



**INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN
CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA, A.C.**

POSGRADO EN GEOCIENCIAS APLICADAS

**“Guía para la implementación de un prototipo de
remediación de arsénico en agua subterránea en
función de la innovación social: Caso El Salitral, San
Luis Potosí”**

Tesis que presenta

Nadia Lizbeth Vite Hernández

Para obtener el grado de

Maestra en Geociencias Aplicadas

Directora de la Tesis:

Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas

San Luis Potosí, S.L.P., Julio del 2021.



Constancia de aprobación de la tesis

La tesis “**Guía para la implementación de un prototipo de remediación de arsénico en agua subterránea en función de la innovación social: Caso El Salitral, San Luis Potosí**” presentada para obtener el Grado de Maestra en Geociencias Aplicadas fue elaborada por **Nadia Lizbeth Vite Hernández** y aprobada el **13 de Julio del 2021** por los suscritos, designados por el Colegio de Profesores de la División de Geociencias Aplicadas del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.

Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas
Directora de la tesis

Dra. Natalia Martínez Tagüeña
Miembra del Comité Tutoral

Dr. Pablo Dávila Harris
Miembro del Comité Tutoral

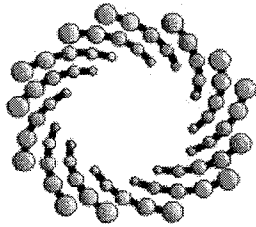
Dr. Omar Delgado Rodríguez
Miembro del Comité Tutoral



Créditos Institucionales

Esta tesis fue elaborada en el Laboratorio de Hidrogeoquímica de la División de Geociencias Aplicadas del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., bajo la dirección de la Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas.

Durante la realización del trabajo la autora recibió una beca académica del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A. C con número de registro 932884. Adicionalmente, esta investigación fue financiada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología dentro del proyecto con número de propuesta PROBLEMAS-2017-01-7073.



IPICYT

Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.

Acta de Examen de Grado

El Secretario Académico del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., certifica que en el Acta 071 del Libro Primero de Actas de Exámenes de Grado del Programa de Maestría en Geociencias Aplicadas está asentado lo siguiente:

En la ciudad de San Luis Potosí a los 6 días del mes de agosto del año 2021, se reunió a las 10:00 horas en las instalaciones del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., el Jurado integrado por:

Dr. Pablo Dávila Harris	Presidente	IPICYT
Dra. Natalia Martínez Tagüeña	Secretaria	IPICYT
Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas	Sinodal	IPICYT
Dr. Omar Delgado Rodríguez	Sinodal	IPICYT

a fin de efectuar el examen, que para obtener el Grado de:

MAESTRA EN GEOCIENCIAS APLICADAS

sustentó la C.

Nadia Lizbeth Vite Hernández

sobre la Tesis intitulada:

Guía para la implementación de un prototipo de remediación de arsénico en agua subterránea en función de la innovación social: Caso El Salitral, San Luis Potosí

que se desarrolló bajo la dirección de

Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas

El Jurado, después de deliberar, determinó

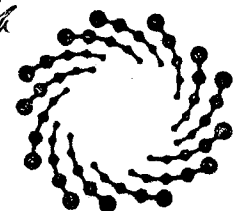
APROBARLA

Dándose por terminado el acto a las 11:30 horas, procediendo a la firma del Acta los integrantes del Jurado. Dando fe el Secretario Académico del Instituto.

A petición de la interesada y para los fines que a la misma convengan, se extiende el presente documento en la ciudad de San Luis Potosí, S.L.P., México, a los 6 días del mes de agosto de 2021.


Mtra. Ivonne Lizette Cuevas Vélez
Jefa del Departamento del Posgrado


Dr. Marcial Bonilla Marín
Secretario Académico



IPICYT
SECRETARÍA ACADÉMICA
INSTITUTO POTOSINO DE
INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA
Y TECNOLÓGICA, A.C.

Dedicatorias

A mi mamá y mi papá:

Gracias por acompañarme en esta aventura, por motivarme incansablemente a luchar por mis sueños y a romper mis propias marcas. No conozco palabras que puedan describir fidedignamente cuanto les amo y admiro, mucho menos para expresar lo feliz que soy de poder compartir con ustedes este logro.

A mis hermanas:

Aunque perseguir nuestros sueños nos ha llevado por caminos diferentes, su lucha por cumplir lo que tanto anhelan me ha inspirado y regalado muchos momentos de felicidad. Gracias por siempre estar, sin duda lo más preciado de mis logros es poder celebrarlos con ustedes.

A Carlos:

Que el equipo que conformamos siga siendo soporte y motor para cumplir todas nuestras metas. Gracias por todo y por tanto.

Agradecimientos

Gracias al Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. por la oportunidad de formarme dentro de su institución. A la División de Geociencias Aplicadas por proporcionarme los recursos necesarios para lograr esta meta profesional.

Este trabajo de investigación es resultado del esfuerzo de muchas personas, quienes enseñando, corrigiendo, opinando y llenando de entusiasmo, caminaron conmigo durante todo el proceso.

A mi directora de tesis, la doctora Nadia por su orientación e impulso para mi crecimiento profesional. Por enseñarme que la ciencia debe ser desde y para todas las personas. Gracias por ser mi amiga y también por el sinfín de experiencias que me ayudaron a cuestionarlo todo y no conformarme con nada.

Al profesor Bhaskar Sen Gupta de la Universidad Heriot Watt por su preciada colaboración dentro del desarrollo de este proyecto, reiterando que la ciencia no puede resolver todos los problemas pero ningún problema se puede resolver sin ayuda de la ciencia.

A mi asesora la doctora Natalia y mis asesores, el doctor Pablo y el doctor Omar. Gracias por tomar el compromiso de apoyarme, por su paciencia, el conocimiento transferido, el tiempo concedido y las valiosas contribuciones que hicieron en esta investigación.

A la CONAGUA, especialmente al ingeniero Fernando Ruíz Méndez y la ingeniera Christian Azeneth Maldonado Sánchez, así como a la COEPRIS, en especial a la ingeniera Claudia Alcantara Ocegueda y a la doctora Mayra Llanez Fernández por colaborar activamente y favorecer el desarrollo del proyecto.

Al comisariado ejidal de la comunidad El Salitral, Juan Manuel Trejo Muñoz. Así como a Patricio, Leobardo, Juan Pérez, Cervando Carrera, Leobardo Nacera, Noe Pérez, Alberto Pérez, Ramiro Morales y María Guadalupe Morales, quienes proporcionaron las facilidades para el trabajo de campo dentro de la comunidad.

Al increíble grupo de trabajo con quienes colaboré: Abril, Jaz, Lucero, Andrea, Yered, JJ, Rodrigo y Felipe, gracias por apoyarme arduamente durante mi proceso de aprendizaje y en el trabajo de campo; pero más aún por las pláticas, los consejos, la atención y la amistad.

Mi agradecimiento también es para Hiram, Kris, Luis, Claudia, Gerardo, Dani, Saúl, Karen, Anayeli y Christian, por permitirme aprender más de la vida a su lado. Hacia donde sea que sus sueños les lleven sepan que mis mejores deseos les acompañan.

Contenido

Constancia de aprobación de la tesis	1
Créditos Institucionales	2
Acta de examen	3
Dedicatorias	4
Agradecimientos	5
Contenido	6
Lista de tablas	9
Lista de figuras	11
Lista de anexos	12
Abreviaturas	13
Resumen	14
Abstract	16
Introducción	18
1.1. El Arsénico	18
1.2. El Arsénico en el agua	32
En todo el mundo	32
En México	32
Salitral de Carrera en Villa de Ramos, San Luis Potosí	36
1.3. Técnicas convencionales de remoción de Arsénico y tecnologías verdes	37
1.4. La innovación social como ruta para la solución de problemas medioambientales de la vida cotidiana	44

1.5. Hipótesis	50
1.6. Objetivos	50
Objetivo General	50
Objetivos específicos	50
Métodos	52
2.1. Búsqueda bibliográfica sistemática	52
2.2. Construcción de un registro de aprovechamientos subterráneos contaminados con Arsénico para el Estado de San Luis Potosí	52
2.3. Elaboración de un mapa hidrogeoquímico de Arsénico en agua para el Estado de San Luis Potosí	53
2.4. Campañas de muestreo para la selección de pozos candidatos para remediación por tecnología SART	53
2.5. Estimación de riesgo a la salud humana por exposición a Arsénico	54
Estimación de riesgo a la salud humana	55
Evaluación de riesgo no cancerígeno	56
Evaluación de riesgo carcinogénico	56
2.6. Selección de criterios e indicadores para la evaluación de candidatos para remediación con tecnología SART	57
2.7. Diseño de una herramienta para medir la percepción de riesgo	58
Resultados	60
3.1. Estado del arte del Arsénico en agua subterránea en el estado de San Luis Potosí	60
3.2. Censo de aprovechamientos subterráneos contaminados con Arsénico en el Estado de San Luis Potosí	63
3.3. Mapa hidrogeoquímico de la distribución geográfica del Arsénico en agua en el estado de San Luis Potosí	65
3.4. Concentraciones de Arsénico medidas	69

3.5. Estudio toxicológico del riesgo a la salud humana por exposición a Arsénico en agua	71
3.6. Criterios e indicadores para evaluar la viabilidad de instalación de la tecnología SART en comunidades con agua contaminada con Arsénico	83
3.7. Formato de encuesta para la evaluación de percepción de riesgo	89
Conclusiones	99
Referencias	101
Anexos	112

Lista de tablas

Tabla 1. Compuestos de Arsénico y sus fórmulas químicas	18
Tabla 2. Categorías a nivel de riesgo de cáncer definidas por la US EPA	25
Tabla 3. Cuadro comparativo de las ventajas y desventajas de los tratamientos convencionales para la remoción de Arsénico en agua	38
Tabla 4. Variables para analizar la innovación social	46
Tabla 5. Ejemplos de cómo medir las etapas de la innovación social	47
Tabla 6. Generalizaciones para las variables utilizadas en la ecuación 1	55
Tabla 7. Generalizaciones para las variables utilizadas en la ecuación 2	56
Tabla 8. Generalizaciones para las variables utilizadas en la ecuación 3	57
Tabla 9. Recursos bibliográficos con reportes de Arsénico en agua para el estado de San Luis Potosí	60
Tabla 10. Municipios con aprovechamientos contaminados con Arsénico en San Luis Potosí	64
Tabla 11. Concentración de Arsénico total de los candidatos a remediación por tecnología SART	69
Tabla 12. Concentración de Arsénico total para las muestras tomadas en la localidad El Salitral	70
Tabla 13. Recursos electrónicos de acceso abierto con estudios de estimación de riesgo a la salud por exposición a Arsénico	72
Tabla 14. Dosis diaria estimada en el escenario de ingesta de agua contaminada	82

sin algún tratamiento previo de remediación

Tabla 15. Riesgo no cancerígeno estimado en el escenario de ingesta de agua contaminada sin algún tratamiento previo de remediación 82

Tabla 16. Riesgo cancerígeno estimado en el escenario de ingesta de agua contaminada sin algún tratamiento previo de remediación 83

Tabla 17. Rúbrica para la selección de sitios con alta factibilidad para el proceso de remediación usando la tecnología SART 85

Tabla 18. Resultado de la evaluación de los candidatos a remediación por tecnología SART 88

Tabla 19. Recursos bibliográficos con instrumentos para la medición de percepción de riesgo 90

Lista de figuras

Figura 1. Diagrama de Pourbaix de Arsénico en medio acuoso	20
Figura 2. Localización del área de estudio	36
Figura 3. Esquema ilustrativo de un prototipo de remoción de Arsénico en agua con tecnología SART	43
Figura 4. Municipios con antecedentes de aprovechamientos contaminados con Arsénico por encima de la normativa nacional y el valor guía de la OMS	67
Figura 5. Distribución geográfica de aprovechamientos de agua con antecedentes de contaminación de contaminación de Arsénico en el estado de San Luis Potosí	68
Figura 6. Distribución geográfica de los puntos de muestreo	70

Lista de anexos

Anexo 1. Censo de aprovechamientos con concentraciones de Arsénico reportadas en agua subterránea del estado de San Luis Potosí	112
Anexo 2. Localización y parámetros hidrodinámicos de las muestras colectadas en las campañas de muestreo	122
Anexo 3. Resultado de los parámetros <i>in situ</i> de las muestras colectadas en las campañas de muestreo	123
Anexo 4. Resultados del análisis en laboratorio de las muestras colectadas en las campañas de muestreo	125
Anexo 5. Constancia de premiación VIII Congreso Interdisciplinario de Posgrado con el trabajo “Implementación de tecnología verde subterránea como método de remoción de Arsénico en agua”	126

Abreviaturas

As	Arsénico
ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
LOAEL	Lowest Observed Adverse Effect Level
NOAEL	No Observed Adverse Effect Level
NOM	Norma Oficial Mexicana
OMS	Organización Mundial de la Salud
RENAMECA	Red Nacional de Medición de Calidad del Agua
RfD	Reference Dose
SART	Subterranean Arsenic Removal Technology
US EPA	United States Environmental Protection Agency
WOE	Weight of Evidence

Resumen

El arsénico (As) es uno de los contaminantes más tóxicos en el agua. Las afectaciones al cuerpo humano por consumo de agua contaminada son principalmente de tipo crónico. Dichas afectaciones van desde lesiones cutáneas hasta distintos tipos de cáncer. El límite máximo permisible de As en agua potable definido por la normativa nacional es de 0.025 mg/L mientras que el valor guía de la OMS es de 0.010 mg/L. En el estado de San Luis Potosí se han documentado concentraciones de hasta 91.51 mg/L en agua subterránea para las que es altamente deseable el establecimiento de técnicas efectivas y asequibles para su remoción. Los objetivos de esta investigación fueron: *i.* caracterizar la problemática de As en agua para el estado de San Luis Potosí desde un enfoque multisectorial, *ii.* estimar el riesgo a la salud por exposición a As en una comunidad prioritaria de remediar, *iii.* formular criterios para el análisis de viabilidad dentro del marco de la innovación social, *iv.* diseñar un instrumento para medir la percepción de riesgo y *v.* precisar las bases para el diseño del primer prototipo de tecnología verde Subterranean Arsenic Removal Technology (SART) en México. Para ello, se delimitó el estado del arte del As en el estado, se censaron los pozos con antecedentes de contaminación y se elaboró un mapa hidrogeoquímico en el programa ArcMap 10.3. Se recolectaron 11 muestras de agua y se determinó la concentración de As por espectrometría de plasma de acoplamiento inductivo óptico (ICP-OES). Se estimó el riesgo a la salud con el método de cuatro pasos de la US EPA (1998). Se construyó una rúbrica para la selección del sitio a remediar considerando los criterios: características biohidrogeoquímicas, facilidades de instalación y acceso, número de personas beneficiadas, apremio por resolver la problemática, disponibilidad de los actores relevantes y tomadores de decisiones, así como el entorno social y económico. Finalmente, se diseñó un cuestionario para el estudio de percepción de riesgo a partir de las variables: preocupación emocional, conocimiento real, conocimiento autoestimado, deseo de más información, heurísticas reductoras de disonancia, pensamientos acerca de la sustentabilidad, medidas de riesgo, necesidad de descontaminación y variables de control. Basado en los resultados obtenidos se concluyó que al menos el 34.48% de los municipios

en el estado tiene un aprovechamiento con As por encima de la normativa nacional y el valor guía de la OMS. Asimismo, se generaron las bases científicas que soportan la necesidad de implementar un prototipo de tecnología SART en El Salitral, S.L.P., debido a que el riesgo a la salud estimado con efectos de tipo canceroso para un escenario de análisis donde se asume toda el agua ingerida está contaminada con As es de hasta tres órdenes de magnitud mayor al límite máximo de riesgo aceptable según la US EPA (2004). Por último, este trabajo ratifica los beneficios del trabajo colaborativo para la solución de problemas ambientales, conjugando el quehacer científico, tecnológico, social y gubernamental para el logro de objetivos.

Palabras clave: Innovación social, Tratamiento libre de químicos, Agua subterránea, Evaluación de riesgo, Percepción de riesgo.

Abstract

Arsenic (As) is one of the most toxic pollutants in water. The effects on the human body due to the consumption of contaminated water are mainly chronic. These affectations range from skin lesions to different types of cancer. The maximum permissible limit of As in drinking water defined by national regulations is 0.025 mg / L while the WHO guide value is 0.010 mg / L. In the state of San Luis Potosí, concentrations of up to 91.51 mg / L in groundwater have been documented, as well as the lack of effective and affordable techniques for removal. The objectives of this research were: i. characterize the problem of As in water for the state of San Luis Potosí from a multisectoral approach, ii. estimate the health risk from exposure to As, iii. formulate criteria for the feasibility analysis within the framework of social innovation, iv. design an instrument to measure risk perception and v. specify the basis for the design of the first green technology prototype Subterranean Arsenic Removal Technology (SART) in Mexico. To do this, the state of the art of As in the state was delimited, wells with a history of contamination were registered and hydrogeochemically mapped with ArcMap 10.3 program. 11 water samples were collected and the As concentration was determined by optical inductively coupled plasma spectrometry (ICP-OES). The health risk was estimated with the four-step method of the US EPA (1998). A rubric was built for the selection of the site to be remedied considering the criteria: biohydrogeochemical characteristics, installation and access facilities, number of people benefited, urgency to solve the problem, availability of relevant actors and decision makers, as well as the social and economic environment. Finally, a questionnaire was designed to study risk perception based on the variables: emotional concern, actual knowledge, self-estimated knowledge, desire for further information, dissonance-reducing heuristics, thoughts about sustainability, risk measures, need for decontamination and control variables. Based on the results obtained, it was concluded that at least 34.48% of the municipalities in the state have a use with As above the national regulations and the WHO guide value. The scientific bases were generated that support the need to implement a prototype of SART in El Salitral due to the fact that the estimated health risk with cancerous effects for an analysis scenario where all ingested water is assumed to be

contaminated with As is up to three orders of magnitude greater than the maximum acceptable risk limit according to the US EPA (2004). Finally, this work confirms the benefits of collaborative work for the solution of environmental problems, combining scientific, technological, social and governmental work to achieve objectives.

Keywords: Social innovation, Chemical free treatment, Groundwater, Risk assessment, Risk perception.

Introducción

1.1. El Arsénico

El arsénico (As) es uno de los metaloides más tóxicos presentes en agua potable, derivado de fuentes antropogénicas y/o geogénicas (Baig et al., 2009). Alrededor de un tercio del As presente en el planeta es de origen natural, derivado de procesos químicos naturales entre la litósfera, hidrósfera y atmósfera, actividad biológica o emisiones volcánicas. Mientras que los otros dos tercios derivan de una amplia gama de actividades humanas como la minería y la fundición de metales, la combustión de materiales fósiles y el uso de pesticidas (Alam et al., 2014; Campos et al., 2007; Pérez Moreno, 2004). El As puede entrar en el agua, el suelo y el aire como resultado de tormentas de polvo y la escorrentía de flujos de agua, en consecuencia, la contaminación por dicho metaloide es muy extendida debido a su fácil dispersión (Emsley, 2001; Gillispie et al., 2015).

