 %).

El rango de valores de As i en este estudio (0.02 - 36.16 $\mu\text{g/l}$), es similar a los resultados obtenidos en un estudio hecho en México (Zimapán, Hidalgo; del Razo et al., 2011). En ese estudio determinaron la asociación de As i en agua de consumo con el riesgo de Diabetes, enfermedad que también está presente en participantes y familiares de primera línea de este estudio (Figura 24). Comparando los valores de este estudio con los valores de un estudio llevado a cabo al norte de Argentina (Vahter et al., 2000) y Mongolia (14-16%; Sun et al., 2007), se observa que el As i es mayor en Argentina y Mongolia.

En este estudio los valores del arsenical MMA tuvieron un porcentaje de 10.4 %, en donde variaron entre 9 y 13 %. Los valores máximos fueron de 50.33 $\mu\text{g/l}$, encontrado en el poblado de SJLP, seguido de 44.7 $\mu\text{g/l}$, encontrado en el poblado de San Antonio. Los porcentajes en este trabajo son similares a la información reportada por algunos autores (Cohen et al., 2006; NRC, 1999; Vahter and Concha, 2001; Schuhmacher-Wolz et al., 2009), y difiere de otros trabajos (México del Razo et al., 2011) en donde los valores máximos de MMA encontrados fueron de 2.4 $\mu\text{g/l}$ (representando el 10%). Sin embargo, personas nativas de Los Andes en el Norte de Argentina mostraron MMA del 2 %, asociado a polimorfismos genéticos (Vahter et al., 2000) seguido de Francia (3.7% Fillol et al., 2010) relacionado al consumo de productos del mar. Comparativamente, este estudio fue similar al de Mongolia (9%; Sun et al., 2007) asociado al agua de consumo, al de Alemania (10%; Heitland and Köster, 2009) en donde las concentraciones y la distribución de especies arsenicales urinarias pueden variar dramáticamente dependiendo a la exposición de compuestos de arsénico, tiempo ocurrido después de la exposición, contenido de los productos del mar en la dieta y tratamiento médico.

Los resultados en esta área del arsenical DMA (80.7 %) predominan sobre el resultado de MMA (10.4 %). De acuerdo a los estudios realizados ((Cohen et al., 2006; NRC, 1999; Vahter and Concha, 2001; (Schuhmacher-Wolz et al., 2009) en la orina humana se excreta del 10-30 % de arsénico inorgánico, 10 al 20 % de MMA y 60-80 % de DMA, indicando una metilación eficiente. La mayor ruta de excreción de los compuestos de arsénico es la vía urinaria, el DMA es el principal metabolito excretado en la orina, seguido de una cantidad significativa de MMA. Sin embargo estos valores fueron superados por los valores de Francia (84%; Fillol et al., 2010) en donde la principal contaminación está relacionada a los hábitos y consumo de productos del mar, más que a las altas concentraciones de As en el suelo y en Mongolia (85%; Sun et al., 2007) relacionado a las altas concentraciones en agua de consumo (20 µg/l).

Del total de las muestras los valores promedio de As i (8.76 %) y MMA (10.49 %) se encuentran entre el valor promedio a nivel mundial que es de 10 %. El 50.8 % de los participantes presenta valores de DMA entre el 60 y 80%, siendo el 80.7 % el promedio en este estudio.

En este estudio no se consideraron muestras de orina de niños sin embargo se comenta que de acuerdo a la literatura se encuentra que la proporción de arsénico Dimetilado en orina de niños de Finlandia y Argentina (NRC, 199) es menor que la de los adultos y en México esta proporción es contraria (Schuhmacher-Wolz, 2009).

En este estudio la edad promedio de participantes fue entre los 40 y 50 años y de acuerdo al análisis estadístico entre las variables de los arsenicales y la edad no se

encontró una relación estadísticamente significativa, ni variabilidad en los porcentajes de excreción.

En relación al género, la mayor parte de participantes son del género femenino por lo que no se puede hacer una comparación con el género masculino y tampoco con otros estudios, sin embargo se puede comentar que algunos autores encuentran que las mujeres tienen una mayor capacidad de metilación de arsénico que los hombres y principalmente las que se encuentran en estado de gravidés (Ahsan et al., 2007; Lindberg et al., 2007; Steinmaus et al., 2007; Vahter et al., 2007).

En relación a los años habitando y la suma de arsenicales no se encuentra una correlación estadística significativa, sin embargo en el diagrama de dispersión se observa que el mayor número de participantes con valores mayores al IBE se encuentra en el rango de 10 a 20 años habitando en la región. Se podría esperar que a mayor número de años de exposición al arsénico, mayor fuera la concentración urinaria de este, sin embargo de acuerdo a la información publicada por ATSDR Y CSEM (2009) cuando una persona sobrepasa la capacidad de metilación del hígado y sigue expuesta a niveles altos de arsénico inorgánico se observa un incremento en la retención de arsénico en los tejidos blandos y con ello un decremento en su excreción.