El As posee varias especies químicas que difieren no sólo en sus propiedades físicas, químicas y biológicas, sino que también tienen diferentes toxicidades (Tabla 1) (ATSDR, 2007; Devesa et al., 2008).

Tabla 1. Compuestos de arsénico y sus fórmulas químicas (Barton et al. 2010 y Rodarte Gómez, 2017).

	Nombre del compuesto	Estado de oxidación	Fórmula química
Inorgánicos	Arseniuro	-III	AsH ₃
	Arsénico elemental	0	As
	Arsenito	+III	As(OH) ₃
	Arseniato	+V	AsO ₄ H ₃
Orgánicos	Metilarsina	+III	CH ₃ AsH ₂
	Dimetilarsina	+III	(CH ₃) ₂ AsH
	Trimetilarsina	+III	(CH ₃) ₃ As
	Ácido Metilarsónico	+V	CH ₃ AsO(OH) ₂

	Ácido Dimetilarsónico	+V	$(\text{CH}_3)_2\text{AsO}(\text{OH})$
--	-----------------------	----	--

Se sabe que tanto las especies orgánicas como las inorgánicas del arsénico son de naturaleza tóxica (WHO, 2003). Sin embargo, la toxicidad de las distintas especies puede variar notablemente. En general, dichos compuestos se pueden ordenar de los más tóxicos a los menos tóxicos de la siguiente forma: Compuestos inorgánicos trivalentes > Compuestos orgánicos trivalentes > Compuestos inorgánicos pentavalentes > Compuestos orgánicos pentavalentes > Arsénico elemental (ATSDR, 2007). Por consiguiente, las especies inorgánicas se consideran más tóxicas que las especies orgánicas (Gorby, 1988; Lim et al., 2007).

Pese a que las especies orgánicas del As se consideran menos tóxicas que las especies inorgánicas, son objeto de preocupación debido a que algunos de sus derivados contienen grupos metilo o fenilo y al ser compuestos utilizados con frecuencia en la agricultura podrían ocasionar problemas de salud en animales expuestos por ingesta involuntaria (ATSDR, 2007; Gorby, 1988; Lim et al., 2007).

En ambientes altamente reductores el arsénico se encuentra como arsénico elemental o gas arsina. En condiciones moderadamente reductoras se encuentra mayormente presente como arsenitos, mientras que en condiciones oxidantes se encuentra mayormente como arseniatos, y que a su vez, son la especie con el estado de oxidación más estable del arsénico (Pérez Moreno, 2004).

El estado de oxidación y la movilidad del arsénico en el ambiente son fundamentalmente controlados por las condiciones redox determinadas por el potencial redox y el potencial de oxidación, así como el pH del sistema (Pérez Moreno, 2004). A continuación se muestra el Diagrama de Pourbaix del Arsénico (Figura 1) en el cual se aprecian las principales especies del arsénico a diferentes valores de potencial redox y pH.

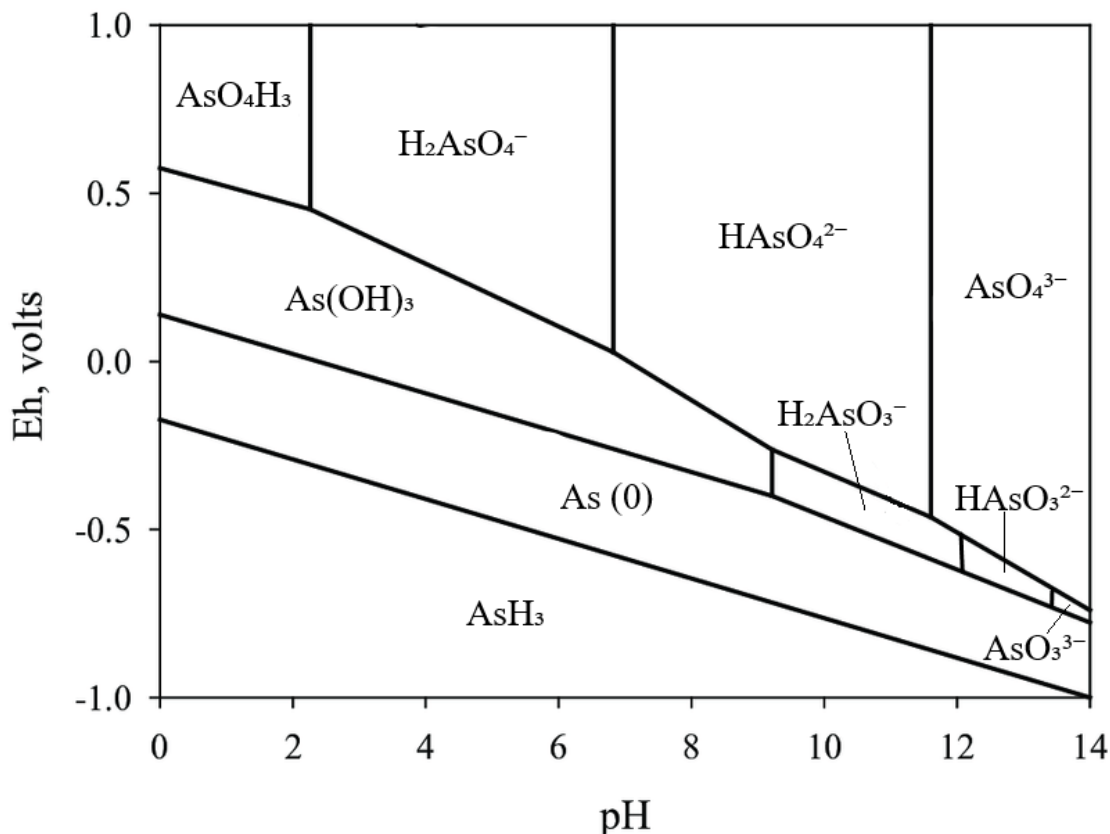


Figura 1. Diagrama de Pourbaix de As en medio acuoso en un sistema As–O₂–H₂O a 25°C y 1 bar de presión con valores generalizados de equilibrio, potenciales y constantes de disociación a fuerza iónica de cero (Burriel et al., 1994; Ringbom, 1979; Rojas Hernández, 1995; Smedley y Kinniburgh, 2002).

El AsH₃ se encuentra principalmente en ambientes altamente reducidos y el As elemental muy rara vez se observa en la naturaleza. Mientras que el As(OH)₃ y el AsO₄H₃ son las dos principales formas inorgánicas de arsénico que se encuentran en el medio ambiente (Barton et al., 2010). Por lo tanto, es de esperarse que, en cuerpos de agua, el As se encuentre como especie disuelta (Figura 1). Generalmente, como especies de oxianiones con estados de oxidación As(OH)₃ y AsO₄H₃ (Smedley y Kinniburgh, 2002). En un medio oxidante, el AsO₄H₃ es generalmente la forma dominante de arsénico (Figura 1). Este arsénico pentavalente se encuentra en valores de pH por debajo de 2 ya que en valores de pH mayores a 2 se disocia en H₂AsO₄⁻, luego a HAsO₄²⁻ y posteriormente en AsO₄³⁻ (Figura 1). Mientras que en un medio reducido y a valores de pH menores a 9, la forma dominante del arsénico será As(OH)₃ y se disociará en H₂AsO₃⁻, luego en HAsO₃²⁻ y posteriormente a

AsO_3^{3-} en valores de pH por encima de 9, respectivamente (Figura 1) (Brookins, 1988; Nazari et al., 2016 y Yan et al., 2000).

En general, en agua superficial los arseniatos tiende a predominar por sobre los arsenitos, ya que se trata de aguas más oxigenadas en comparación con el agua subterránea. Sin embargo, en el agua subterránea no siempre es así y el As se puede encontrar en ambas especies. Las concentraciones y proporciones de dichas especies están en función de la entrada de arsénico al sistema, de las condiciones redox y también de la actividad biológica; y aunque tanto los arseniatos como los arsenitos son móviles en el medio se sabe que los arsenitos son más lábiles y biotóxicos (Lillo, 2007).

Las especies orgánicas del arsénico se encuentran habitualmente en menor proporción que las especies inorgánicas, sin embargo, pueden incrementar su proporción derivado de las reacciones de metilación catalizadas, resultado de la actividad microbiana efectuada por bacterias o algas (Hasegawa, 1999).

En cuanto a la presencia de As en aguas subterráneas, los valores reportados en la literatura para aguas en condiciones naturales se encuentran en amplio rango entre <0.0005 y 5 mg/L (Smedley y Kinniburgh, 2002), en donde las altas concentraciones no se remiten a ciertas condiciones o entornos ya que también han sido identificadas en acuíferos con condiciones oxidantes y con un valor alto de pH, en acuíferos con condiciones reductoras, en acuíferos con circulación geotermal, en acuíferos afectados por actividades mineras o asociados a depósitos minerales y en acuíferos ligados a otros procesos antropogénicos como actividad industrial, asentamientos urbanos, actividad agropecuaria, entre otros (Lillo, 2007). No obstante, la mayoría de los acuíferos con altas concentraciones de As están asociados a un origen natural y donde la contaminación suele afectar grandes áreas. En contraste, la contaminación antropogénica suele generar un tipo de contaminación más local (Lillo, 2007).

En ese sentido, la mayoría de los sitios alrededor del mundo con problemas de altas concentraciones de As en agua están relacionados al entorno natural del acuífero, todos

ellos con ambientes geológicos diferentes entre sí, por ejemplo, asociada a metasedimentos con filones mineralizados, con formaciones volcánicas o formaciones volcano-sedimentarias, también con distritos mineros o sistemas hidrotermales actuales, así como cuencas aluviales terciarias y cuaternarias, entre otros (Boyle et al, 1998; British Geological Survey y Department of Public Health Engineering, 2001; Smedley y Kinniburgh, 2002).

Lo que demuestra que no siempre existe una relación directa entre la presencia de altas concentraciones de As en agua y el alto contenido de As en los materiales geológicos que constituyen el acuífero y por lo cual, no existe un modelo geológico/hidrogeológico genérico para estudiar la presencia de As en agua. Como resultado, la contaminación de agua con As se encuentra en ambientes muy variados, tanto en condiciones reductoras como en condiciones oxidantes, tanto en zonas áridas como en zonas húmedas o tanto en acuíferos superficiales libres como en acuíferos confinados profundos. Esta variedad de ambientes está definida por la particularidad de las circunstancias y procesos que tienen lugar en cada uno de los sitios, resultado de las condiciones hidrogeológicas y el ambiente geoquímico específico para cada caso (Lillo, 2007).

Derivado de la amplia presencia de As en aguas subterráneas alrededor del mundo en concentraciones altas, este metaloide ocupa el primer lugar en la lista de contaminantes en el agua de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA, por sus siglas en inglés), por lo que en 2006 se redujo el límite máximo permisible de As en agua potable de 0.050 mg/L a 0.010 mg/L en Estados Unidos (WHO, 2003; US EPA, 2018). Por consiguiente, la presencia de As en agua subterránea en concentraciones mayores a los límites máximos permisibles es una grave amenaza para las poblaciones expuestas al incorporarse con gran facilidad a la cadena alimenticia y favoreciendo así su distribución en todo el reino animal y vegetal (Mandal y Suzuki, 2002; Rakib y Bhuiyan, 2014).

Asimismo, la Organización Mundial de la Salud (OMS) considera altamente perjudicial el consumo de agua con concentraciones de As mayores a 0.010 mg/L debido a su toxicidad; por tanto, sugiere el constante monitoreo de agua para consumo a fin de evitar la exposición

a este contaminante (WHO, 2003), ya que la mayoría de los compuestos de As son inodoros, insípidos y fácilmente solubles en agua, lo que hace que el envenenamiento crónico con As sea mucho más insidioso que el envenenamiento agudo (Hu et al., 2019).

La ingesta de agua contaminada con As puede causar problemas graves de salud como: melanosis, hiperqueratosis, gangrena, enfermedad pulmonar, hipertensión, enfermedades arteriales, lesiones cutáneas en pies y manos, así como cáncer de pulmones y piel, en donde éste último puede incrementar aunado a otros factores como el tabaquismo y el entorno de exposición (Fatmi et al., 2009; Fu et al., 2003; IARC, 2004; Josef et al., 2007; Rahman et al., 2008).

Por tales motivos, es indispensable priorizar el problema del As en agua dentro de la ciencia, la investigación y la tecnología de innovación, así como en el ámbito de la administración pública a fin de reducir el nivel de riesgo de la población y evitar afectaciones de salud a mediano y largo plazo. De allí que los estudios de riesgo se vuelven un análisis fundamental, ya que determinan el nivel de riesgo que tienen las personas de desarrollar algún padecimiento en el futuro, asociado a la exposición de As, en donde se cuantifica el impacto potencial del uso de agua contaminada basados en estudios de calidad del agua, tomando como referencia estándares nacionales o internacionales y puntos de referencia de riesgo para la salud (Li y Qian, 2011).

Por ejemplo, la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (US EPA) desarrolló una Guía de Evaluación de Riesgos para caracterizar la naturaleza y la magnitud de los riesgos para la salud humana, en donde el estudio se enfoca en personas residentes, trabajadores o visitantes recreativos, pero también en los diferentes receptores ecológicos como las aves, los peces y la vida silvestre en general, expuestos a contaminantes químicos y otros factores estresantes que pueden estar presentes en el ambiente (US EPA, 2001).

Estos estudios se dividen en dos grandes áreas: estudios de riesgo de impacto en la salud humana y estudios de riesgo de impacto en la ecología. Para ambos casos, la primera etapa consiste en una fase de planificación y evaluación del alcance de la evaluación de riesgo, en

donde se decide el propósito y el proceso de evaluación, mediante la elaboración de juicios tempranos con respecto a los objetivos, el alcance y los enfoques técnicos que se utilizarán.

Para evaluar el riesgo a la salud humana por consumo de As en agua para bebida se llevan a cabo las siguientes etapas (US EPA, 2001):

Paso 1: Identificación de peligros.

En este paso el principal objetivo es determinar qué problemas de salud son causados por contaminantes tóxicos específicos. La comunidad científica suele realizar la identificación de peligros mediante la evaluación de toda la información disponible sobre los efectos de un contaminante tóxico. Cuanto mejor sea la evidencia existe mayor certeza de que un contaminante tóxico genera ciertos problemas de salud. La evidencia para los seres humanos a menudo se recopila mediante estudios estadísticos sobre el número de casos de una enfermedad en particular o una enfermedad que ocurre en ciertos grupos de personas aunque ciertamente la información humana es muy limitada para la mayoría de los contaminantes tóxicos. Para esta investigación se revisó la información publicada en el Sistema Integrado de Información de Riesgos (IRIS, por sus siglas en inglés) de la US EPA (US EPA, 2019) que incluye los efectos en la salud derivados de la exposición a As por cualquier ruta de exposición, evaluando el *peso de la evidencia* (WOE, por sus siglas en inglés) definido por la US EPA como el proceso de hacer inferencias a partir de múltiples evidencias y el grado relativo de apoyo a una conclusión proporcionado por la evidencia (OECD, 2019).

Por ello, es fundamental identificar la categoría en la que se encuentra el contaminante a analizar (Tabla 2), de manera que, el análisis del peso de la evidencia (WOE) soporte la relación de las sustancias químicas con el riesgo carcinogénico (US EPA, 1996).

Tabla 2. Categorías a nivel de riesgo de cáncer (US EPA, 1996).

Categoría	Descripción
A. Carcinógenos en humanos.	Dentro de esta categoría se consideran todos los contaminantes para los que existen suficientes pruebas, resultado de diversos estudios epidemiológicos que comprueban una asociación causal entre la exposición a estos agentes contaminantes y diferentes tipos de cáncer.
B. Probable carcinógeno en humanos.	B1. Incluye aquellos contaminantes para los cuales existen estudios epidemiológicos limitados que indiquen una interpretación causal probable de efectos carcinogénicos, donde además, existen explicaciones alternativas como el azar, sesgo o confusión. Incluye también aquellos contaminantes para los que existen pruebas suficientes de carcinogenicidad a partir de estudios en animales y que indiquen la existencia de un incremento en la incidencia de tumores malignos, o combinación de tumores malignos y benignos en distintas especies o cepas, en distintos experimentos o en un grado poco habitual pero con una elevada incidencia, con un tipo de tumor inusual o en sitios poco frecuentes. Por último, incluye aquellos casos donde la información sobre efectos dosis-respuesta y los ensayos a corto plazo o de estructura química aportan pruebas adicionales.
	B2. Incluye aquellos contaminantes para los que existen pruebas suficientes a partir de estudios en animales pero carece de información o pruebas adecuadas en estudios epidemiológicos.
C. Posibles carcinógenos humanos.	En esta categoría se incluyen aquellos contaminantes para los que existen evidencias limitadas de carcinogenicidad en animales y carecen de información en humanos. Aunque considera una amplia variedad de evidencia, por ejemplo, un tumor maligno en un único experimento bien dirigido pero que no reúne las condiciones necesarias para ser considerado como evidencia suficiente. Otro ejemplo es que las respuestas tumorales son estadísticamente insignificantes, a partir de estudios que tienen un diseño o información inadecuados. También la identificación de tumores benignos, pero no malignos, con un agente que no muestra respuesta en distintos ensayos de mutagenicidad a corto plazo; y respuestas de muy baja representatividad estadística en un tejido con una elevada o variable tasa basal.
D. No clasificable como carcinógeno humano.	Dentro de esta categoría se consideran los contaminantes con pruebas inadecuadas de carcinogenicidad en humanos y animales, o para los que no hay información disponible.

E. Pruebas de carcinogenicidad humanos. no para	En esta categoría se consideran todos los contaminantes para los que no existe evidencia de carcinogenicidad en, al menos, dos ensayos adecuados en animales de distintas especies o en estudios epidemiológicos.
---	---

De este modo, basado en evidencia suficiente de datos humanos se observa un aumento de la mortalidad por cáncer de pulmón en varias poblaciones humanas expuestas a As principalmente por inhalación (US EPA, 1996). Además, se observó un aumento de la mortalidad por múltiples cánceres de órganos internos (hígado, riñón, pulmón y vejiga) y una mayor incidencia de cáncer de piel en poblaciones que consumían agua potable con altas concentraciones de As inorgánico, y por lo cual, es considerado dentro de la categoría A como carcinogénico para los humanos (US EPA, 1996).

Paso 2: Evaluación de exposición.

El As es considerada por la OMS como una de las diez sustancias químicas que considera más preocupantes para la salud pública (OMS, 2018). Por ello, algunas de las acciones que la Organización ha puesto en marcha para reducir la exposición al As en agua incluyen: i) establecer valores guía, ii) examinar continuamente los datos científicos disponibles y iii) articular algunas recomendaciones para la gestión de los riesgos. Como se mencionó anteriormente, la OMS ha definido un valor guía de 0.010 mg/L para el As en agua para consumo, publicado en las guías para la calidad del agua potable y cuyo principal propósito es fungir como base para la reglamentación y estandarización en las distintas comunidades afectadas alrededor del mundo (OMS, 2018).

Dentro de este marco, la US EPA ha documentado las afectaciones a la salud en relación a distintos niveles de exposición como hiperpigmentación, keratosis y posibles complicaciones vasculares tanto en el sistema dérmico como en el sistema cardiovascular (US EPA, 1996). Por consiguiente, ha definido una dosis de referencia oral (RfD) equivalente a 0.03×10^{-2} (mg/kg)/día, basado en el supuesto de que existen umbrales para

ciertos efectos tóxicos a partir de la exposición a As inorgánico. En general, el RfD es una estimación de la exposición diaria de la población humana, con una incertidumbre que abarca quizás un orden de magnitud en donde probablemente no exista un riesgo apreciable de efectos nocivos durante la vida, y por lo cual, también se denomina dosis de seguridad (US EPA, 1996).

Adicionalmente, la US EPA definió otros valores de referencia que permiten identificar los efectos de la exposición a concentraciones más altas. En primera instancia, la dosis máxima en la que no se observan efectos adversos (NOAEL, por sus siglas en inglés, no observed adverse effect level), equivalente a 0.08×10^{-2} (mg/kg)/día y por otro lado la dosis mínima en la que ya se muestran efectos adversos (LOAEL, por sus siglas en inglés, lowest observed adverse effect level) con 1.4×10^{-2} (mg/kg)/día (US EPA, 1996).

La evaluación de la exposición es el segundo paso de la evaluación de riesgos y se utiliza para determinar a qué cantidad de un contaminante tóxico están expuestas las personas y / o cuántas personas están expuestas. La exposición a contaminantes tóxicos se produce principalmente a través de tres vías de exposición, a continuación se enuncian junto con algunos ejemplos:

1. Ingesta: Comer alimentos contaminados, comer suelo contaminado y/o beber agua contaminada;
2. Inhalación: Respirar aire contaminado, respirar polvo contaminado con una sustancia tóxica y/o ducharse con agua contaminada;
3. Absorción: Contacto de la piel con suelo contaminado y/o ducharse con agua contaminada.

La exposición se investiga tomando muestras de aire, agua o suelo y analizandolas en el campo o en laboratorios. Por lo tanto, los resultados indican las concentraciones de contaminantes tóxicos presentes en un lugar específico. También se evalúan las vías de exposición, evaluando cómo llegan los contaminantes a las personas. En el caso de contaminantes en el suelo también es necesario analizar si el uso actual y futuro de la tierra

son factores clave para evaluar las vías de exposición, si el terreno se está utilizando para fines industriales, comerciales o residenciales, considerando a su vez los probables usos futuros de la tierra (US EPA, 1996).

Por otro lado, cuando se trata de agua (subterránea o superficial) es fundamental analizar si se utiliza como fuente de agua potable. Finalmente, cuando se trata de aire se debe evaluar si se están liberando contaminantes al aire en concentraciones peligrosamente altas en este sitio y también si se están acumulando contaminantes del aire en las edificaciones del sitio afectado. Visto de esta manera, este trabajo se enfocó en el agua como objeto de estudio y considerando la ingesta oral como ruta de exposición (US EPA, 1996).

Paso 3: Evaluación de la dosis-respuesta.

El tercer paso de la evaluación del riesgo es la evaluación dosis-respuesta. Esta es la evaluación de la relación entre la cantidad de exposición a una sustancia tóxica y la extensión de la lesión o enfermedad causada. En la evaluación de dosis-respuesta, la *dosis* es la cantidad de exposición al contaminante tóxico y la *respuesta* es la reacción al contaminante tóxico.

Se puede realizar de tres formas, la primera a través del factor de pendiente, mediante el resultado de un procedimiento de extrapolación de dosis baja y presentándose como el riesgo por (mg/kg)/día. La segunda forma es el riesgo unitario, mediante la estimación cuantitativa en términos de riesgo por $\mu\text{g/L}$ de agua contaminada ingerida o $\mu\text{g}/\text{cu.m}$ de aire contaminado respirado. Por último, la tercera forma en la que se presenta el riesgo es beber agua o respirar aire con altas concentraciones que proporciona riesgos de cáncer de 1 en 10,000, 1 en 100,000 o 1 en 1.000.000 (US EPA, 1996).

Las estimaciones de dosis-respuesta para los seres humanos se calculan basándose en estudios y evidencia en animales. Cuando falta información sobre la respuesta a la dosis o hay brechas sustanciales, la US EPA utiliza algunas suposiciones destinadas a proteger la

salud humana. A continuación se enumeran las suposiciones más comunes para determinar el riesgo carcinogénico (US EPA, 2001):

1. Si un químico causa cáncer en personas que están expuestas bajo ciertas condiciones, como el trabajo, también causa cáncer en otras personas si se exponen al químico;
2. Si una sustancia química causa cáncer en los animales también puede causar cáncer en las personas;
3. Se supone que una dosis alta de una sustancia química recibida durante un período corto de tiempo es equivalente a una dosis baja distribuida durante toda la vida;
4. También se supone que no existen exposiciones que tengan cero nivel de riesgo, ya que incluso una exposición muy baja a un contaminante que causa cáncer podría incrementar el riesgo de padecerlo;
5. Asimismo, se asume que la relación entre dosis y respuesta es proporcional, así pues cada que aumenta una unidad en la exposición (dosis) existe un aumento en la respuesta al cáncer.

Por otro lado, también se hacen suposiciones por defecto para la cantidad de exposición a sustancias químicas. Por ejemplo, al estudiar los contaminantes del agua potable, la suposición predeterminada es que la ingesta de un adulto es de 2 litros de agua potable por día durante 350 días al año durante 30 años (US EPA, 2001).

La recopilación de datos de salud, la realización de estudios en animales y la formulación de suposiciones han permitido a la comunidad científica desarrollar relaciones dosis-respuesta. En el caso del cáncer, esta relación se expresa a menudo como un mayor riesgo de por vida utilizando expresiones como 1 de cada 10,000 personas (US EPA, 2001).

La relación dosis-respuesta para los efectos no cancerosos se calcula de manera diferente que para los efectos del cáncer. Para efectos no cancerígenos, una dosis muy baja puede no causar daño a la salud humana. Por ello, los valores de umbral se desarrollan para

sustancias químicas, que bien, pueden no causar cáncer o estar mayormente caracterizadas que otras sustancias. Bajo esta lógica, las dosis por debajo del valor umbral se consideran "seguras" y las dosis por encima del valor umbral se consideran perjudiciales (US EPA, 2001).

Paso 4: Caracterización del riesgo.

La información sobre riesgos a la salud puede presentarse de diferentes formas para ilustrar cómo pueden verse afectados las y los individuos o las poblaciones. Las formas en que se puede comunicar el riesgo incluyen las siguientes (US EPA, 2001):

1. Riesgo máximo de cáncer de por vida para un individuo: representado por el cálculo del mayor riesgo de cáncer de por vida para un individuo expuesto a la concentración máxima visualizada a largo plazo.
2. Distribución de riesgos individuales: representado por el número de personas que se estimó en diferentes niveles de riesgo.
3. Riesgo de cáncer en la población: representado por el aumento en la incidencia de cáncer y equivalente al número de nuevos casos de cáncer por año en todas las personas expuestas al contaminante. Por ejemplo, el riesgo de cáncer de la población podría ser el número de casos nuevos de cáncer por año que se esperan entre las personas que habitan dentro de un radio de 30 millas respecto de cierta fuente de contaminación.

De este modo, se realiza un análisis sistemático para la evaluación de la exposición a sustancias contaminantes y contribuyendo al conocimiento de las mismas, ya que, de forma ideal las evaluaciones de riesgos deben realizarse sobre una base de conocimiento sólido, utilizando datos confiables y completos sobre la naturaleza y el alcance de la contaminación, el destino y los procesos de transporte, la magnitud y frecuencia de la exposición humana y ecológica, y la inherente toxicidad de todos los productos químicos (US EPA, 2001).

Sin embargo, en la realidad, la información disponible es generalmente limitada en uno o más de los datos clave necesarios para los cálculos de evaluación de riesgos. Por tales motivos, los evaluadores de riesgo a menudo se ven en la necesidad de hacer estimaciones y hacer uso de su juicio de expertos en la realización de los cálculos de riesgo, en donde consecuentemente se genera cierto grado de incertidumbre en los cálculos de las estimaciones. Por esta razón, toda buena evaluación de riesgo debe hacer una presentación justa y abierta de las incertidumbres en los cálculos y una caracterización de cuán confiables o poco confiables son realmente las estimaciones de riesgo resultantes (US EPA, 2001).

Así pues, la realización de estudios de estimación de riesgo en la salud humana es un proceso fundamental para cuantificar la naturaleza y la probabilidad de ocurrencia de efectos adversos en la salud, ahora o en el futuro, de las personas expuestas a contaminantes en el medio ambiente. Además, proporciona información importante dentro del ámbito de la salud pública para tomar decisiones que permitan coadyuvar a mejorar la calidad de vida de las personas expuestas a estos contaminantes a través de soluciones integrales que resuelvan una problemática ambiental y de salud, y que, posiblemente también impacten positivamente en otros aspectos menos evidentes de las poblaciones afectadas.

Para este último paso, en nuestra investigación realizamos un compendio de toda la información obtenida y generada en los pasos anteriores de modo que se pudieran justificar el apremio por resolver el problema de contaminación de As en agua para consumo con base en el grado de exposición estimado para los pobladores de El Salitral.

1.2. El Arsénico en el agua

En todo el mundo

La presencia de As en el agua potable se ha reportado durante décadas en regiones donde figura como un contaminante preocupante, de hecho, se estima que más de 300 millones de personas en 105 países tienen un riesgo crónico de beber agua con concentraciones de As superiores al valor guía definido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 0.010 mg/L (Jiménez-Córdova et al., 2019; Limón-Pacheco et al., 2018; Shakoor et al., 2017).

Las concentraciones más altas se han reportado en países como India (Bengala Occidental), Bangladesh, Nepal, Pakistán, China, Taiwán, Japón, Camboya, Vietnam, Australia, Hungría y Rumania así como en las en las regiones áridas y semiáridas de los Estados Unidos, México, Bolivia, Nicaragua, El Salvador, Perú, Chile y Argentina (Chakraborti et al., 2016; Kimambo et al., 2019; Kumar et al., 2016; Shakoor et al., 2017).

En México

En lo que a México respecta, se estima que al menos 1.5 millones de personas consumen agua con concentraciones de As por encima del límite máximo permisible nacional estipulado en la NOM-127-SSA1-1994 de 0.025 mg/L (Ravenscroft et al., 2009), y que, alrededor de 150 mil personas están expuestas a concentraciones mucho más altas, de entre 0.075 a 0.530 mg/L (Alfaro de la Torre et al., 2018).

Por esa razón, la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad de las Aguas Nacionales (RENAMECA) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) ha monitoreado la concentración de As y otros elementos en el agua desde el año 2015. Hasta ahora, son 5,000 los sitios censados y los resultados están disponibles en una base de datos digital abierta al público (RENAMECA, 2017). Otro de los esfuerzos de la CONAGUA incluye el monitoreo de 3,951 sitios muestreados entre Enero y Diciembre del 2017 a lo largo de todo

el país, cuya base concentra 14,058 datos (CONAGUA, 2017). De acuerdo a estos datos, el 83.8% del total de sitios monitoreados presenta concentraciones de As por debajo del límite máximo permisible (0.010 mg/L) establecido por la Organización Mundial de Salud (OMS), mientras que el 16.1% del total de sitios estudiados arrojaron concentraciones de As por encima de dicho límite. De los contaminados, el 51% (326 sitios) corresponde a agua subterránea, el 28% (179 sitios) a ríos y el 21% (134 sitios) a cuerpos de agua superficial (Alarcón-Herrera et al., 2020; CONAGUA, 2017).

En México, las principales zonas con problemas de As en agua son: La Comarca Lagunera en Coahuila y Durango; las regiones Jiménez-Camargo, Meoqui-Delicias y Valle de Juárez en Chihuahua; Caborca y Magdalena en Sonora; Cuenca de Río Verde en Jalisco y Valle de Guadiana en Durango, tratándose de contaminación natural. Por otro lado, también existen sitios con contaminación de tipo antropogénica como Zimapán en Hidalgo; Carrizal y Los Planes en Baja California Sur; Villa de la Paz, Matehuala y San Luis Potosí en San Luis Potosí; Distrito Minero de Guanajuato en Guanajuato; y por último algunos sitios más asociados a actividad geotérmica que son Los Azufres en Michoacán y Los Humeros en Puebla (Arreguín et al., 2012). A continuación se presentan las concentraciones reportadas para estos sitios.

La Comarca Lagunera en Coahuila y Durango es la región más estudiada en cuanto a As se refiere y la primera en reportar problemas de salud asociados a la exposición de As en agua con concentraciones de 0.003 a 0.865 mg/L (CONAGUA, 2000; CONAGUA e IMTA, 1992; Del Razo et al., 1990; Del Razo et al., 1993; Rosas et al., 1999).

Por otro lado, en el estado de Chihuahua se han reportado concentraciones que varían entre 0.002 a 0.225 mg/L, donde también se han analizado muestras de aguas profundas (a 250 metros) las cuales presentan concentraciones entre 0.005 y 0.650 mg/L (CONAGUA y JMAS-JUÁREZ, 2000).

En lo que concierne al estado de Sonora, se han reportado altas concentraciones de As en agua subterránea de al menos 29 ciudades, en un rango de 0.002 a 0.305 mg/L (Wyatt et al., 1998). Otro sitio reportado con problemas de As es la Cuenca de Río Verde en el estado de Jalisco, en donde las concentraciones reportadas (0.006 a 0.030 mg/L) son menores a los sitios mencionados arriba pero se encuentran por encima del valor guía definido por la OMS y del límite máximo permisible nacional (CONAGUA y SEMARNAT, 2014). Altas concentraciones de As en agua, en un rango de 0.005 a 0.24 mg/L, se han reportado también en el acuífero de Valle de Guadiana, en el estado de Durango, mismo que abastece de agua potable a la ciudad de Durango (CONAGUA, 2005).

Existen otros sitios en donde las altas concentraciones de As en agua han sido asociadas a la actividad minera histórica de esas regiones. Tal es el caso de Zimapán en Hidalgo, en donde los habitantes de la región han sufrido afectaciones a la salud derivados de la exposición a As por su alta concentración en agua, con valores de 0.014 a 1 mg/L, y donde los valores más altos corresponden a pozos profundos como el Pozo IV por contener niveles de hasta 1.5 mg/L así como a algunas norias donde la concentración es de hasta 0.437 mg/L (Armienta et al., 1997; Armienta et al., 2001, Pérez Moreno et. al., 2003).

Dentro de este tipo de sitios también se encuentra Baja California Sur, en lo que concierne al distrito minero aurífero de San Antonio–El Triunfo, específicamente a las zonas Los Planes y El Carrizal donde se han reportado concentraciones de As en agua subterránea de hasta 0.410 mg/L (Carrillo-Chávez et al., 2000).

Entre este tipo de sitios también se encuentra San Luis Potosí, específicamente los municipios de Villa de la Paz y Matehuala, en donde se ha explotado un yacimiento de sulfuros polimetálicos por poco más de 200 años y donde la mineralogía del yacimiento está compuesta principalmente por arsenopirita, esfalerita, galena, sulfosales de Cu-Sb, bornita, pirita y calcopirita (Megaw, 1999; SEMIP, 1992).

Como resultado de la actividad minera en este sitio, a la fecha existen varios depósitos de residuos de mina, donde los más antiguos corresponden a depósitos de estériles de mina o terreros, los cuales presentan evidencia de una avanzada oxidación de los minerales sulfurosos presentes, mientras que los residuos más recientes corresponden a terreros y depósitos de jales (Briones Gallardo y Razo Soto, 2008).

Por ejemplo, para el acuífero somero de Matehuala y Cerrito Blanco se han reportado concentraciones de hasta 158 mg/L de As (Hernández Bárcenas et al., 2017; Martínez Villegas et al., 2013), donde el agua fluye de oeste a este a través de un acuífero poco profundo, en paleocanales dentro de una transición aluvial-kárstica que favorece la propagación y transporte de As a lo largo de 8 km (Gómez-Hernández et al., 2020).

Adicionalmente, en la ciudad de San Luis Potosí los niveles de As reportados en el agua potable varían entre 0.0002 a 0.013 mg/L, mientras que en las proximidades de la Fundidora de Cu y la Planta de Zn se reportaron concentraciones de hasta 0.021 mg/L (Díaz-Barriga et al., 1993). Otro de los sitios considerados dentro de esta categoría, es el distrito minero de Guanajuato. Allí las concentraciones de As en agua reportadas se encuentran entre 0.002 y 0.010 mg/L (Carrillo-Chávez et al., 2003).

En lo que se refiere a sitios con altas concentraciones de As, asociadas a zonas con actividad geotérmica principalmente distribuidas en la Faja Volcánica Trans-Mexicana (Arreguín, et al., 2012) se encuentran Los Azufres en Michoacán y Los Humeros en Puebla, en donde se detectaron concentraciones de As de hasta 0.80 y 0.736 mg/L, respectivamente (Birkle y Merkel, 2000; González-Partida et al., 2001).

Con este panorama, es evidente la necesidad de desarrollar proyectos que permitan la solución al problema nacional de As en agua, principalmente en los sitios donde dicha agua es la única fuente como agua para bebida y las condiciones socioeconómicas son limitadas.

Salitral de Carrera en Villa de Ramos, San Luis Potosí

La localidad Salitral de Carrera o El Salitral se ubica en el municipio Villa de Ramos, entre las coordenadas longitud -102.084167 y latitud 22.865278 a 2,030 metros sobre el nivel del mar en el estado de San Luis Potosí (Figura 2). Hasta el año 2010 reportaba un grado de marginación alto (CONAPO, 2010) y es una de las localidades priorizadas en cuanto a monitoreo dentro del estado de San Luis Potosí debido a la alta concentración de As en agua subterránea, de hasta 0.195 mg/L (CONAGUA, 2017).