En relación a la ocupación de los participantes y la suma de arsenicales en orina se encontró una correlación de 0.21 con una p de 0.003 con la ocupación de Agricultura. Esto puede ser debido tanto al uso de pesticidas (Rossman, 2007) y a las concentraciones de arsénico presentes en el suelo de esta región (Posada, 2011), en donde superficies del terreno del valle de la CHSJLP con

mayor influencia de desechos mineros presenta concentraciones por arriba de la NOM147SEMARNAT.

En relación a la Diabetes Mellitus en familiares de primera línea y la suma de arsenicales en orina se encontró que no hay una correlación estadística significativa, sin embargo las poblaciones de El Sargento y San Antonio, que presentaron el mayor número de participantes con valores por arriba del IBE fueron las mismas poblaciones que presentaron un mayor porcentaje de personas con Diabetes Mellitus, en El Sargento con un 76% y en San Antonio con un 52%.

En estos poblados se encontró que el valor promedio de la concentración de arsénico urinario es de 65.5 $\mu\text{g/l}$ valor semejante encontrado por Del Razo et al., (2007) en el cual se encontró que valores entre 63 y 104 mg/g de creatinina incrementó al doble el riesgo de padecer Diabetes y concluyen que el arsénico inorgánico puede ser diabetogénico.

En relación a la enfermedad de Hipertensión Arterial Sistémica en familiares de primera línea y la suma de arsenicales en orina se encontró que no hay una correlación estadísticamente significativa. Estudios muestran que consumir agua por arriba de 50 $\mu\text{g/l}$ está correlacionado con un incremento en la presión sistólica (Li et al., 2013). Considerando esta información y al compararla con el promedio de arsénico en pozos de la CHSJLP de 82 $\mu\text{g/l}$, se puede inferir que el arsénico es un factor de riesgo más para desencadenar esta enfermedad en la población que ya cuenta con una alta prevalencia.

En relación a la enfermedad de cáncer en familiares de primera línea y la suma de arsenicales en orina se encontró que no hay una correlación estadísticamente

significativa. Los poblados con una mayor incidencia de cáncer fueron El Sargento y San Juan de Los Planes, ambos con un 54%, seguido de San Antonio con un 52 % y JDC con un 37 %. Estudios previos (Chen et al., 2004) muestran que consumir agua con concentraciones de arsénico entre 100 y 299 $\mu\text{g/l}$ de arsénico incrementa el riesgo de padecer cáncer de pulmón. Considerando que el valor promedio de arsénico en el agua de pozo, al sur del El Sargento, tiene un promedio entre 82 a 102 $\mu\text{g/l}$ y encontrando que en El Sargento el 11 % de los familiares de los participantes en este poblado cuentan con antecedentes de cáncer de pulmón, esto genera la necesidad de realizar un estudio que se aboque a identificar el o los factores causales de cáncer en esa zona.

En relación al consumo de agua y la suma de arsenicales en orina se encontró que hay una correlación estadísticamente significativa, con una R de 0.37 y una p de 0.000004. De acuerdo a varios autores el agua es la principal fuente de exposición de arsénico en el ser humano (Nriagu, 1998; Valenzuela, 2005; Mazumder, 2008) por lo que en este estudio se relaciona al agua como una de las principales fuentes de exposición de arsénico en los pobladores que habitan en la CHSJLP. Un dato de importancia fue que el 69.7 % de los participantes que presentaron concentraciones urinarias mayores al IBE, consume agua purificada, lo que reflejó que consumir agua purificada no disminuyó el riesgo de exposición a arsénico, esto puede estar relacionado a que a pesar de que el agua sea purificada no cumpla los estándares de calidad, a que a pesar de que cumpla la normatividad con concentraciones de 25 $\mu\text{g/l}$, esta cantidad no es suficiente para mantener concentraciones urinarias de arsénico por debajo del IBE, y/o que se estén preparando sus alimentos

con agua no tratada (pozo o de la llave). Del Razo et al., (2002) encontraron que utilizar agua contaminada en la preparación de alimentos es una fuente adicional de exposición a arsénico. A pesar de que la finalidad de este estudio no fue evaluar la concentración de arsénico en los alimentos, se conoce la presencia de arsénico en el agua de pozo, por lo que si los pobladores están usando esa agua para cocinar están incrementando su exposición al arsénico.