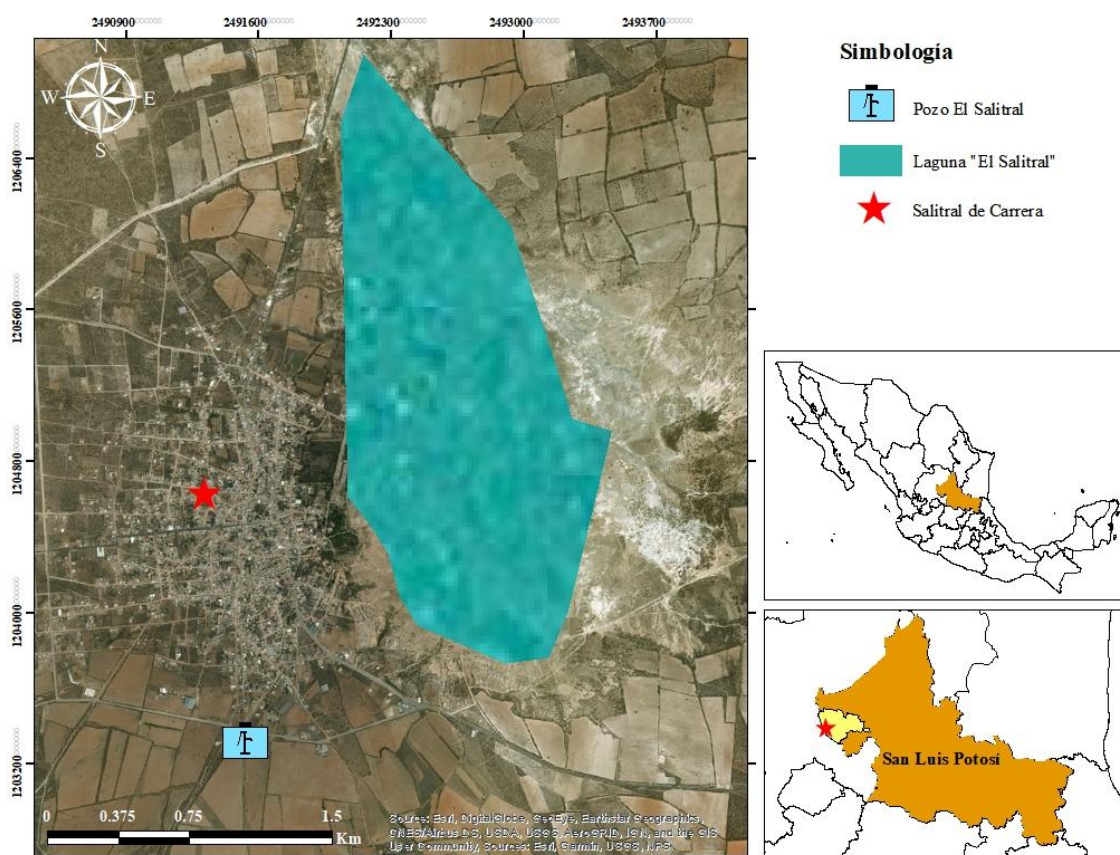


Figura 2. Localización El Salitral en el municipio Villa de Ramos, San Luis Potosí.

Ante esta problemática es importante hacer uso de la ciencia, la tecnología y la innovación para garantizar el derecho universal al acceso de agua segura, sobre todo en sitios como El Salitral donde la marginación figura como una limitante en la búsqueda de soluciones.

Bajo este panorama, proporcionar soluciones asertivas requiere forzosamente de la conformación de grupos de trabajo con actores académicos y no académicos, capaces de construir a un mismo tiempo la concientización social del problema del As en agua, gestando el interés común para solucionarlo y así aportar respuestas de acción multisectorial que logren un bien común y continuamente se evalúen e innoven (Gavito et al., 2017).

1.3. Técnicas convencionales de remoción de Arsénico y tecnologías verdes

Como se mencionó anteriormente, el estado de oxidación del As y su movilidad en fase acuosa están controlados por las condiciones redox y el pH, lo que a su vez determina los procesos de eliminación de As en agua y la eficiencia de los distintos tratamientos de remoción, al depender del estado de oxidación del As. La mayoría de los tratamientos de remoción de As son eficientes cuando el elemento está presente en el agua como As(V), principalmente como H_2AsO_4^- y HAsO_4^{2-} en un rango de pH de 2 a 12. Lo anterior, debido a que cuando el As se encuentra en el agua como As(III) la especie dominante es neutra (H_3AsO_3) en un amplio rango de pH (hasta un pH de 9.2), presentando, por lo tanto, una baja susceptibilidad a ser removida al no poseer carga eléctrica. Por esta razón, la mayoría de los tratamientos para remoción de As utilizan un proceso previo de oxidación y así asegurar la transformación de As(III) en As(V); sobre todo si las concentraciones de As(III) son altas (Litter et al., 2019).

En general, existen tratamientos físicos, químicos, biológicos y combinaciones de ellos para la potabilización de agua para consumo. En el caso particular de la remoción de As de agua subterránea, los tratamientos dependen de procesos fisicoquímicos básicos que pueden aplicarse solos, simultánea o secuencialmente, incluyendo procesos de

oxidación-reducción, coagulación-filtración, precipitación-adsorción, intercambio iónico, tecnologías con membranas, bioremediación, entre otras (Litter et al., 2019).

Todos los tratamientos tienen ventajas, desventajas y limitaciones que definen sus campos de aplicación (Tabla 3). En este apartado, se presentan los tratamientos convencionales más ampliamente utilizados en el mundo y, además, se presenta una novedosa técnica de remoción llamada Subterranean Arsenic Removal Technology (SART, por sus siglas en inglés) como propuesta de tratamiento para el problema de As en agua potable en México. A través del análisis de sus ventajas y desventajas se definirán los casos en los que la técnica SART puede resultar una alternativa exitosa y más asequible para comunidades social y económicamente limitadas.

Tabla 3. Cuadro comparativo de las ventajas y desventajas de los tratamientos de remoción de As más utilizados (Cheng et al., 1994; Elizalde-González et al., 2001; Hering et al. 1996 y 1997; Joshi y Chaudhuri, 1996 ; Litter et al., 2019; Manju et. al., 1998; McNeil y Edwards, 1995 y 1997; Pérez Moreno, 2004; Scott et al., 1995; Sen Gupta et al., 2009).

Tratamiento	Ventajas	Desventajas
Oxidación y Reducción	Técnica sencilla. Bajo costo de instalación. Aplicable a grandes volúmenes de agua.	El As(III) debe oxidarse previamente. Algunos oxidantes producen compuestos tóxicos cancerígenos. Es necesario un tratamiento adicional de extracción.
Coagulación y Filtración	Bajo costo de operación. Requiere reactivos de bajo costo. Aplicable a pequeña, mediana y gran escala. Efectivo cuando el As(V) es el único contaminante (hasta 90% de eliminación). No requiere monitoreo.	Altos costos de capital. Uso de reactivos químicos. Requiere la eliminación de lodos enriquecidos con As. Problemas a corto y largo plazo por los lodos tóxicos que suelen formarse. La eficacia depende del tipo de agua. El As(III) debe oxidarse previamente.

		Requiere de personal especializado para la operación.
Adsorción	<p>Altamente selectivo hacia As(V).</p> <p>Útil para tratamientos a pequeña escala: comunidades y hogares.</p> <p>No presenta problemas por manejo de lodos.</p> <p>Requiere reactivos de bajo costo.</p>	<p>Eficiencia moderada.</p> <p>Requiere monitoreo.</p> <p>Uso de filtros.</p> <p>Necesaria renovación y reemplazo de los medios utilizados.</p> <p>Requiere un ajuste de pH.</p> <p>Con reactivos como arena cubierta de hierro se requiere una estandarización.</p> <p>Con algunos reactivos se generan desechos sólidos tóxicos.</p> <p>La presencia de PO_4^{3-}, Si, F^- y Cl^- puede causar interferencias en el proceso.</p>
Nanofiltración y Ósmosis Inversa	<p>Altamente efectivo.</p> <p>Aplicable a pequeña, mediana y gran escala.</p> <p>Requiere mínima operación.</p> <p>Efectivo en aguas con alto contenido de sólidos totales disueltos.</p> <p>Efectivo para eliminar otros compuestos en el agua y los sólidos totales disueltos.</p> <p>Instalación compacta.</p>	<p>A mayor volumen de agua, mayor número de membranas.</p> <p>Altos costos por consumo eléctrico.</p> <p>Altos costos de capital, operación y mantenimiento de las membranas.</p> <p>El proceso podría eliminar otros iones necesarios.</p> <p>Requiere un pre-tratamiento.</p> <p>No es adecuado para poblaciones dispersas.</p> <p>Las membranas no suelen resistir el ataque de los agentes oxidantes.</p> <p>Se requiere alta tecnología para la operación y el mantenimiento.</p> <p>Generación de aguas residuales tóxicas.</p> <p>Reajuste de la química habitual del agua.</p>

Intercambio iónico	<p>Altamente efectivo.</p> <p>No depende del pH y no requiere un ajuste del mismo.</p> <p>Su eficacia no depende de la concentración del efluente.</p>	<p>La remoción de As(III) es baja.</p> <p>La presencia de sulfatos, sólidos totales disueltos, Se, Fe⁻ y NO₃⁻ puede causar interferencias en el proceso.</p> <p>La presencia de sólidos suspendidos y los precipitados de hierro puede causar obstrucción.</p> <p>Puede requerir pre-tratamiento.</p>
Electrodiálisis	Remoción de As de hasta 80%.	<p>Tiene un costo mayor al de técnicas como Ósmosis Inversa y Nanofiltración.</p> <p>Las membranas no suelen resistir el ataque de los agentes oxidantes.</p>
Destilación	El mantenimiento es sencillo.	<p>No es factible para grandes volúmenes de agua.</p> <p>Elimina los minerales necesarios para el consumo humano.</p>
Fe cerivalente en combinación con luz solar	<p>Efectivo para pequeñas comunidades y hogares.</p> <p>Utiliza materiales de bajo costo.</p> <p>Proceso operativo simple.</p> <p>Bajo costo y tecnología amigable.</p> <p>Utiliza una baja cantidad de materiales nanoparticulados por su reactividad.</p>	<p>Altamente sensible a cambios en las propiedades fisicoquímicas del agua.</p> <p>Requiere de procedimientos específicos para la correcta eliminación de material coloidal nanométrico.</p>
Fotocatálisis	<p>Puede usar luz solar o lámparas UV de bajo costo.</p> <p>Simultánea remoción de As (III), contaminantes orgánicos y metales tóxicos.</p>	<p>Requiere una adición de hierro simultánea o posterior al proceso.</p> <p>Se necesita investigación adicional de la técnica.</p>

Tecnología SART	<p>Es una técnica sustentable, libre de químicos y desechos.</p> <p>Efectivo para pequeñas comunidades y hogares.</p> <p>Seguro para la salud pública.</p> <p>Inversión, operación y mantenimiento de bajo costo.</p> <p>Utiliza materiales disponibles localmente.</p> <p>Sencillos procedimientos de operación y mantenimiento.</p> <p>Es una técnica altamente costo-efectiva (1 dólar por 10,000 L).</p>	<p>Requiere la presencia de Fe natural en una relación 10:1 con respecto al As.</p> <p>Su factibilidad se reduce conforme incrementa la profundidad del acuífero (>30 metros).</p> <p>No es factible para grandes volúmenes de agua.</p>
-----------------	--	---

Con lo anterior, se pueden identificar cuatro principales problemáticas en la aplicación de los distintos tratamientos de remoción de As:

1. Los tratamientos requieren un pre o post proceso en el agua para aumentar la eficiencia,
2. Algunos tratamientos emplean químicos, aditivos, membranas o nanomateriales de forma imprescindible,
3. La eficacia del tratamiento depende del tipo de agua, la química de la misma o el volumen a tratar, y
4. Altos costos de inversión, operación y mantenimiento, propios de los tratamientos empleados.

Estas problemáticas hacen inasequibles a muchos de estos tratamientos para comunidades marginadas con problemas de As en agua para consumo.

Por lo anterior, consideramos que la solución al problema de As debe contemplar, no sólo reducir la concentración de arsénico en el agua y los efectos dañinos que ocasiona en la

salud de la población expuesta, sino que también debe abordar el problema desde una perspectiva multisectorial. Es decir, partiendo de la disponibilidad de los pobladores a aceptar un determinado tratamiento de remoción, su capacidad económica para adquirir dicho proceso, las facilidades de instalación y acceso al sitio, así como el alcance en número de personas beneficiadas que la instalación del tratamiento podría lograr, y, de ese modo resolver, para la población beneficiada, la problemática ambiental lo más efectiva, eficiente, justa y sosteniblemente posible.

Dentro de las ventajas del prototipo de tecnología SART se distingue lo siguiente, dicha tecnología es accesible, sustentable, libre de químicos o aditivos y además no genera lodos residuales, por lo que no requiere inversiones adicionales para el manejo de desechos (Sen Gupta et al., 2009). Es por ello que dicha tecnología podría ser una alternativa exitosa y asequible para comunidades social y económicamente limitadas.

La implementación de dicha tecnología debe cumplir, sin embargo, con algunos requisitos económicos, geológicos, hidrológicos y químicos que dictaminarán el nivel de funcionalidad del tratamiento. Los pozos contaminados (>0.010 mgAS/L) sometidos a un proceso de remediación por medio de la tecnología SART deberán estar en una localidad de tipo rural dado que no es factible para grandes volúmenes de agua, y los pozos contaminados deberán ser someros, tubulares y, además, deberán presentar concentraciones de Fe o Mn (Sen Gupta et al., 2009).

Dicha tecnología ha sido aplicada con éxito en 7 distintas comunidades de India entre los años 2004 y 2010, los resultados finales muestran que la concentración de As ha disminuido gradualmente hasta un nivel de concentración por debajo de 0.010 mg/L (Sen Gupta et al., 2009). Lo anterior, durante los 45 a 50 días a partir del inicio de operación, desde una concentración inicial de $100-250$ mg/L y con una relación de As:Fe de 1:10, ya que si esa relación de concentración está presente, este método funcionará cualquiera que sea el nivel de arsénico (Sen Gupta et al., 2009; Sen Gupta, 2020).

De manera general, los prototipos de tecnología SART se basan en principios de procesos de oxidación y filtración de las plantas de tratamiento convencionales en superficie para la eliminación de Fe y Mn del agua, sin embargo, esta técnica tiene la particularidad de emplear al acuífero como un reactor bioquímico natural y adsorbente, que elimina As junto con Fe y Mn. A continuación, se presenta el esquema ilustrativo de un prototipo de remoción de As con tecnología tipo SART (Figura 3) (Sen Gupta et al., 2009).

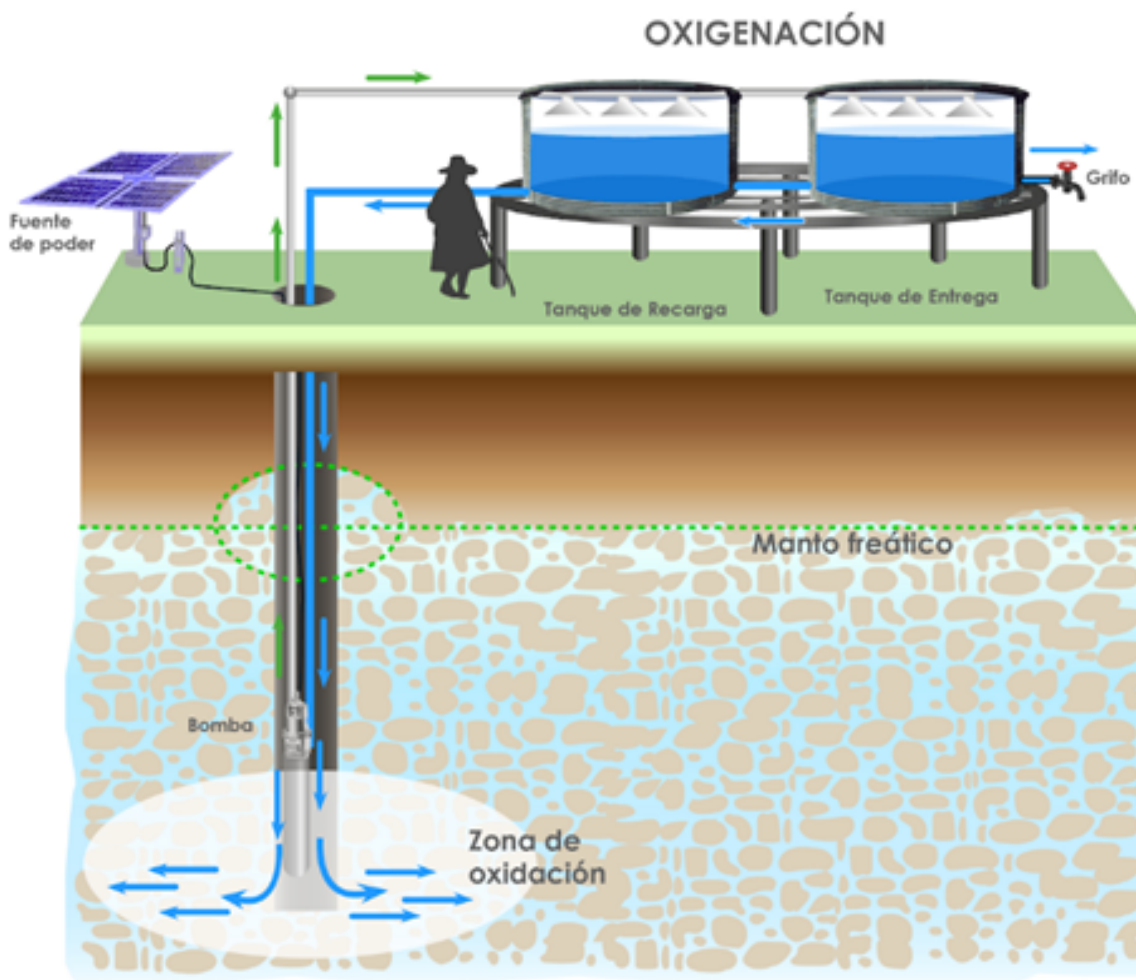


Figura 3. Esquema ilustrativo de un prototipo de remoción de As con tecnología SART.

Por lo anterior, la tecnología SART parece ser un tratamiento costo-efectivo para muchas comunidades con problemas de As en agua alrededor del mundo en comparación con otros tratamientos. En el caso de México, su importación e implementación figura nuevas formas

de abordar el problema nacional de As en agua, lo que supone nuevos retos dentro del quehacer científico, político y social. Consecuentemente, consideramos que un trabajo colaborativo permitirá ofrecer soluciones simultáneas y desde distintos enfoques, mediante la descripción detallada del sitio, la realización de evaluaciones de factibilidad para la instalación, diseño del prototipo basado en las adecuaciones y necesidades del entorno local, análisis de percepción de riesgos, iniciativas de participación social, la transferencia del conocimiento, así como la difusión, seguimiento y monitoreo de la tecnología para determinar el éxito de la instalación en la localidad y asegurar tanto su adopción como el uso sostenible de la misma.