En relación al consumo y frecuencia de los diferentes alimentos como carne de Res, carne de Pollo, Pescado y Mariscos, con la suma de arsenicales en orina, se encontró que no hay una correlación estadísticamente significativa, sin embargo la correlación con uno de los arsenicales, As i, tiene una correlación estadísticamente significativa, con una R de 0.14 y una p de 0.04. En futuros estudios es necesario evaluar la concentración de arsénico en los alimentos, así como la forma de cocinarlos, debido a que se ha demostrado que cocinar con agua con concentraciones de arsénico de 41 $\mu\text{g/l}$, puede incrementar en algunos alimentos las concentraciones de As i que posteriormente son ingeridas a través de la dieta, por ejemplo la calabaza al ser cocinada con agua contaminada (As=41 $\mu\text{g/l}$) incrementa su concentración de arsénico hasta 1500 %, la coliflor 500 %, las espinacas 161 % y los frijoles 109 % (Díaz et al., 2004). Respecto al consumo de carne de Res se ha demostrado que los animales que consumen agua contaminada en diferentes concentraciones, presentan bajas concentraciones de As i en la carne (4 $\mu\text{g/kg}$) y altas concentraciones en el hígado (220 $\mu\text{g/kg}$) (Ponce et al., 2006).

En relación al pescado y mariscos se encontró que aproximadamente el 60 % del total de los participantes

consumen pescado y el 27 % consumen mariscos, sin embargo no se encontró una correlación estadística significativa con los niveles de arsénico urinario. Oremland and Stolz (2003) demostraron que la ingesta de productos del mar son una fuente de exposición a arsénico significativa ya que estas especies en su hábitat están expuestas a arsénico inorgánico y orgánico, entre los más importantes es DMA, MMA, Arsenito (III) y Arsenato (V). Los peces tienen una diversa capacidad de metilación, conforme va subiendo el nivel trófico se incrementa la metilación, y en los mariscos comparados con los peces tienen una menor capacidad de metilación (Jean et al., 2010). Por lo que si en esta población en estudio hay un alto porcentaje que consume productos del mar se deberá también realizar un estudio que determine las concentraciones de arsénico inorgánico del ambiente marino y los organismos.

En cuanto al lugar en donde adquieren sus alimentos los participantes y su relación con la suma de arsenicales en orina, el 60 % de los participante que presentaron concentraciones por arriba del IBE consumen sus productos en tiendas locales. En la literatura demuestran que existe una bio tranferencia de los alimentos que son consumidos por los animales a su organismo, lo que se transforma en otra fuente de exposición ya que los productos lácteos provienen de estas especies, por ejemplo si el animal consume agua con 150 $\mu\text{g/l}$ de arsénico la concentración en leche es de 2.8 a 11 $\mu\text{g/l}$ y de queso de 0.42 mg/kg (Pérez- Carrera et al., 2010).

10. CONCLUSIONES

Existe un problema ambiental en La cuenca hidrográfica de San Juan de San Juan de Los Planes, debido a que el total de las muestras analizadas de orina de los participantes de los poblados San Antonio, San Juan de Los Planes, Juan Domínguez Cota y El Sargento presentaron arsénico inorgánico y sus metabolitos (MMA, DMA).

La tercera parte de los participantes (36 %) se encuentra en niveles de exposición de arsénico de riesgo para la salud, debido a que presentaron niveles urinarios de As por arriba del Índice Biológico de Exposición (35 µg/l).

Los participantes de dos poblados con mayor riesgo son San Antonio y San Juan de Los Planes, debido a que las muestras con concentraciones más altas de arsénico urinario se obtuvieron en esos lugares.

Las concentraciones de arsénico inorgánico y sus metabolitos, de este estudio muestran que están relativamente en las mismas proporciones que en otros países que están expuestos a arsénico inorgánico en el agua.

El consumo de agua contaminada con arsénico incrementa las concentraciones urinarias de arsénico, como se observó en el poblado de San Antonio, el cual presenta el valor más alto de arsénico inorgánico urinario (398 µg/l), en el Rancho La Posta, en donde consumen agua de un pozo con 371 µg/l de arsénico inorgánico y en el poblado de SJLP en donde se encontró el segundo valor más alto de arsénico urinario (301 µg/l), en donde consumen agua de un pozo con 69.9 µg/l de arsénico inorgánico.

De acuerdo al análisis estadístico de los datos de la encuesta, se identificó al agua de consumo como factor de exposición al arsénico, seguido de la ocupación (Agricultura) y el consumo de carne y frutos adquiridos en la localidad.

El consumo de agua purificada disminuye la exposición al arsénico, debido a que del 64 % de los participantes que tuvieron concentraciones urinarias de arsénico por debajo del IBE, el 72 % de éstos consumen agua purificada.

El agua purificada que consumen los participantes puede estar contaminada, debido a que del 36 % de los que presentaron concentraciones urinarias por arriba del IBE, el 48 % de estos consumen agua purificada.