Así pues, este proyecto sugiere una guía para la implementación de la tecnología SART en El Salitral, basada en las adecuaciones de los métodos empleados en la India y estandarizando un punto de partida para abordar el problema de As en agua en esta y otras comunidades mexicanas desde perspectivas multisectoriales en el marco de la innovación social.

1.4. La innovación social como ruta para la solución de problemas medioambientales de la vida cotidiana

Retomando la propuesta de estudios multisectoriales, nuestra investigación giró en torno a la innovación social. Dicho término surge de la necesidad de crear enfoques que permitan evaluar el impacto de la ciencia, tecnología e innovación en la sociedad, proporcionando elementos de cambio que den pauta a generar soluciones novedosas a un problema social, mediante la gestión participativa del conocimiento para definir soluciones más efectivas, eficientes, sostenibles y justas con respecto a las soluciones actuales, y cuyas aportaciones mejoren el nivel y la calidad de vida de los individuos y de su comunidad, al promover su libertad de elección (Stanford Business, 2008; Hernández- Ascanio, et. al. 2016).

Dichas soluciones deben ser eficaces al lograr los objetivos planteados, eficientes al no tener dispendios de recursos, sostenibles en dos sentidos: el primero al lograr que perduren

en el tiempo y en segunda instancia que sean respetuosas con el medio ambiente. Así mismo, las soluciones deberán ser también justas y equitativas de tal forma que el objetivo último sea conseguir la justicia social. Y finalmente, deben tener un valor añadido, que en vez de considerar los intereses particulares velen por beneficiar a la sociedad en su conjunto (Villa y López, 2012).

Así pues, de acuerdo a Martínez Tagüeña y colaboradores (2016) la innovación social debe:

- Surgir de una problemática real,
- Incidir en el desarrollo sostenible y en ciertos Objetivos del Desarrollo Sostenible,
- Adaptarse o mitigar el cambio climático,
- Cumplir con buena gobernanza,
- Permitir la realización de alianzas,
- Minimizar los costos de su desarrollo,
- Tener la capacidad de evaluar de su factibilidad (financiera, económica, social),
- Contar con mecanismos de evaluación,
- Generar sinergias entre actores,
- Contemplar la diversidad de género,
- Basarse en principios éticos y
- Generar datos abiertos al público y disseminación de resultados.

También, es fundamental comprender que la innovación social no se refiere a algo puntual, sino que es un proceso que durante un extenso periodo de tiempo pasa por distintas etapas: germinación de ideas, materialización, logro de primeros resultados, institucionalización, y definitivamente, su meta, la transformación social (Murray et al., 2010).

Desde ese enfoque, es importante elaborar criterios e indicadores que permitan cuantificar en qué medida la ciencia y la tecnología responden a los objetivos sociales, lo que obligatoriamente implica estudiar posibles impactos a distintos niveles de análisis y desde una perspectiva multisectorial (Milanés Guisado et al., 2010) ya que de manera tradicional,

el impacto científico ha sido medido y evaluado a través del análisis del nivel de citación de los trabajos científicos. En este tipo de análisis, el impacto es medido desde y dentro de la comunidad científica, es decir, entre los mismos generadores y consumidores del conocimiento científico. Por lo tanto, este método de medición está centrado en el análisis del impacto que ejerce la ciencia sobre la propia ciencia y no comprende las dimensiones sociales referidas a la salud, economía, seguridad social, medio ambiente, pobreza, empleo, etcétera (Milanés Guisado et al., 2010).

Con ello, la fuerte demanda de planteamientos innovadores que solventen problemas ecológicos, sociales y económicos está siendo cubierta por personas y organismos de toda índole y no solo pertenecientes a la comunidad científica. El interés por la innovación social aumenta cada vez más, acompañado también de una demanda cada vez mayor de instrumentos que permitan determinar los tipos de enfoques más efectivos y analizar su impacto y viabilidad social a largo plazo. Las cinco variables que se muestran a continuación han sido propuestas para analizar la innovación social (Buckland y Murillo, 2013):

Tabla 4. Cinco variables para analizar la innovación social (Buckland y Murillo, 2013).

Variable a analizar	Preguntas a plantear para evaluar la innovación social	Factores importantes a tomar en cuenta
Impacto y transformación social	¿Hasta qué punto la iniciativa logra la transformación social deseada y resuelve el problema abordado?	La innovación social debe estrictamente resolver algún problema social. Entendiendo que el término “social” involucra los retos medioambientales, éticos, económicos, o todas sus dimensiones.
Colaboración intersectorial	¿Quiénes son los primeros interesados en que la iniciativa tenga éxito y de qué mecanismos disponen?	La innovación social no se produce de manera aislada ya que a menudo se dan espacios donde trabajan los sectores privado, público y otros colectivos.
Sostenibilidad económica y viabilidad a largo plazo	¿Cómo se financia la iniciativa y qué estrategias se han adoptado para garantizar su supervivencia en el futuro?	Dado que la innovación social busca resolver problemas sociales, es indispensable incluir la autosuficiencia y la orientación a resultados dentro de la estrategia financiera.

Tipo de innovación	¿Es una innovación cerrada o abierta? (es decir, ¿puede ser replicada por otros?) ¿Se basa en algún concepto anterior? ¿Qué rasgos innovadores presenta?	La innovación abierta permite a los interesados copiar una idea y adaptarla. Por el contrario, la innovación cerrada requiere de la autorización de los propietarios intelectuales de la idea para poder replicarla.
Escalabilidad y replicabilidad	¿En qué medida la solución de la iniciativa se puede ampliar o replicar? ¿En qué condiciones se puede replicar bajo una situación diferente?	En la innovación social es altamente deseable replicar las soluciones planteadas y/o hacerlas tan escalables como se pueda.

Además, realizar una evaluación en las distintas etapas de un proceso de innovación social permite definir los aspectos que son más relevantes o útiles de medir. Analizando desde un nivel básico el proceso de la innovación social tiene tres etapas: el desarrollo del proceso o producto, su difusión y el valor social creado. Dichas etapas se pueden medir a través de indicadores cualitativos y cuantitativos (Buckland y Murillo, 2013). En la actualidad, existen distintas clases de mecanismos y metodologías que sirven para medir los avances del proceso en las diferentes etapas (Buckland y Murillo, 2013). A continuación, la tabla 5 muestra algunos ejemplos de cómo medir la innovación social en cada una de sus etapas:

Tabla 5. Ejemplos de cómo medir las etapas de la innovación social (Buckland y Murillo, 2013; Murray et al., 2010).

Etapas	Fases	Definición	Herramientas de medición
Desarrollo	Demandas, inspiración, diálogo	En esta fase se diagnostica el problema y se formula la pregunta central, esta última puede estar motivada por una crisis o por la inspiración de una persona.	Suele utilizarse la evaluación rural participativa; las peticiones en línea, la investigación aplicada, los modelos de pensamiento sistémico o la distribución de sistemas, recursos, equipos, necesidades o flujos.
	Propuestas e ideas	En esta fase se generan las ideas a través de múltiples métodos de diseño y creatividad para ampliar las opciones.	Se utilizan las evaluaciones de inversiones y análisis de rentabilidad; encuestas a los usuarios, votaciones en línea y wikis; el teatro como foro; bancos de ideas y buzones de sugerencias; jurados y comisiones de

			ciudadanos.
	Prototipos y pruebas piloto	Esta es la fase de pruebas, estas pueden ir desde pruebas piloto informales hasta pruebas controladas aleatorias con margen para la iteración y la mejora.	Suelen aplicarse pruebas controladas aleatorias; preferencias declaradas; pruebas beta y pruebas abiertas; prototipos lentos y rápidos; encuestas a usuarios.
	Sostenibilidad	En esta fase la idea se convierte en corriente dominante y asegura la sostenibilidad financiera para llevar adelante la innovación.	Se utilizan análisis del modelo de negocio basado en los ingresos y los resultados; evaluación de la inversión en el impacto social; evaluación de capital de riesgo social; indicadores generados por los usuarios y experiencia del usuario; cuadro de mando integral e informes de responsabilidad social corporativa.
Difusión	Ampliación y difusión	En esta fase se efectúa la adopción más amplia gracias a una serie de estrategias, como el crecimiento organizativo, franquicias, licencias y una difusión menos restrictiva.	Se pueden aplicar matrices de contabilidad social; cumplimiento de etiquetas y normas; objetivos sociales; uso de franquicias y licencias; evaluación del impacto social; beneficio de la inversión social; contabilidad de valor combinado; auditoría social mejorada.
Valor social	Cambio sistémico	Esta fase es el objetivo final y generalmente implica la interacción de muchos elementos como movimientos sociales, modelos de negocio, regulación, datos, infraestructura y formas totalmente distintas de hacer y pensar.	Se suelen aplicar comparativas de resultados; existencia de nuevos sistemas tanto de infraestructura, sistemas de producción, regulación, coaliciones, movimientos, modelos financieros, entre otros.

Además, caracterizar de forma minuciosa las distintas problemáticas que se pretenden solucionar a través de la innovación social es una tarea fundamental, puesto que la gran variedad de circunstancias ambientales, sociales, políticas y económicas condicionarán el

desarrollo de la investigación a cada sitio de estudio. De esta forma, lograr que una tecnología se adapte al contexto cultural, a la cotidianidad de los usuarios y se use de manera sostenida es todo un reto (Ortiz Moreno et al., 2014).

Por ejemplo, se ha detectado que si la tecnología instalada no resuelve una problemática o necesidad percibida como real por parte de la comunidad, es altamente probable que el proyecto fracase y la tecnología se abandone con el tiempo. Por ello, es indispensable tener en cuenta que las necesidades percibidas por el usuario no siempre coinciden con las necesidades reconocidas por las y los aplicadores de la tecnología. En ese mismo contexto, conocer qué tanto es percibido el problema de As en agua y sus consecuencias en la salud por parte de los pobladores es fundamental, y por lo cual, se formuló una herramienta para el estudio de percepción de riesgo. Así pues, la tecnología es y debe reconocerse como un medio para la solución de problemas socio-ecológicos y no como un fin en sí misma (Ortiz Moreno et al., 2014).

También ha quedado en evidencia que la adopción de una tecnología, cualquiera que sea, es altamente viable de suceder cuando las y los usuarios se involucran en el proceso de difusión, evitando el asistencialismo y la imposición de procesos dentro de la comunidad, a través de fomentar estrategias de co-responsabilidad con la participación activa de las y los usuarios de la tecnología (Ortiz Moreno et al., 2014).

Asimismo, el análisis para la implementación del primer prototipo de tecnología SART en México en la comunidad de El Salitral deberá apegarse a las características de la innovación social, al igual que durante el proceso de instalación y seguimiento. Para dicho efecto es altamente deseable y recomendable la formulación de criterios basados en indicadores nacionales e internacionales que permitan medir y evaluar la factibilidad de remediación por dicha tecnología más allá del nivel de contaminación de As en agua.

Finalmente, es importante enfatizar que los proyectos de implementación de nuevas tecnologías no pueden culminar en la instalación de las mismas sino que es fundamental realizar acciones de seguimiento en el uso, difusión, vinculación y transferencia del conocimiento después de instalarla, así como desarrollar metodologías y herramientas de acompañamiento que permitan la adopción de la tecnología por parte de los principales actores, ya que sin importar de qué tecnología se trate, si ésta no es adoptada y usada de manera sostenida, no tendrá impactos positivos ni en la calidad de vida de los beneficiarios ni en el ambiente (Ortiz-Moreno et al., 2014).

1.5. Hipótesis

Los municipios del Estado de San Luis Potosí presentan problemas de contaminación con arsénico y potencial para la implementación de una tecnología novedosa, sustentable y costo efectiva como la tecnología SART, a través de la vinculación de organismos gubernamentales en materia de agua, la sociedad y la comunidad científica en el marco de una metodología dentro de la innovación social.

1.6. Objetivos

Objetivo General

Caracterizar la problemática de arsénico (As) en agua subterránea utilizada como agua para consumo en El Salitral desde un enfoque de innovación social para proporcionar las bases del diseño y la implementación de un prototipo de tecnología SART.

Objetivos específicos

1. Realizar una búsqueda bibliográfica sistemática de las concentraciones de As en agua para el estado de San Luis Potosí y gestionar información de contaminación de As en agua subterránea con los organismos gubernamentales correspondientes.

2. Registrar un censo de aprovechamientos subterráneos con concentraciones de As por encima del valor guía de la OMS y la normativa nacional en el estado de San Luis Potosí.
3. Construir un mapa hidrogeoquímico de la distribución geográfica de la contaminación de As en agua subterránea del estado de San Luis Potosí con los datos obtenidos en el censo.
4. Realizar muestreos de agua para verificar las concentraciones de As de los aprovechamientos contaminados y utilizados como fuente de agua para consumo humano.
5. Elaborar una herramienta para elegir el sitio más viable y apremiante de remediar con un prototipo de tecnología SART bajo la perspectiva de innovación social.
6. Estimar el riesgo a la salud por exposición a As, el riesgo carcinogénico y el riesgo no cancerígeno de la población expuesta por agua de consumo contaminada.
7. Diseñar un instrumento para estimar la percepción social del riesgo a la salud por el consumo de As en agua.

Métodos

2.1. Búsqueda bibliográfica sistemática

Se realizó una búsqueda sistemática de información en el buscador Google Académico utilizando la función de *búsqueda avanzada* con las palabras clave “arsénico”, “agua” y “San Luis Potosí” así como con las frases “arsénico en agua” y “San Luis Potosí” en el título y los filtros *cualquier momento* y *cualquier idioma*. Adicionalmente, se navegó con la función *artículos relacionados* con la finalidad de extender los alcances de la revisión bibliográfica. De forma complementaria se utilizó el buscador Web of Science con las palabras clave “arsenic”, “groundwater”, “San Luis Potosí” y “drinking water” en *todos los campos* refinado a *documentos de tipo artículo*, con una ventana de tiempo abierta a *todos los años* y de *acceso abierto*. Con la función *búsqueda básica*. Se priorizo la revisión de los recursos de acceso abierto con el propósito de mostrar datos de acceso libre a todo público, desde la información de consulta hasta los datos generados con esta investigación. Finalmente, se realizó un proceso de vinculación con organismos gubernamentales como CONAGUA y COEPRIS para la gestión de información así como la obtención de datos de monitoreo de As en agua subterránea con uso potable a lo largo del estado de San Luis Potosí.

2.2. Construcción de un registro de aprovechamientos subterráneos contaminados con Arsénico para el Estado de San Luis Potosí

De cada recurso bibliográfico que reportó concentraciones de As para algún sitio dentro del estado de San Luis Potosí se extrajeron los valores de As en agua y se construyó una tabla en Excel con la información: Número de sitio, Identificación del sitio, Tipo, Municipio, Coordenadas UTM, Año de medición, As total en mg/L y Referencia, considerando únicamente los sitios con As por encima de la normativa nacional y del valor guía de la OMS, y descartando también los sitios muestreados sin localización específica.

2.3. Elaboración de un mapa hidrogeoquímico del Arsénico en agua para el Estado de San Luis Potosí

Con la información recolectada se construyó un mapa de distribución de As en agua por encima de la normativa nacional (>0.025 mg/L) y el valor guía de la OMS (>0.010 mg/L). Para ello, se utilizó el software ArcMap en la versión 10.3 y como recursos para la construcción del mapa fue necesario descargar el Modelo Digital de Elevación (MDE) del estado de San Luis Potosí en formato shape en el Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM) de INEGI. Para poder trabajar con el archivo del censo de aprovechamientos en archivo excel dentro del software ArcMap fue necesario realizar una transformación de coordenadas de UTM a geográficas en notación decimal con ayuda de la aplicación Transformación de Coordenadas (TRANINV) de INEGI, esto con el propósito de poder ingresar nuestra base de datos directamente en el software y convertirla a un shape de puntos.

Dentro del software ArcMap, se insertó el MDE como capa base y luego el archivo excel del censo en una versión Excel 97-2003 con la función “Agregar archivo tipo XY”. Una vez proyectados los puntos mediante las coordenadas geográficas del censo, se exportó la capa como un archivo tipo shape de puntos. Finalmente, los puntos se categorizaron en distintas clases para una mejor visualización de los elementos y representaron de acuerdo a la concentración de As en agua para cada sitio.

2.4. Campañas de muestreo para la selección de pozos candidatos para remediación por tecnología SART

Como se mencionó, algunos estudios previos han documentado la alta concentración de As en aguas de pozos dentro del estado de San Luis Potosí. Para corroborar las concentraciones de As se llevaron a cabo 4 campañas de muestreo en los meses de Agosto 2019, Octubre 2019, Diciembre 2019 y Septiembre del 2020.

Como punto de partida, se realizó un muestreo de tipo exploratorio dirigida a los pozos “Sauz de Calera” y “El Salitral” en Villa de Ramos y “Pozo Las Colonias” en Salinas de Hidalgo, por ser aprovechamientos utilizados como agua potable y donde las concentraciones de arsénico reportadas por la CONAGUA en los años 2015, 2016, 2017 y 2018 rebasan el límite permisible según la NOM-127-SSA1-1994. Adicionalmente, se consideraron otros aprovechamientos cercanos a la ciudad de San Luis Potosí reportados por Bocanegra en el 2006, también con concentraciones por encima de la normativa nacional. Estos son “Pozo 1”, “Pozo Calle 1885” en Ahualulco, “Pozo Primer Sector” en Mexquitic, “Pozo La Reforma” en Salinas de Hidalgo, “Pozo Santa Matilde” en Santo Domingo, “Pozo en Jardín de niños”, “Pozo 2”, “Pozo Sr. Francisco Castillo” y “Pozo Dulce Grande” en Villa de Ramos. Se consideró viajar prospectivamente a todos los sitios y muestrear únicamente los aprovechamientos de tipo pozo y activos.

En todos los aprovechamientos, las muestras para la determinación de As fueron recolectadas en botes lavados previamente con un procedimiento de lavado ácido, filtradas con membranas $<0.45 \mu\text{m}$ y acidificadas a un $\text{pH} < 2$ usando HNO_3 . Todas las muestras fueron selladas herméticamente y almacenadas a una temperatura menor a 4°C hasta su análisis. También se tomaron parámetros en campo: temperatura, pH, potencial REDOX, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y oxígeno disuelto que fueron analizados *in situ* usando una sonda multiparamétrica marca HANNA modelo 9829. Por otro lado, los valores de alcalinidad fueron tomados con el kit de alcalinidad HACH modelo AL-DT. La determinación se realizó mediante espectroscopia de emisión óptica de plasma (ICP-OES) en el Laboratorio Nacional de Biotecnología Agrícola, Médica y Ambiental, (LANBAMA). Adicionalmente se colectaron blancos de viaje, de campo y duplicados para el aseguramiento y control de calidad del muestreo.

2.5. Estimación de riesgo a la salud humana por exposición a Arsénico

Para llevar a cabo esta sección se efectuó una revisión bibliográfica en el motor de búsqueda Web of Science. Se utilizaron las palabras clave "*human health*", "*risk*

assessment”, “*arsenic*”, “*drinking water*” y “*groundwater*” en *todos los campos* con una ventana de tiempo abierta a *todos los años* y de *acceso abierto*. Se utilizó la función *búsqueda básica*. Nuevamente se le dio prioridad a los recursos de acceso abierto para mostrar datos de acceso libre desde la información de consulta hasta los datos generados con esta investigación.

En esta tesis, el riesgo para la salud derivado de la exposición a As en agua se estimó utilizando el método recomendado por la Academia Nacional de Ciencias de EUA (National Research Council, 1983) sugerido también por la US EPA (United States Environmental Protection Agency).

Estimación de riesgo a la salud humana

Se calculó la dosis diaria ingerida (DD) con la ecuación definida por la US EPA (1998) y valores generalizados para las variables involucradas (Tabla 6):

$$DD = \frac{(C)(IA)(E)(FE)}{(P)(TE)} \quad (1)$$

Tabla 6. Descripción de las variables utilizadas en la ecuación 1 (A= Adultos, I=Infantes).

Parámetro (unidades)	Descripción	Valor		Referencia
		A	I	
C (mg/L)	Concentración más alta de As para El Salitral.	0.1947		CONAGUA, 2017 y RENAMECA, 2017.
	Concentración más alta de As para Las Colonias.	0.033		CONAGUA, 2017 y RENAMECA, 2017.
	Concentración más alta de As para Sauz de Calera.	0.0769		CONAGUA, 2017 y RENAMECA, 2017.
IA (L/día)	Promedio de ingesta de agua diaria.	2	1	US EPA, 2001; Wollin et al., 2020; Nakazawa et al., 2020; Liu et al., 2020; Sarfraz et al., 2019; Javaid et al., 2019; Akhtar et al., 2018; Senila et al., 2017 y Duan et al., 2014.

E (años)	Promedio de duración de exposición.	75	6	INEGI, 2016; Ghosh et al., 2020; Javaid et al., 2019 y Owen et al., 2018.
FE (días/año)	Frecuencia de exposición.	365		Brindha et al., 2020; Ghosh et al., 2020; Javaid et al., 2019; Akhtar et al., 2018; Liang et al., 2017; Shakoor et al., 2015; Duan et al., 2014.
P (kg)	Promedio generalizado de peso.	70	15	US EPA, 2001; Owen et al., 2018; Javaid et al., 2019; Nakazawa et al., 2020; Wollin et al., 2020; Liu et al., 2020; Senila et al., 2017; Duan et al., 2014; O'Neill et al., 2014 y Ghosh et al., 2020.
TE (días)	Promedio de tiempo de exposición (FE multiplicado por E).	27,375	2,190	Brindha et al., 2020; Ghosh et al., 2020; Javaid et al., 2019; Akhtar et al., 2018; Liang et al., 2017; Shakoor et al., 2015; Duan et al., 2014.

Evaluación de riesgo no cancerígeno

Una vez calculado el valor de la dosis diaria (DD), se utilizó en el cálculo del coeficiente de riesgo (R) junto con el valor de la dosis de referencia (RfD) a partir de la ecuación 2 (US EPA, 1998):

$$R = \frac{DD}{RfD} \quad (2)$$

Tabla 7. Descripción de las variables utilizadas en la ecuación 2.

Parámetro (unidades)	Descripción	Valor	Referencia
DD (mg/kg)/día	Promedio de dosis diaria.	Ecuación 1	US EPA, 1998.
RfD (mg/kg)/día	Dosis de referencia.	3×10^{-4}	US EPA, 1996.

Evaluación de riesgo carcinogénico

Por último, se realizó una evaluación de riesgo carcinogénico (RC), utilizando los valores de DD y el factor de gradiente de cáncer para As (FC), utilizando la siguiente ecuación (US EPA, 1998):

$$RC = \frac{(DD)}{(FC)} \quad (3)$$

Tabla 8. Descripción de las variables utilizadas en la ecuación 3.

Parámetro (unidades)	Descripción	Valor	Referencia
DD (mg/kg)/día	Promedio de dosis diaria.	Ecuación 1	US EPA, 1998.
FC (mg/kg)/día	Factor gradiente de cáncer.	1.5	US EPA, 2001 y 2005.

2.6. Selección de criterios e indicadores para la evaluación de candidatos para remediación con tecnología SART

Por otro lado, para generar una herramienta que permitiera unificar un método de selección y evaluación de sitios en donde la remediación de agua contaminada con As fuera altamente viable con un prototipo de tecnología SART en San Luis Potosí y con la idea de facilitar la réplica de implementación de la tecnología en otros sitios con la misma problemática en el marco de la innovación social, se analizaron los criterios considerados en los casos de éxito en India. Dichos criterios se utilizaron como criterios guía en este estudio. En ese sentido, los criterios como “localidad de tipo rural” y “nivel bajo de ingreso anual promedio” se catalogaron como aspectos relacionados al ámbito económico-social, mientras que los aspectos como “concentración de As en agua mayor a 0.010 mg/L” y “presencia de Fe en agua” fueron considerados como criterios en materia de hidrogeoquímica. Además, el criterio de “alto grado de exposición a As por vía oral” fue relacionado al ámbito de salud y, por último, las condiciones de “pozo somero y tubular” se asignaron al ámbito geológico.

Sin embargo, debido a que la esencia del proyecto es abordar el problema del arsénico en agua de consumo en el marco de la innovación social, también se formularon algunos criterios que permitieran evaluar aspectos en torno a: las características biohidrogeoquímicas del sitio, las facilidades de instalación y acceso, el número de personas beneficiadas, el apremio por resolver la problemática, la disponibilidad de los actores relevantes y tomadores de decisiones, y finalmente, el entorno social y económico del sitio.

Lo anterior basado en indicadores internacionales como los de los Objetivos del Desarrollo Sostenible, específicamente el número 3: Salud y Bienestar, el número 6: Agua limpia y Saneamiento y el número 17: Alianzas para lograr los objetivos. Además, se consideraron indicadores nacionales como los utilizados en el Programa para el Desarrollo de Zonas Prioritarias (PDZP) de la SEDESOL, en el Censo de Población y Vivienda 2010 de INEGI y en las estimaciones de CONEVAL con base en el Censo de Población y Vivienda 2010, así como los usados en el Índice de marginación por localidad del año 2010 del CONAPO.

2.7. Diseño de una herramienta para medir la percepción de riesgo

Para esta sección se realizó una búsqueda de información abierta en Google, utilizando como filtro de búsqueda la selección de recursos bibliográficos tipo tesis que explicaran *cómo* y *con qué* se midió la percepción de distintos riesgos y eligiendo aquellos que incluyeron la herramienta de medición. Los recursos elegidos se utilizaron como base para la formulación de un cuestionario que permitiera, en el futuro, y en función del avance de la pandemia, estimar qué tan riesgoso considera la población de El Salitral el consumo de agua contaminada con As.

El uso de cuestionarios para obtener datos es uno de los métodos más utilizados para recabar información debido a que las respuestas quedan directamente descritas en el formato y es un método sencillo para la estandarización de los datos ya que se obtiene

información relevante en sesiones de corto tiempo. Para dicho efecto, se utilizó como base el cuestionario utilizado por Grasmück y Scholz (2005) con las variables: preocupación emocional, conocimiento real, conocimiento autoestimado, deseo de más información, heurísticas reductoras de disonancia, pensamientos acerca de la sustentabilidad, medidas de riesgo, necesidad de descontaminación y variables de control. Se efectuaron las adecuaciones necesarias según los intereses de nuestra investigación, modificando preguntas y añadiendo variables como el nivel de participación y confianza.

Resultados

3.1. Estado del arte del arsénico en agua en el estado de San Luis Potosí

Se reunieron artículos, bases de datos y tesis que han documentado concentraciones de As en agua subterránea en el estado de San Luis Potosí. Se encontraron 14 resultados: 8 de tipo tesis (Bocanegra Salazar, 2006; Bueno Pedroza, 2005; Campillo Cortés, 2018; Hernández Martínez, 2008; Hernández Ruiz, 2017; Landín Rodríguez, 2006; Mendoza Chávez, 2016 y Rodríguez Rodríguez, 2016), 5 artículos (García-Nieto et al., 2011; Gómez-Hernández et al., 2020; Mahlknecht, J. et al., 2017; Molina-Frechero et al., 2020 y Ortega-Guerrero, 2009) y 1 base de datos de acceso abierto de la CONAGUA (RENAMECA, 2017) (Tabla 9). Algunos de ellos no proporcionaban datos de concentración de As en agua subterránea por lo que fueron descartados. Adicionalmente la CONAGUA nos otorgó un informe con resultados de As en agua subterránea con valores por encima de la normativa nacional y el valor guía de la OMS, dicha base de datos fue incluida íntegramente en nuestro concentrado de referencias y en el censo de aprovechamientos.

Tabla 9. Recursos bibliográficos con reportes de As en agua para el estado de San Luis Potosí.

	Título	Autores/Autoras	Buscador o fuente	Tipo de recurso	¿Incluye datos de As en agua subterránea?
1	“Evaluación de riesgo en salud por la exposición a Fluoruro y Arsénico en agua de pozo para consumo de las zonas Altiplano, Centro y Media del Estado de San Luis Potosí”	Bocanegra Salazar, Melissa	Google Académico COEPRIS	Tesis	Si
2	“Parámetros fisicoquímicos y concentración de Flúor y Arsénico en el agua de los pozos de la ciudad de San	Landín Rodríguez, Lilia Esther	Google Académico	Tesis	Si

	Luis Potosí y Zona Conurbada. Alternativa de tratamiento: Adsorción de flúor y arsénico en la interfase Al_2O_3 activada/solución acuosa”				
3	“Obtención de un modelo conceptual hidrogeológico de concentraciones de arsénico variables en agua superficial y subterránea en Matehuala, San Luis Potosí”	Rodríguez Rodríguez, Rodrigo Merced	Google Académico	Tesis	No
4	“Asociación entre vitamina D y densidad mineral ósea en población infantil expuesta a flúor y arsénico a través del agua de consumo en una comunidad rural de San Luis Potosí”	Campillo Cortés, Luis Andrés	Google Académico	Tesis	No
5	“Distribución de arsénico en suelos y evaluación de riesgos de las actividades en canchas de fútbol soccer irrigadas con agua contaminada con arsénico, en el club deportivo Joya Verde, Matehuala, San Luis Potosí”	Hernández Ruiz, Abraham Yunnuel.	Google Académico	Tesis	No
6	“Especies de zooplancton presentes en agua contaminada con arsénico en Matehuala, San Luis Potosí, México”	Mendoza Chávez, Yadira Jazmín	Google Académico	Tesis	No
7	“Efecto de la evolución geoquímica en la calidad del agua subterránea en la porción central de la zona media del estado de San Luis Potosí”	Hernández Martínez, Jeanny Lucero	Google Académico	Tesis	Si
8	“Interpretación hidrogeoquímica de los sistemas de flujo de la parte norte del Altiplano Potosino”	Bueno Pedroza, Angélica	Google Académico	Tesis	Si

9	“Alluvial and gypsum karst geological transition favors spreading arsenic contamination in Matchuala, Mexico”	Andrea Gómez-Hernández; Rodrigo Rodríguez; Antonio Lara del Río; Esther Aurora Ruiz-Huerta; María Aurora Armienta; Pablo Dávila- Harris; Bhaskar Sen-Gupta; Omar Delgado-Rodríguez; Andrés Del Angel Ríos y Nadia Martínez-Villegas.	Google Académico	Artículo	Si
10	“Occurrence, distribution, hydrochemistry and origin of arsenic, fluoride and other trace elements dissolved in groundwater at basin scale in central Mexico”	Ortega-Guerrero, MA.	Web of Science	Artículo	No
11	“Environmental Exposure of Arsenic in Groundwater Associated to Carcinogenic Risk in Underweight Children Exposed to Fluorides”	Molina-Frechero, N; Nevarez-Rascon, M; Tremillo-Maldonado, O; Vergara-Onofre, M; Gutierrez-Tolentino, R; Gaona, E; Castaneda, E; Jarquin-Yanez, L y Bologna-Molina, R.	Web of Science	Artículo	No
12	“Understanding the dynamics and contamination of an urban aquifer system using groundwater age (C-14, H-3, CFCs) and chemistry”	Mahlknecht, J; Hernandez-Antonio, A; Eastoe, CJ; Tamez-Melendez, C; Ledesma-Ruiz, R; Ramos-Leal, JA; Ornelas-Soto, N.	Web of Science	Artículo	No
13	“Lead and arsenic in The Alto Atoyac Sub-Basin in Tlaxcala, Mexico”.	Garcia-Nieto, E; Carrizales-Yanez, L; Juarez-	Web of Science	Artículo	No

		Santacruz, L; Garcia-Gallegos, E;Hernandez- Acosta, E; Briones- Corona, E; Vazquez- Cuecuecha, OG.			
14	“Red Nacional de Medición de la Calidad de Agua”	CONAGUA	Gobierno de México	Base de datos	Si

3.2. Censo de aprovechamientos subterráneos contaminados con Arsénico en el Estado de San Luis Potosí

A continuación se presentan los valores máximos reportados en la bibliografía para los municipios de San Luis Potosí con concentraciones de As superiores al valor guía definido por la OMS (0.010 mg/L) y el valor máximo permisible estipulado por la NOM-127 (0.025 mg/L).

Estos son: Ahualulco 0.039 mg/L, Catorce 0.049 mg/L, Cedral 0.016 mg/L, Cerritos 0.020 mg/L, Cerro de San Pedro 0.011 mg/L, Charcas 0.096 mg/L, Ciudad Fernández 0.011 mg/L, Guadalcázar 0.051 mg/L, Matehuala 91.51 mg/L, Mexquitic de Carmona 0.062 mg/L, Rioverde 0.018 mg/L, Salinas de Hidalgo 0.042 mg/L, San Luis Potosí 0.015 mg/L, Santo Domingo 0.062 mg/L, Soledad de Graciano Sánchez 0.014 mg/L, Villa de Arriaga 0.015 mg/L, Villa de Guadalupe 0.061 mg/L, Villa de Ramos 0.197 mg/L, Villa de Reyes 0.012 mg/L y Villa de Zaragoza 0.014 mg/L (Bocanegra Salazar, 2006; Bueno Pedroza, 2005; CONAGUA, 2017; RENAMECA, 2017; Gómez-Hernández et al., 2020; Hernández Martínez, 2008; Landín Rodríguez, 2006).

A su vez, en la base de datos publicados por la RENAMECA (2017) enfocada al monitoreo de agua para consumo humano se han reportado 12 sitios con presencia de As, los primeros 6 con concentraciones por arriba del valor guía de la OMS, los cuales son: Pozo de Riego

Santa Cruz en Matehuala (0.012 mg/L), Pozo No. 504 (CNA-12-504) en Villa de Reyes (0.012 mg/L), Muñoz en San Luis Potosí (0.015 mg/L), Presa San José 2 en San Luis Potosí (0.012-0.024 mg/L), Pozo Tecomates en Rioverde (0.018 mg/L) y Fraccionamiento La Florida (CNA-11-299) en Cerro de San Pedro (0.011 mg/L). Los otros 6 poseen concentraciones de As por encima de la normativa nacional NOM-127 y se trata de: Salitral de Carrera en Villa de Ramos (0.134 mg/L), Sauz de Calera en Villa de Ramos (0.039-0.077 mg/L), Pozo No.3 La Masita en Villa de Guadalupe (0.030 mg/L), Presa San José 1 en San Luis Potosí (0.026 mg/L), Las Colonias en Salinas de Hidalgo (0.031 mg/L) y La Maroma en Catorce (0.035-0.049 mg/L).

Consecuentemente, se construyó una tabla con todos los datos recopilados y con ello, el primer censo de aprovechamientos contaminados con As de acuerdo a la normativa nacional y el valor guía de la OMS para el estado de San Luis Potosí, no obstante, es importante mencionar que hay zonas sobre las que no hay aún información disponible como en la Zona Huasteca (Anexo 1). A continuación se presentan los municipios con pozos contaminados reportados en la bibliografía y concentrados en el censo de esta investigación (Tabla 10):

Tabla 10. Municipios con aprovechamientos contaminados con As.

Municipio	Promedio de As en agua subterránea (mg/L)
Ahualulco	0.027
Catorce	0.043
Cedral	0.016
Cerritos	0.020
Cerro de San Pedro	0.011
Charcas	0.046
Ciudad Fernández	0.011
Guadalcázar	0.037

Matehuala	7.027
Mexquitic de Carmona	0.040
Rioverde	0.040
Salinas de Hidalgo	0.026
San Luis Potosí	0.012
Santo Domingo	0.039
Soledad de Graciano Sánchez	0.012
Villa de Arriaga	0.013
Villa de Guadalupe	0.035
Villa de Ramos	0.078
Villa de Reyes	0.012
Villa de Zaragoza	0.013

De este modo, la presencia de As en agua subterránea dentro del estado de San Luis Potosí es un problema que aqueja a 20 de los 58 municipios del Estado. Esto es, el 34.48% de los municipios del estado de San Luis Potosí tienen al menos un reservorio de agua subterránea con As por encima de la normativa nacional y el valor guía de la OMS (Bocanegra Salazar, 2006; Bueno Pedroza, 2005; CONAGUA, 2017; RENAMECA, 2017; Gómez-Hernández et al., 2020; Hernández Martínez, 2008; Landín Rodríguez, 2006). Por otro lado, dentro del 65.52% restante se incluyen aquellos abastecimientos en los cuales no se ha reportado o detectado As en agua.

3.3. Mapa hidrogeoquímico de la distribución geográfica del As en agua en el estado de San Luis Potosí

A partir de la información censada de los aprovechamientos subterráneos contaminados con As en el estado de San Luis Potosí, se construyeron 2 mapas, uno con los municipios contaminados (Figura 4) y otro con los 196 datos que reportan concentraciones de As por

encima del valor guía de la OMS y el límite nacional decretado por la NOM 127, correspondientes a 157 diferentes sitios entre los años 2003 y 2018 (Figura 5).

Las concentraciones de As en agua se representaron en 4 clases distintas definidas por la autora. El primer intervalo incluye los sitios con concentraciones mayores al valor guía de la OMS de 0.010 mg/L y menores al límite nacional permisible de 0.025 mg/L, el segundo intervalo incluye las concentraciones mayores al límite nacional permisible y menores a 0.050 mg/L, el tercer intervalo con las concentraciones mayores a 0.050 mg/L y menores a 1 mg/L y el cuarto intervalo contiene todas las concentraciones mayores a 1 mg/L. De este modo, se distingue que los municipios con mayor cantidad de datos reportados son: Matehuala, San Luis Potosí y Villa de Ramos.