De acuerdo a la ubicación geográfica de los participantes, los que tienen mayor influencia de los desechos que corren por el arroyo San Antonio son los que obtuvieron mayores valores de arsénico inorgánico en orina.

Este trabajo ha demostrado que los habitantes de la cuenca hidrográfica de San Juan de Los Planes, ya se encuentran expuestos al arsénico, demostrado por los valores de concentración urinaria de arsénico por arriba del Índice Biológico de Exposición. Por lo cual es necesario realizar una intervención ambiental para eliminar la exposición a arsénico y así evitar el riesgo de desarrollar enfermedades asociadas a la exposición crónica al arsénico.

11. SUGERENCIAS

Es necesario elaborar una campaña de prevención a la salud con el objetivo de difundir los principales efectos del arsénico a la salud y la exposición crónica al arsénico, dando a conocer los principales signos y síntomas, así como órganos afectados; dar a conocer que el agua de pozo es la principal fuente de exposición a arsénico e informar sobre los diferentes procesos que la contaminaron. Explicar que las principales medidas de acción para disminuir el contacto con el arsénico son: evitar beber agua de pozo o de la llave, aún a pesar de haberla hervido, ya que esto no elimina la presencia del arsénico, así mismo reiterar el evitar usar el agua de pozo y de la llave para la preparación de los alimentos. Esta difusión debe hacerse a través de pláticas, talleres, trípticos, anuncios en diversos medios de comunicación, en la cual el principal objetivo es la prevención a la salud.

Debido a que participantes que consumen solo agua purificada presentan nivel por arriba del IBE, es necesario conocer la calidad del agua purificada que están consumiendo y el agua con que preparan sus alimentos. Estos mismos resultados sugieren que a pesar de consumir agua con concentraciones menores a 25 $\mu\text{g/l}$ están expuestos a presentar concentraciones por arriba del IBE que representa un riesgo para la salud. Por lo anterior es necesario modificar el valor de la NOM127SSA a los niveles establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), que es de 10 $\mu\text{g/l}$.

En este estudio se identificó que el agua es una fuente de exposición a arsénico en los pobladores de la región, por lo cual es necesario que se lleven a cabo acciones de remoción de arsénico en el agua de pozo.

A pesar de identificar al agua como una fuente de exposición a arsénico, es necesario evaluar el potencial de contaminación de los alimentos, el agua utilizada para la preparación de los alimentos y el polvo atmosférico, debido a que las concentraciones de arsénico en el suelo están por arriba de la NOM147SEMARNAT.

Es necesario proveer a los habitantes una fuente segura de agua con concentraciones menores a 10 µg/l, a través de establecer estrategias con las autoridades que vigilen la calidad del agua, que brinden alternativas para la solución del problema. Convocar a las instituciones relacionadas con el agua como, Comisión Estatal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COEPRIS), Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Comisión Estatal del Agua (CEA), Organismo Operador Municipal del Sistema de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (OOMSAPAS) y a la sociedad civil, para generar propuestas y ejecutar proyectos en los cuales el principal objetivo sea el abastecimiento de agua potable de adecuada calidad a la población.

Es necesario de manera urgente, llevar a cabo una remediación ambiental de los sitios contaminados, ubicados en el la región de San Antonio para evitar que se siga contaminando el agua subterránea, debido a que trabajos previos muestran que el agua y los suelos de la cuenca hidrográfica de SJLP están contaminados con arsénico, ya sea por la presencia natural de este mineral o por el enriquecimiento de este por procesos Antropogénicos (minería), siendo este último el de mayor contribución de arsénico al ambiente.

12. AGRADECIMIENTOS

A todos los participantes de los poblados de San Antonio, San Juan de Los Planes, Juan Domínguez Cota y El Sargento, que colaboraron en proporcionar muestra y responder la encuesta.

Al personal médico, de enfermería y promotores de salud de los centros de salud de la Secretaría de Salud, de los poblados participantes, por la convocatoria y recolección de muestras.

A la Dra. Ana Judith Marmolejo Rodríguez, profesor-investigador del CICIMAR-IPN, por su invaluable apoyo en la planeación, elaboración y revisión de este trabajo, a la Dra. Luz María del Razo Jiménez por el análisis de las muestras en el departamento de Toxicología del CINVESTAV-IPN. A la Lic. en Ciencias Ambientales Ana Patricia Ruíz Beltran, por su colaboración con la estadística y elaboración de mapas. Al Lic. en Informática José Roberto Aguilera Angulo por su apoyo en la estructuración del documento.

Al laboratorio de Geología Marina del CICIMAR-IPN en la preparación, conservación y envío de muestras. Al proyecto titulado: Evaluación geológica y geoquímica de una porción terrestre y marina del área de San Juan de los Planes, Baja California Sur, México, con clave CONACYT 98710, y SIP20101323, por el apoyo económico a este trabajo.

13. REFERENCIAS

1. ACGIH, American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2010). Threshold Limit Values (TLVs) for chemical substances and physical agents and biological exposure indices (BEIs). 210p
2. Aposhian, HV., Zakharyan, RA., and Avram, M.D.(2004). A review of the enzymology of arsenic metabolism and new potential role of hydrogen peroxide in the detoxication of the trivalent arsenic species. *Toxicol Appl Pharmacol.*198, 327-335.
3. Ashan, H., Chen, Y., Kibriya, M.G., Slavkovich, V., Parvez, E., Jasmine, E., Gamble, M.V., and Graziano, J.H.(2007). Arsenic metabolism, genetic susceptibility and risk of premalignant skin lesions in Bangladesh. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.* 16 (6), 1270-1278.
4. ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registr. (2007). Toxically profile for arsenic. Draft for Public Comment. Atlante: US Department of Healt and Human Services. [http:// www. atsdr.cdc.gov/toxprofilestp2.html](http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofilestp2.html)
5. Bleecker, M.(2007). Toxic Peripheral Neuropathy. In Room W and Markowitz S eds. *Environmental and Occupational*, 4 ed. Lippincott Williams and Wilkins.p 643.
6. Caldwell, K.L. ,and Jones, R.L.(2008). Levels of urinary total and speciated arsenic in the US population. National Health and Nutrition Examination Survey 2003-2004, *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology.* 1-10.
7. Carrillo A.(1996). Enviromental geochemistry of the San Antonio – El Triunfo mining area, southernmost Baja California Peninsula Mexico. Ph D. Thesis in Geology, Laramie Wyoming, 130p.
8. Chakraborti, D., Hussam, A., and Alauddin, M.(2003). Arsenic: Environmental health aspects with special reference to ground water in South Asia. *Journal Environmental Science Health.* 38(1), XI-XV.
9. Chang, C., Ho, S., C and Tsai, S.(2004). Ischemic heart disease mortality reduction in an arsenosis-endemic area

- in southwestern Taiwan after a switch in tap-water supply system. *Journal Toxicology Environmental Health*.67, 1353-1361.
10. Chen, C. J., Hsueh, Y. M., Lai, M.S. (1995). Increased prevalence of hypertension and long-term arsenic exposure. *Hypertension*. 25, 53-60.
 11. Chen, C. L., Hsu, L. I., Chiou, H. Y., Hsueh, Y. M., Wu, M. M., and Chen, C. J.(2004). Ingested arsenic, cigarette smoking and lung cancer risk: A follow-up study in arseniasis-endemic areas in Taiwan. *Journal of American Medical Association*, 292, 2984-2990.
 12. Chiou, H. Y., Hsueh, Y. M., Hsieh, L. L., Hsu, L. I., Hsu, Y. H., Hsieh, F. I., Wei, M. L., Chen, H. C., Yang, H. T., Leu, L. C., Chu, T. H., Chen-Wu, C., Yang, M. H., and Chen, C. J (1997) . Arsenic methylation capacity, body retention, and null genotypes of glutathioneS-transferase M1 and T1 among current arsenic-exposed residents in Taiwan.386,197–207.
 13. Cho YongngMin., Seo SungChul., Choi Seung-Hyun., Lee SeungKil., Kim KyungHee., Kim Hae-Joon,. and Choi Jae-Wook.(in press). Association of arsenic levels in soils and water with urinary arsenic concentrations of residents in vicinity of closed metal mines. *International Journal of Hygiene and Enviromental Health*.
 14. Chunj, JS., Kalman, D..A., Moore, LE., Kosnett, MJ., Arroyo, AP., Beeris, M., and Mazumder, DNG.(2002). Family Correlations of Arsenic Methylation Patterns in Children and Exposed to High Concentrations of Arsenic in Drinking Water. *Enviromental Health Perspectives*. 110 (7),729-733.
 15. CNA, (2003). Comisión Nacional del Agua. Gerencia estatal en Baja California Sur. Estudio de caracterización de la intrusión salina en el acuífero de los Planes BCS. 525p.
 16. Cohen, D., and Moore, M. Occupational Skin Disease.2007. In: Room W and Markowitz S eds, *Environmental and Occupational Medicine*, 4 ed, Lippincott Williams and Wilkins, p 635.