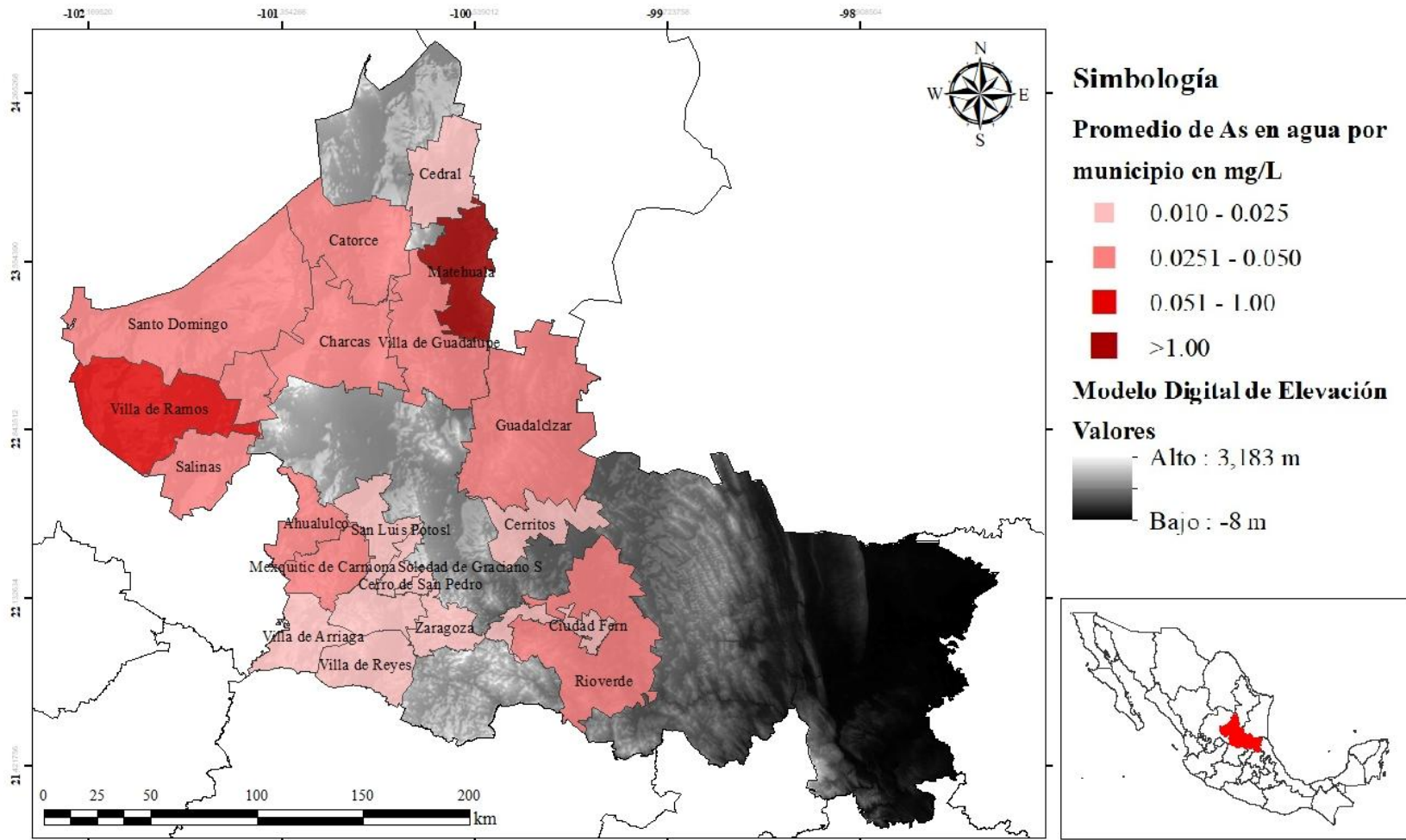


Figura 4. Municipios con antecedentes de aprovechamientos contaminados con As por encima de la normativa nacional y el valor guía de la OMS.

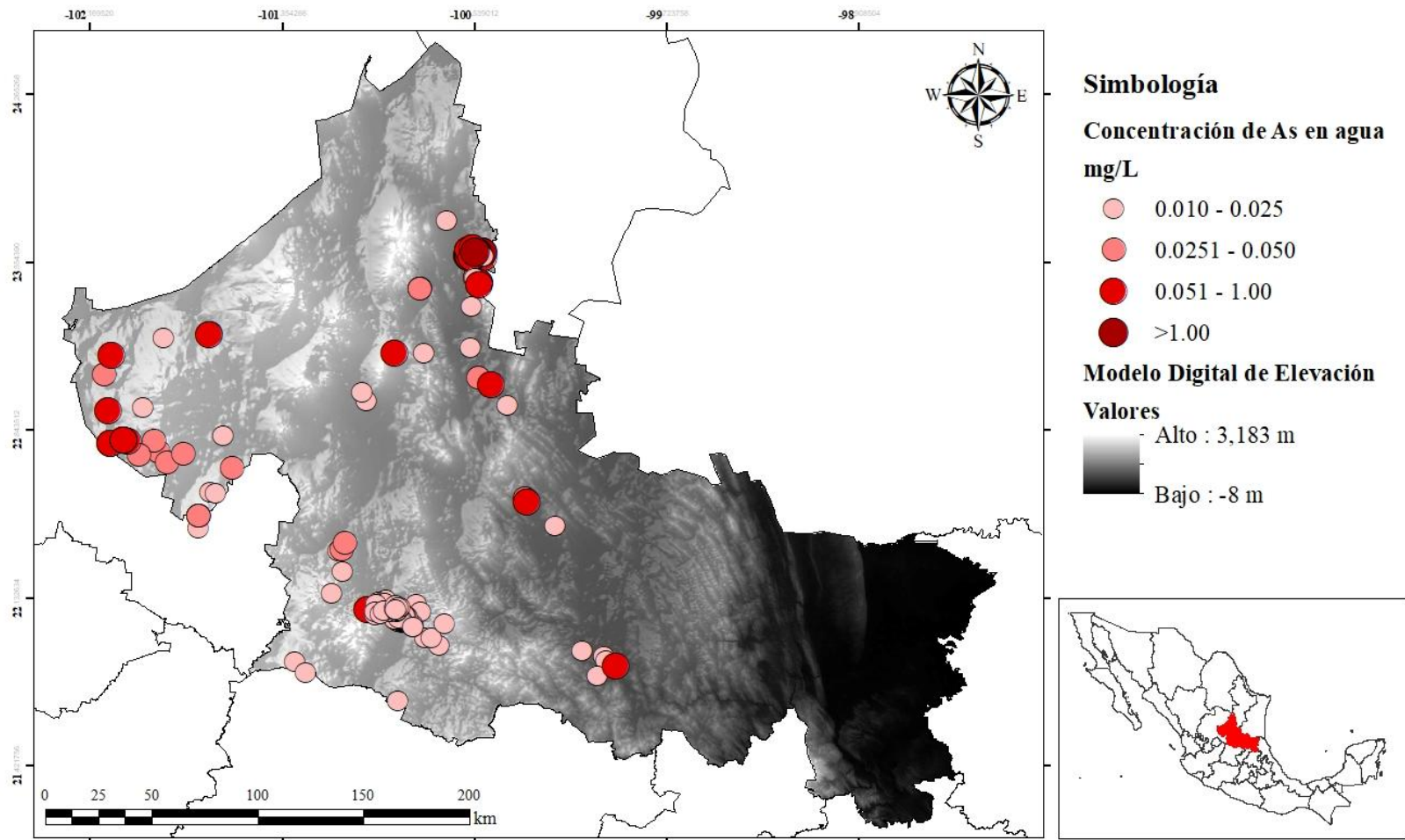


Figura 5. Distribución geográfica de aprovechamientos de agua con antecedentes de contaminación de As en el estado de San Luis Potosí.

3.4. Concentraciones de Arsénico medidas

Como resultado de los viajes prospectivos y de muestreo, algunas dificultades fueron puestas en evidencia ya que algunos pozos fueron encontrados sin agua, con equipo atrofiado, inactivos, inaccesibles para muestreo o incluso algunos más ni siquiera fueron localizados en las coordenadas reportadas. Sin embargo, se colectaron las muestras en los pozos activos cuyo reporte de As total se muestra a continuación (Tabla 11):

Tabla 11. Resultados de concentración de As total de los candidatos a remediación por tecnología SART.

Referencia	Sitio de muestreo	As total (mg/L)		
Candidato 1	Las Colonias, Salinas de Hidalgo.	ND		
Candidato 2	Escuela Secundaria, Salinas de Hidalgo.	ND		
Candidato 3	Pozo Sauz de Calera, Villa de Ramos.	ND	ND	ND
Candidato 4	Pozo El Salitral, Villa de Ramos.	SD		
<i>ND= No detectable, SD=Sin Dato.</i>				

En el pozo El Salitral no fue posible tomar muestra de agua debido a que se encuentra sellado por la alta concentración de As y así evitar que los pobladores la utilicen en sus actividades diarias. Los pobladores y antiguos usuarios del pozo son conscientes del problema de contaminación del agua subterránea que abastece los pozos de El Salitral gracias a las acciones que ha tomado la CONAGUA para evitar el consumo de agua con As. Por lo anterior, se muestrearon los pozos activos de la zona y cercanos al pozo contaminado (Figura 6) para determinar el comportamiento y distribución del As. Las muestras colectadas arrojaron los siguientes resultados (Tabla 12):

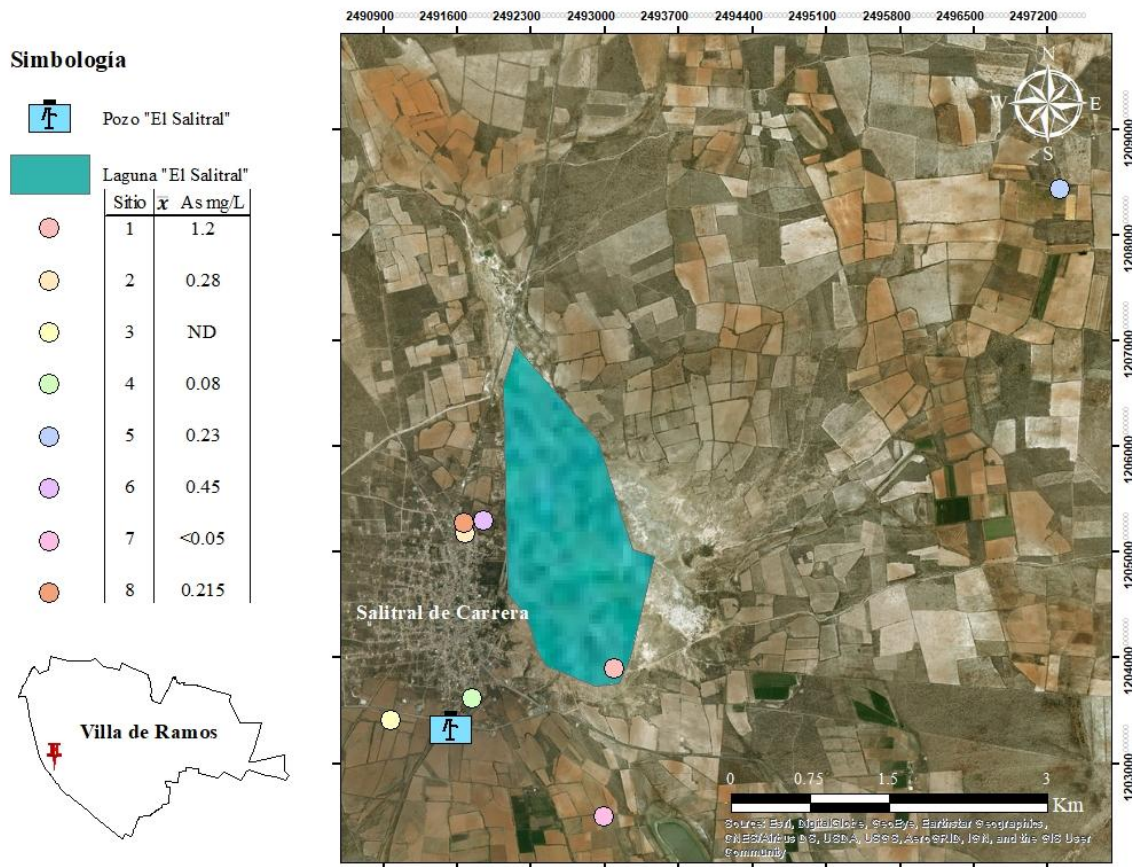


Figura 6. Distribución geográfica de los puntos de muestreo.

Tabla 12. Concentración de arsénico para las muestras tomadas en la localidad El Salitral.

Número de referencia	Sitio de muestreo	As total (mg/L)	
1	La laguna	1.20	
2	Agua de grifo	0.28	
3	Terreno	ND	ND
4	Flores	ND	0.08
5	Bodega	0.20	0.23
6	Establo	0.49	0.41
7	Noria	<0.05	ND
8	Bombeo	ND	0.23

ND= No detectable.

A su vez, se tramitó una anuencia con la CONAGUA para la intervención del pozo El Salitral a fin de poder corroborar la concentración de As en agua y realizar los estudios necesarios. Dicha anuencia fue concedida y dicha intervención se encuentra en proceso.

3.5. Estudio toxicológico del riesgo a la salud humana por exposición a Arsénico en agua

A partir de la búsqueda de información, se obtuvo un resultado total de 164 elementos afines a los criterios y palabras clave. Sin embargo, sólo 33 de ellos fueron recursos de acceso abierto y por tanto fueron los únicos recursos considerados en esta tesis. Adicionalmente, se enlistan las ecuaciones que cada artículo empleó para realizar el análisis de estimación de riesgo a la salud humana (Tabla 13).

Tabla 13. Artículos de acceso abierto encontrados a partir de la búsqueda especializada utilizando como buscador Web of Science.

	Título	Autores/Autoras	Ecuaciones para la estimación de riesgo	Variables
1	“Groundwater hydrogeochemistry and probabilistic health risk assessment through exposure to arsenic-contaminated groundwater of Meghna floodplain, central-east Bangladesh”.	Saha, Narottam; Rahman, M. Safiur.	$ADI = \frac{(C)(IR)(EF)(ED)}{(BW)(AT)}$ $HQ = \frac{(ADI)}{RfD}$ $ILCR = ADI \times CSF$	<p>ADI (µg/kg/día) es el promedio de ingesta diaria. C (µg/L) la concentración de As en agua. IR (L/día) el promedio de agua ingerida. EF (días/año) la frecuencia de exposición. ED (años) la duración de la exposición. BW (kg) el peso. AT (días) es el tiempo promedio durante el cual se promedia la exposición. HQ es el cociente de riesgo. RfD (µg/kg/día) es la Dosis Referencia. ILCR es el riesgo de cáncer incremental de por vida. CSF es el Factor de Pendiente de Cáncer.</p>
2	“Trace metals contamination in groundwater and implications on human health: comprehensive assessment using hydrogeochemical and geostatistical methods”.	Brindha, K.; Paul, Rajib; Walter, Julien; Tan, Mou Leong; Singh, Mahesh Kumar.	$ADI = \frac{(C)(IR)(EF)(ED)}{(BW)(AT)}$ $HQ = \frac{(ADI)}{RfD}$	<p>ADI (mg/kg/día) es el promedio de ingesta diaria. C (mg/L) la concentración de As en agua. IR (L/día) el promedio de agua ingerida. EF (días/año) la frecuencia de exposición. ED (años) la duración de la exposición. BW (kg) el peso. AT (días) es el tiempo promedio durante el cual se promedia la exposición. HQ es el cociente de riesgo. RfD (mg/kg/día) es la Dosis Referencia.</p>
3	“Risk assessment of fluoride and arsenic in groundwater and a scenario analysis for reducing exposure in Inner Mongolia”.	Nakazawa, Koyomi; Nagafuchi, Osamu; Otede, Uchralt; Chen, Ji-qun; Kanefuji, Koji; Shinozuka, Ken'ichi.	$ADI = \frac{(C)(IR)(EF)(ED)}{(BW)(AT)}$ $HQ = \frac{(ADI)}{RfD}$	<p>ADI (µg/kg/día) es el promedio de ingesta diaria. C (µg/L) la concentración de As en agua. IR (L/día) el promedio de agua ingerida. EF (días/año) la frecuencia de exposición. ED (años) la duración de la exposición. BW (kg) el peso. AT (días) es el tiempo promedio durante el cual se promedia la exposición.</p>

				<p>HQ es el cociente de riesgo. RfD (µg/kg/día) es la Dosis Referencia.</p>
4	<p>“Critical evaluation of human health risks due to hydraulic fracturing in natural gas and petroleum production”.</p>	<p>Klaus-Michael Wollin; G. Damm; H. Foth; A. Freyberger; T. Gebel; A. Mangerich; U. Gundert-Remy; F. Partosch; C. Röhl; T. Schupp; Jan G. Hengstler.</p>	$HQ = \frac{(ADI)}{RfD}$ <p>Índice de Riesgo=</p> $\sum_{n=1}^n \text{Cocientes de riesgo}$	<p>ADI (mg/kg/día) es el promedio de ingesta diaria. HQ es el cociente de riesgo. RfD (mg/kg/día) es la Dosis Referencia. n es el número total de sustancias químicas.</p>
5	<p>“Heavy Metals and Related Human Health Risk Assessment for River Waters in the Issyk-Kul Basin, Kyrgyzstan, Central Asia”.</p>	<p>Liu, Wen; Ma, Long; Li, Yaoming; Abuduwaili, Jilili; Uulu, Salamat Abdyzhapar.</p>	$ADI = \frac{(C)(IR)(EF)(ED)}{(BW)(AT)}$ $HQ = \frac{(ADI)}{RfD}$ $CR = ADI \times CSF$	<p>ADI (mg/kg/día) es el promedio de ingesta diaria. C (mg/L) la concentración de As en agua. IR (L/día) el promedio de agua ingerida. EF (días/año) la frecuencia de exposición. ED (años) la duración de la exposición. BW (kg) el peso. AT (días) es el tiempo promedio durante el cual se promedia la exposición. HQ es el cociente de riesgo. RfD (mg/kg/día) es la Dosis Referencia. CR es el riesgo carcinogénico. CSF es el Factor de Pendiente de Cáncer.</p>
6	<p>“Assessing Drinking Water Quality at the Point of Collection and within Household Storage Containers in the Hilly Rural Areas of Mid and Far-Western Nepal”.</p>	<p>Daniel, D.; Diener, Arnt; Van de Vossenberg, Jack; Bhatta, Madan; Marks, Sara J.</p>	No aplica.	
7	<p>“Human health risk assessment of elevated and variable iron and manganese intake with</p>	<p>Ghosh, Gopal Chandra; Khan, Md Jahed Hassan; Chakraborty, Tapos Kumar; Zaman, Samina;</p>	$ADI = \frac{(C)(IR)(EF)(ED)}{(BW)(AT)}$ $HQ = \frac{(ADI)}{RfD}$	<p>ADI (mg/kg/día) es el promedio de ingesta diaria. C (mg/L) la concentración de As en agua. IR (L/día) el promedio de agua ingerida. EF (días/año) la frecuencia de exposición.</p>

	arsenic-safe groundwater in Jashore, Bangladesh”.	Kabir, A. H. M. Enamul; Tanaka, Hiroaki.		ED (años) la duración de la exposición. BW (kg) el peso. AT (días) es el tiempo promedio de exposición. HQ es el cociente de riesgo. RfD (mg/kg/día) es la Dosis Referencia.
8	“Health Risk Assessment of Heavy Metal Pollution in Groundwater Around an Exposed Dumpsite in Southwestern Nigeria”.	Laniyan, Temitope A.; Adewumi, Adeniyi J.	$\text{Riesgo} = \sum_{k=1}^n ADI \text{ CSF}$	ADI (mg/kg/día) es el promedio de ingesta diaria. CSF es el Factor de Pendiente de Cáncer.
9	“Isolation distance between municipal solid waste landfills and drinking water wells for bacteria attenuation and safe drinking”.	Xiang, Rui; Xu, Ya; Liu, Yu-Qiang; Lei, Guo-Yuan; Liu, Jing-Cai; Huang, Qi-Fei.	No aplica.	
10	“Environmentally Sensitive Elements in Groundwater of an Industrial Town in India: Spatial distribution and Human Health Risk”.	Singh, Dapinder Deep; Thind, Parteek Singh; Sharma, Mukta; Sahoo, Sashikanta; John, Siby.	Intake ingestion = $\frac{(C)(IR)(EF)(ED)}{(BW)(AT)}$ HQ ingestion = $\frac{(\text{Intake ingestion})}{RfD}$ R ingestion = Intake ingestion × CSF	Intake ingestion(mg/kg/día) es el promedio de ingesta diaria. C (mg/L) la concentración de As en agua. IR (L/día) el promedio de agua ingerida. EF (días/año) la frecuencia de exposición. ED (años) la duración de la exposición. BW (kg) el peso. AT (días) es el tiempo promedio durante el cual se promedia la exposición. HQ ingestion es el cociente de riesgo. RfD (mg/kg/día) es la Dosis Referencia. R es el riesgo carcinogénico. CSF es el Factor de Pendiente de Cáncer.
11	“Occurrence and distribution of organic and inorganic pollutants in groundwater”.	Kurwadkar, Sudarshan.	No aplica.	