17. Cohen, S. M., Arnold, L. ., Eldna , M., Lewis, A S., and Beck, B. D. (2006). Methylated arsenicals: the implications of metabolism and carcinogenicity studies in rodents to human risk assessment. *Crit. Rev. Toxicol.* 36(2),99-133
18. Comisión Nacional del Agua.(2003). Estudio de Caracterización de la Intrusión salina en el acuífero de Los Planes BCS. Subdirección General Técnica. Gerencia Regional de la Península de Baja California. Gerencia Estatal en Baja California Sur. P 525.
19. Coronado-González, J. A., Del Razo, L. M., García-Vargas, G., San Miguel-Salazar, F and Escobedo-de La Peña, J. (2007). Inorganic arsenic exposure and type 2 Diabetes Mellitus in Mexico. *Environmental Research* 104, 383-389.
20. Del Razo L.M., García-Vargas G., Valenzuela O.L., Hernández-Castellanos, E. Sánchez-Peña L.C., Currier J.M., Drobna Z., Loomis D., and Styblo M.(2011). Exposure to arsenic in drinking wáter is associated with increased prevalence of diabetes: a cross-sectional study in the Zinapam and Lagunera regions in Mexico. *Environmental Health*, 10(73), 1-11.
21. Del Razo, L.M., García-Vargas, G.G., García-Salcedo, M.F., Rivera, M., Hernández, M.C., and Cebrian,M.(2002). Arsenic levels in cooked food and assessment of adult dietary intake of arsenic in the Region Lagunera, México *Food and Chemical Toxicology.* 40, 1423-1431.
22. Díaz, O.P, Leyton I, Muñóz, O, Núñez, N., Devesa, V y Suner, M.A. (2004). Contribution of wáter, bread, vegetables (raw and cooked) to dietary intake of inorganic arsenic in a rural Village of Northern Chile. *Journal Agriculture Food Chem.* 52, 1773-1779.
23. Díaz-Villaseñor, A., Sanchez-Soto, M,C., Cebrian, M,E.,Ostrosky-Wegman,P.,and Hiriart, M.(2006). Sodium Arsenic impairs insulin secretion and transcription in pancreatic B-cells. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*214, 30-34.
24. Fillol C., Dor F., Labat L., Boltz P., Le Bouard J., Mantey K., Mannschott C., Puskarczyk, Viller F., Momas I., Seta N. (2010). Urinary arsenic concentrations and speciation in

- residents living in an area with naturally contaminated soils. *Science of the Total Environment*, 408 1190-1194.
25. Garcia-Vargas, G., and Cebrian, M. (1996). Health effects of arsenic. In: Wang LW, ed. *Toxicology of metals*. Boca Raton. CRC Press, 423-438.
 26. geográfica (SIG) y un modelo digital de elevación (MDE). Tesis de Licenciatura en Geología. Universidad Autónoma de Baja California Sur, 32p.
 27. Gorby, M. S. (1988). Arsenic poisoning (Clinical Conference). *West Journal Medical*. Albuquerque, NM. 149,308-315.
 28. Heitland P. and Köster H.D. (2009). Comparison of different medical cases in urinary arsenic speciation by fast HPLC-ICP-MS. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 212, 432 – 438.
 29. Hopenhayn-Rich, C., Biggs, M.L., and Smith, A.L. (1998). Lung Cancer and kidney cancer mortality association with arsenic in drinking water in Cordoba Argentina. *International Epidemiology Association*. 27, 561-569.
 30. INEGI, (1998). Carta Topográfica La Paz G12 10-11. Escala 1:250 000.
 31. INEGI, (2005). Carta Topográfica San José de Cabo F12-2-3-5-6. Escala 1:250 000.
 32. INEGI, (2003). Anuario de Estadística por Entidad Federativa. Instituto Nacional de Geografía e Informática. México, 708 p.
 33. Izquierdo-Vega, J.A., Soto, C.A., Sanchez-Peña, L.C., De Vizcaya-Ruiz, A., and Del Razo, L.M. (2006). Diabetogenic effects and pancreatic oxidative damage in rats subchronically exposed to arsenic. *Toxicol. Lett.* 160, 135-142.
 34. Lamm, S.H., Luo, Z.D., Bo, E.B., Zhang, G.Y., Zhang, Y.M., Wilson, R., Byrd, D.M., Lai, S., Li, F.X., Polkanov, M., Tong, Y., Loo, L., Tucker, S.B., and the Inner Mongolia Cooperative Arsenic Project. (2007). An epidemiology study of arsenic-related skin disorders and skin cancer and consumption of arsenic-contaminated well waters in Hunhot, Inner Mongolia, China. *HERA*. 13 (4), 713-746.

35. Lantz, R. C., Lynch, B.J., Boiton, S., Poplin, G.S., Littaues, S., Tsapraillis, G., and Burgois, J.L.(2007). Pulmonary biomarkers based an alterations in protein expression after exposure to arsenic. *Environmental Health Perspect.*115 (4), 586-591.
36. Laurence L. Brunton, John S. Lazo, Keith L. Parker., 2006. Goodman y Gilman. Las bases farmacológicas de la terapéutica 11^a Edición –Sección XV:Toxicología. Principios de toxicología; tratamiento de las intoxicaciones. Intoxicaciones: metales pesados y antagonistas de los metales pesados, 1884-1888.
37. Li, S., Bing, L., Shuhua, X., Quanmei, Z., Da, W and Guifan, S. (2013). Association of urinary monomethylated arsenic concentration and risk of hypertension: a cross-sectional study from arsenic contaminated areas in northwestern China. *Environmental Health*, 12, 37-47.
38. Lindberg, A-L., Rahman, M., Persson, L.A., Vahter, M., 2008. The risk of arsenic induced skin lesions in Bangladeshi men and women is affected by arsenic metabolism and the age at first exposure. *Toxicology and Applied Pharmacology* 230,9–16.
39. Mazumder, G .(2008). Chronic arsenic toxicity and human healt. *Indian J Med Res*, 128,436-447.Merian E., Elements and their compounds in the environment 1990.Wiley-VCH.
40. Mejía J. Carrizales L., Rodríguez V.M., Jiménez – Capdeville M.E., Díaz-Barriga F., 1998. Un método para la evaluación de riesgos para la salud en zonas mineras. *Salud Pública de México*, 41(2) s132-s140.
41. Miller, W. R., Schipper, H. M., Lee.(2002). Mechanisms of action of arsenic trioxide. *Cancer Res*,62, 3893-3903.
42. Nava Sánchez, E. H. (1992). Sedimentología de la Cuenca San Juan de Los Planes, Baja California Sur, México. Tesis de Maestro en Ciencias, CICIMARIPN, 178p.
43. Navas-Acien, A., Francescony, K. A., Silbergeld, E. K and Guallar, E. 2010. Seafood intake and urine concentrations of total arsenic, dimethylarsinate and arsenobetaine in the

- US population. *Environmental Research*, 111 (2011) 110-118.
44. Niparaja-Guardianes del Agua (pers.Com.). Concentración de Arsénico en agua de pozos de la cuenca hidrológica de San Juan de Los Planes. Datos del Servicio Geológico Mexicano, orden 10120, con fecha 11-03-201
 45. NOM-127-SSA, 1994. Norma Oficial Mexicana. 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*. Mexico.
 46. NOM-147-SEMARNAT/SSA1, 2004. Norma Oficial Mexicana. 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. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Diario Oficial de la Federación*. Mexico.
 47. NRC (National Research Council) 1999. *Arsenic in drinking water*. National Academy Press, Washington, DC.
 48. Nriagu, J.O, (1998). A silent epidemic of environmental metal poisoning? *Environment Pollution*. 50,139-161.
 49. OMS, 2005. *Arsenic and Arsenic Compounds*. Environmental Health Criteria 224. World Health Organization, Geneva. NRC, 1999. *Arsenic in Drinking Water*. National Research Council, National Academy Press, Washington, DC.
 50. Oremland, R.S., and Stolz, J.F. (2003). The Ecology of Arsenic. *Science*; 300:939-944.
 51. Pellizari E.D., and Clayton C.A. (2006). Assessing the measurement precision of various arsenic forms and arsenic exposure in the national human exposure assessment survey (NHEXAS). *Environmental Health Perspectives*, 140 (2), 220 – 227.
 52. Pérez Briceño, A. (2009). Elaboración de un modelo hidrogeológico de la Cuenca San Juan de Los Planes, B.C.S., Mediante el uso de un sistema de información
 53. Perez-Carrera A, Fernandez-Cirelli A. Biotransference of arsenic from drinking water to bovine tissues and milk. In:

- Jean J-S, Bundschuh J, Bhattacharya P, editors. Proceedings As 2010 3rd international congress arsenic in the environment; 2010 May 17– 21; Tainan, Taiwan. Leiden, The Netherlands: Balkema/CRC Press; 2010. p. 528–9.
54. Pi, J., Yamauchi, H., and Sun, G.(2005). Vascular dysfunction in patients chronic arsenicosis can be reversed by reduction of arsenic exposure. *Environmental Health Perspect.* 113, 339-341.
 55. Pigott, D. C and Liebelt, E. L., 2007. Arsenic and Arsine. In: Shannon M. W., Borron, S. W., Burns M. J: Haddad and Winchester's Clinical Management of Poisoning and Drug Overdose, 4th edition, Chapter 74, page 1149.
 56. Ponce, R., Farias, S., Bovi-Mitre, G., and Montoro, R. Determinación de arsénico total e inorgánico en carne y vísceras de camélidos (*Lama glama*) autóctonos de la provincia de Jujuy, Argentina. *Rev Fac de Agronomía de la UBA.*26 (1), 105-109.
 57. Posada-Ayala, I. H. (2011). Geoquímica ambiental del Distrito Minero San Antonio, sedimentos de arroyos de la Cuenca de San Juan de los Planes y plataforma continental de Bahía La Ventana, BCS, Mexico. Master Thesis 210p.
 58. R Development Core Team. (2011). R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: the R Foundation for Statistical Computing. ISBN: 3-900051-07-0.
 59. Rahman, M., Tondel, M., Ahmad, S.M., and Axelson, O. (1998).Diabetes Mellitus associated with arsenic exposure in Bangladesh. *American Journal Epidemiology.*148, 198-203.
 60. Robles, G., S.(1985). Estudio Geográfico del Estado de Baja California Sur. Dir. De Cu It., Gob. de B.C.S., México, 203 p .
 61. Roden, G.I. (1964). Oceanographic aspects of Gulf of California. *Marine geology of the Gulf of California*, T.H. Van Andel, G.G. Shor, (Eds.), American Association of Petroleum Geologists, Memoir, 3, 30-58.

62. Rosenman K.(2007). Occupational Heart Disease. In: Rom W and Markowitz S eds. Environmental and Occupational Medicina, 4 ed. Lippincott Williams and Wilkins, 688 p.
63. Rossman, T. (2007).Arsenic. In: Rom W and Markowitz S eds. Environmental and Occupational Medicine, 4 ed. Lippincott Williams and Wilkins, 1006-1017.
64. Salazar, F and Escobedo-de La Peña, J., 2007. Inorganic arsenic exposure and type 2 Diabetes Mellitus in Mexico. Environmental Research 104, 383-389.
65. Schuhmacher-Wolz, U., Dieter, H., Kliein, D., and Schneider. K.(2009). Oral exposure to inorganic arsenic:evaluation of its carcinogenic and non – carcinogenic effects. Critical Reviews in Toxicology, 39(4),271-298.
66. Simeonova, P.P and Luster, M. I. (2004). Arsenic and atherosclerosis. Toxicology Applied Pharmacology. 198:, 444-449.
67. Smith AH, Hopenhayn-Rich C., and Bates MN. (1999) Cancer risk from arsenic in drinking water. Environ Health . 97, 259-267
68. Steinmaus, C., Moore, L., Hopenhayn, C., Biggs, M.L., and Smith, A.H.2000. Arsenic in drinking water and Bladder Cancer. Cancer Investigation 18(2), 174-182.
69. Styblo, M., Drobina, Z., and Jaspers ,I.(2002). The role of biomethylation in toxicity and carcinogenicity of arsenic: a research update. Environ Health Perspect.110, 767-771.
70. Sun, G., Xu, Y., Li, X., Jin, Y., and Sun, X.(2007).Urinary Arsenic Metabolites in Children and Adults Exposed to Arsenic in Drinking Water in Inner Mongolia, China. Environmental Health Perspect.115, 548-652.
71. Vahter M., Concha G., Nermell B. (2000). Factors influencing arsenic methylation in humans. The Journal of Trace Elements in Experimental Medicine, 13 (1) 173-184.
72. Vahter M., Concha G., Nermell B., (2000). Factors influencing arsenic methylation in humans. The Journal of Trace Elements in Experimental Medicine, 13 (1) 173-184.
73. Vahter, M., and Concha, G.(2001). Role of metabolism in arsenic toxicity. Pharmacol Toxicology.89 (1), 1-5.

74. Vahter, M., and Concha, G. (2001). Role of metabolism in arsenic toxicity. *Pharmacol. Toxicol.* 898(1), 1-5.
75. Valenzuela O.L., Borja-Aburto V.H., García Vargas G., Cruz-González M., Garcia-Montalvo E., Calderon-Aranda E., Del Razo L.M., (2005). Urinary Trivalent Methylated Arsenic Species in a Population Chronically Exposed to Inorganic Arsenic. *Environmental Health* ,113(3),250-254.
76. Walton, F.S.,Harmon ,A.W., Paul, D.S., Drobná, Z., and Patel, Y.M., Styblo, M.(2004). Inhibition of insulin-dependent glucose uptake by trivalent arsenicals:possible mechanism of arsenic-induced diabetes.*Toxicol.Appl, Pharmacol.*198,424-433.
77. Wang ,Z., Rosen, B.P., and Rossman, T. G. (1996). Efflux mediated resistance to arsenicals in arsenic-resistant and hypersensitive Chinese hamster cells. *Toxicol Appl Pharmacol.* 137, 112-119.
78. Wedepohl , K.H., 1995. The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59 (7) 1217-1232.
79. Yip L and Dart R. (2001). Arsenic in: Sullivan J and Kreiger G, eds. *Clinical Environmental Health and Toxic Exposures*, 2 ed. Philadelphia, PA: Lippincott Williams and Wilkins. 858-865.