12	“Drinking Water Quality Assessment of Ergene River Basin (Turkey) by Water Quality Index: Essential and Toxic Elements”.	Tokatli, Cem.	No aplica.	
13	“Hazardous pollutants in potable groundwater sources of public schools, Southern Punjab (Pakistan)”.	Sarfraz, Muhammad; Sultana, Nargis; Tariq, Muhammad Ilyas.	$CDI = \frac{(Lw)(Mc)}{Wb}$ $HRI = \frac{CDI}{RfD} \times 0.001$	<p>CDI (µg/L/kg/día) es la ingesta diaria crónica.</p> <p>Lw (L/día) es la cantidad de agua consumida diariamente.</p> <p>Mc (µg/L) es la concentración del contaminante en el agua.</p> <p>Wb (kg) es el peso.</p> <p>HRI es la evaluación de riesgos para la salud.</p> <p>RfD (mg/kg/día) es la Dosis Referencia.</p> <p>0.001 Factor de conversión de mg a µg.</p>
14	“Health Risk Surveillance of Arsenic in Wastewater, Groundwater, and Agricultural Land along Hudaira Drain, Pakistan Using GIS Techniques”.	Javaid, Ambreena; Ahmad, Sajid Rashid; Qadir, Abdul.	$CDI = \frac{(C)(EF)(ED)(IRW)}{(365)(ED)(BW)}$ $CDI = \frac{(C)(IFW)}{AT}$ <p>Donde:</p> $IFW = \frac{((ED)(EF)(IRW))}{BW} + \frac{((ED \text{ resident} - ED \text{ child})(IRW))}{BW}$ $ELCR = (CDI)(SF)$ $HQ = \frac{CDI}{RfD}$	<p>CDI (mg/kg/día) es la ingesta diaria crónica.</p> <p>C (mg/L) es la concentración.</p> <p>EF (días/año) es la frecuencia de exposición.</p> <p>ED (años) es la duración de la exposición.</p> <p>IRW (L/día) es la tasa de ingesta diaria.</p> <p>BW (kg) es el peso.</p> <p>AT (día) es el tiempo promedio - cancerígeno.</p> <p>ELCR es el exceso de riesgo de cáncer de por vida.</p> <p>SF es el factor de pendiente oral.</p> <p>HQ es el cociente de riesgo.</p> <p>RfD (mg/kg/día) es la Dosis Referencia.</p>
15	“Assessing Residential Exposure Risk from Spills of Flowback Water from Marcellus Shale	Abualfaraj, Noura; Gurian, Patrick L.; Olson, Mira S.	$TCR = \text{IngR} + \text{InR} + \text{DR}$ $THI = \text{IngHI} + \text{InHI} + \text{DHI}$	<p>TCR es riesgo de cáncer total.</p> <p>IngR es el riesgo de ingesta.</p> <p>InR es el riesgo de inhalación.</p> <p>DR es el riesgo dérmico.</p> <p>THI es el índice total de riesgo.</p>

	Hydraulic Fracturing Activity”.			<p>IngHI es índice de riesgo por ingesta. InHI es el índice de riesgo por inhalación. DHI es el índice de riesgo por contacto dérmico.</p>
16	“Health Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Water near a Uranium Tailing Pond in Jiangxi Province, South China”.	He, Liu; Gao, Bai; Luo, Xin; Jiao, Jimmy; Qin, Huanhuan; Zhang, Chunyan; Dong Yihui.	$CDI = \frac{(D)(C)}{BW}$ $HI = \frac{CDI}{((RfD)(76.5))(10^{-6})}$ $RI = \frac{(CDI)(SF)}{76.5}$	<p>CDI (µg/kg/día) es la ingesta diaria crónica. D (L/día) es la ingesta diaria promedio de agua potable. C (µg/L) es la concentración del contaminante en el agua. BW (kg) es el peso. HI es el riesgo no cancerígeno. RfD (mg/kg/día) es la Dosis Referencia. RI es el riesgo carcinogénico. CDI representa el índice diferente recomendado por la US EPA para estimar la ingesta oral. SF (kg/día/mg) es es el factor de pendiente de un carcinógeno. 76.5 es la esperanza de vida media según la estadística recomendada por la OMS.</p>
17	“Exploratory Assessment of Risks from Drinking and Recreational Water Exposure to Children in the State of New Jersey”.	Owen, Brandon M.; Sunger, Neha.	$ECR = \frac{(C)(IR)(EF)(ED)}{(BW)(LT)} \times SF$ $HQ = \frac{(C)(IR)}{BW} / RfD$	<p>ECR es el cálculo para el exceso de riesgo de cáncer. C es la concentración. IR es la tasa de ingesta. EF es la frecuencia de exposición adecuada para cada escenario. ED es la duración de exposición en infantes. BW es el peso promedio en infantes. LT es el promedio de vida. SF es el factor de pendiente oral. HQ es el cociente de riesgo. RfD (mg/kg/día) es la Dosis Referencia.</p>
18	“Groundwater Quality Analysis for Human Consumption: A Case Study of Sukkur City, Pakistan”.	Laghari, Abdul Nasir; Siyal, Zafar Ali; Bangwar, Daddan K.; Soomro, Mohsin Ali; Walasai, Gordhan; Shaikh, Faheem Akhter.	No aplica.	

19	“Dietary Exposure of Contaminants through Drinking Water and Associated Health Risk Assessment”.	Akhtar, Sana; Fatima, Rida; Soomro, Zamir Ahmed; Hussain, Munawar; Ahsan, Mufeezah; Ahmad, Sajid Rashid.	$ED = \frac{(C)(IR)(ED)(EF)}{(BW)(AT)}$ $HQ = \frac{ED}{RfD}$ $CR = ED \times CSF$	<p>ED es la dosis de exposición. C (mg/L) la concentración de As en agua. IR (L/día) el promedio de agua ingerida. EF (días/año) la frecuencia de exposición. ED (años) la duración de la exposición. BW (kg) el peso. AT (días) es el promedio de vida. HQ es el cociente de riesgo. RfD (mg/kg/día) es la Dosis Referencia. CR es el riesgo de cáncer. CSF es el Factor de Pendiente de Cáncer.</p>
20	“Determination of Arsenic and Health Risk Assessment in the Ground Water of Sindh, Pakistan”.	Bhatti, Zulfiqar Ali; Qureshi, Khadija; Bhatti, Inamullah; Unar, Imran Nazir; Khuhawar, Mohammad Yar.	$EDI = Cm \left(\frac{Dw}{Bw} \right)$ $THQ = \frac{EDI}{RfD}$ $CR = EDI \times CSF$	<p>EDI es la ingesta diaria estimada. Cm (µg/L) es la concentración del contaminante químico. Dw (L/día) es el promedio de agua ingerida. Bw (kg) el peso. THQ es el blanco del cociente de riesgo. RfD (mg/kg/día) es la Dosis Referencia. CSF es el Factor de Pendiente de Cáncer.</p>
21	“Human Health Risk Assessment Applied to Rural Populations Dependent on Unregulated Drinking Water Sources: A Scoping Review”.	Ford, Lorelei; Bharadwaj, Lalita; McLeod, Lianne; Waldner, Cheryl.	No aplica.	
22	“Rice is a potential dietary source of not only arsenic but also other toxic elements like lead and chromium”.	Shraim, Amjad M.	No aplica.	
23	“Spatial Analysis of Human Health Risk Due to Arsenic Exposure	Liang, Ching-Ping; Chien, Yi-Chi; Jang, Cheng-Shin; Chen,	$HQ = \frac{DI}{RfD}$	<p>HQ es el cociente de riesgo. DI (mg/kg/día) es la ingesta diaria. RfD (mg/kg/día) es la Dosis Referencia.</p>

	through Drinking Groundwater in Taiwan's Pingtung Plain”.	Ching-Fang; Chen, Jui-Sheng.	$DI = \frac{C_a(IR)}{BW}$ $TR = \frac{C_a(IR)(EF)(ED)(CSF)}{(BW)(AT)} (10^{-3})$	<p>C_a (mg/L) es la concentración del contaminante químico en el agua.</p> <p>IR (L/día) es el promedio de agua ingerida.</p> <p>BW (kg) es el peso.</p> <p>TR es el riesgo de cáncer.</p> <p>EF (días/año) es la frecuencia de exposición.</p> <p>ED (años) es la duración de la exposición.</p> <p>CSF es el Factor de Pendiente de Cáncer.</p> <p>AT (días) es el tiempo promedio de exposición a carcinógenos.</p> <p>10⁻³ es un factor de conversión.</p>
24	“Assessment of Availability and Human Health Risk Posed by Arsenic Contaminated Well Waters from Timis-Bega Area, Romania”.	Senila, Marin; Levei, Erika; Cadar, Oana; Senila, Lacrimioara Ramona; Roman, Marius; Puskas, Ferenc; Sima, Mihaela.	$HQ = \frac{ADD}{RfD}$ $ADD_{der} = \frac{(K)(CDGT)(ET)(EF)(ED)(SA) \times 10^{-3}}{(BW)(AT)(365 \text{ días/año})}$ $ADD_{ing} = \frac{(CDGT)(IR)(EF)(ED)}{(BW)(AT)(365 \text{ días/año})}$ <p>CR = ADD x CSF</p>	<p>HQ es el cociente de riesgo.</p> <p>ADD (mg/kg/día) es el promedio de dosis diaria.</p> <p>RfD (mg/kg/día) es la Dosis Referencia.</p> <p>ADD_{der} (mg/kg/día) es el promedio de dosis diaria por absorción dérmica.</p> <p>ADD_{ing} (mg/kg/día) es el promedio de dosis diaria por ingesta.</p> <p>K es el coeficiente de permeabilidad dérmica.</p> <p>CDGT (µg/L) es la concentración del contaminante químico en el agua.</p> <p>EF (días/año) es la frecuencia de exposición.</p> <p>ED (años) es la duración de la exposición.</p> <p>SA (cm²) es la superficie de piel expuesta.</p> <p>BW (kg) es el peso.</p> <p>AT (días) es el promedio de vida (para efectos no cancerígenos AT=ED).</p> <p>IR (L/día) es el promedio de agua ingerida.</p> <p>CR es el riesgo de cáncer.</p> <p>CSF es el Factor de Pendiente de Cáncer.</p>
25	“Arsenic in private well water part 3 of 3: Socioeconomic vulnerability to exposure in Maine and New Jersey”.	Flanagan, Sara V.; Spayd, Steven E.; Procopio, Nicholas A.; Marvinney, Robert G.; Smith, Andrew E.; Chillrud, Steven N.;	No aplica.	

		Braman, Stuart; Zheng, Yan.	
26	“Unraveling Health Risk and Speciation of Arsenic from groundwater in Rural Areas of Punjab, Pakistan”.	Shakoor, Muhammad Bilal; Niazi, Nabeel Khan; Bibi, Irshad; Rahman, Mohammad Mahmudur; Naidu, Ravi; Dong, Zhaomin; Shahid, Muhammad; Arshad, Muhammad.	$ADD = \frac{(C)(IR)(EF)(ED)}{(BW)(AT)}$ $HQ = \frac{(ADD)}{RfD}$ $CR = \frac{(ADD)}{CSF}$ $R = \frac{1}{5000} \times \sum_{k=1}^{5000} C \times k$ <p> ADD es el promedio de dosis diaria. C (mg/L) la concentración de As en agua. IR (L/día) el promedio de agua ingerida. EF (días/año) la frecuencia de exposición. ED (años) la duración de la exposición. BW (kg) el peso. AT (días) es el tiempo promedio de exposición. HQ es el cociente de riesgo. RfD (mg/kg/día) es la Dosis Referencia. CR es el riesgo de cáncer. CSF es el Factor de Pendiente de Cáncer. representa las regiones muestreadas. C es el promedio de concentración de As estimado por el Método Bootstrap. es el tiempo de muestreo en el Método Bootstrap. K es el número aleatorio de muestreo de la distribución para la pendiente del cáncer de As para el agua potable. </p>
27	“Maternal arsenic exposure and birth outcomes: A comprehensive review of the epidemiologic literature focused on drinking water”.	Bloom, Michael S.; Surdu, Simona; Neamtiu, Iulia A.; Gurzau, Eugen S.	No aplica.
28	“Human exposure to arsenic from drinking water in Vietnam”.	Agusa, Tetsuro; Pham Thi Kim Trang ; Vi Mai Lan; Duong Hong Anh; Tanabe, Shinsuke; Pham Hung Viet; Berg, Michael.	No aplica.

29	“Sources of Heavy Metals in Surface Sediments and an ecological Risk Assessment from Two Adjacent Plateau Reservoirs”.	Wu, Binbin; Wang, Guoqiang; Wu, Jin; Fu, Qing; Liu, Changming.	No aplica.	
30	“Distribution of arsenic and risk assessment of activities on a golf course fertilised with arsenic-containing Ascophyllum nodosum seaweed”.	O'Neill, Antonia; Sen Gupta, Bhaskar; Phillips, Debra H.	<p>R= ADI x SF</p> <p>Donde:</p> $ADI = \frac{(C)(AF)(ABS)(CF)(SA)(EV)(EF)(ED)}{(BW)(AT)}$	<p>R es el riesgo. ADI (mg/kg/día) es el promedio de ingesta diaria. SF (mg/kg/día) es el Factor de pendiente de cáncer absorbido. C (mg/L) la concentración de As en agua. AF (mg/cm²) es el Factor de adherencia de suelo. ABS es el factor de absorción para As. CF (kg/mg) el factor de conversión. SA (cm²) es el área superficial expuesta. EV (veces/día) es la frecuencia de eventos o veces al día. EF (días/año) la frecuencia de exposición. ED (años) la duración de la exposición. BW (kg) el peso. AT (días) es el tiempo promedio de exposición a carcinógenos.</p>
31	“Assessment of Regional Groundwater Quality Based on Health Risk in Xi'an Region, PR China”.	Duan, Lei; Sun, Ya-Qiao; Wang, Wen-Ke.	<p>R= E x SF R= 1-exp(-E x SF)</p> $E = \frac{(C)(IR)(EF)(ED)}{(BW)(AT)}$ $HI = \frac{E}{RfD}$ $TR = \sum_{j=1}^n R$	<p>R es el riesgo carcinogénico. E es la dosis de exposición. SF (mg/kg·d) es el coeficiente de gradiente carcinogénico. C (mg/L) la concentración de As en agua. IR (L/día) el promedio de agua ingerida. EF (días/año) la frecuencia de exposición. ED (años) la duración de la exposición. BW (kg) el peso. AT (días) es el tiempo promedio de exposición a carcinógenos. HI es el coeficiente de riesgo. RfD (mg/kg/día) es la Dosis Referencia.</p>

			$\mathbf{THI} = \sum_{h=1}^m \mathbf{HI}$	TR es el total de riesgo carcinogénico. THI es el total de riesgo no carcinogénico.
32	“Plants as Useful Vectors to Reduce Environmental Toxic Arsenic Content”.	Mirza, Nosheen; Mahmood, Qaisar; Shah, Mohammad Maroof; Pervez, Arshid; Sultan, Sikander.	No aplica.	
33	“Arsenic toxicity and carcinogenesis: a public health risk assessment and management approach”.	Tchounwou, P. B.	No aplica.	

Realizar una evaluación de riesgos para la salud permite estimar en qué medida la salud de la población estará en riesgo por beber agua contaminada, considerando tanto el riesgo no canceroso como el riesgo cancerígeno que surge de la ingesta de agua con As. Así pues, se calculó el valor promedio de dosis diaria (DD) para personas adultas e infantes (Tabla 14), dentro de un escenario de análisis donde los pobladores solo toman agua de pozo sin tratamientos de remediación previos:

Tabla 14. Dosis diaria estimada en el escenario de ingesta de agua contaminada sin algún tratamiento previo de remediación.

Dosis diaria	Adultos	Infantes
El Salitral	5.563×10^{-3} (mg/kg)/día	12.98×10^{-3} (mg/kg)/día
Las Colonias	0.943×10^{-3} (mg/kg)/día	2.2×10^{-3} (mg/kg)/día
Sauz de Calera	2.197×10^{-3} (mg/kg)/día	5.13×10^{-3} (mg/kg)/día

Los valores estimados para la evaluación de riesgo no cancerígeno (R) en adultos e infantes se muestran a continuación (Tabla 15). En general, se considera posible un efecto adverso no cancerígeno si el valor de R calculado es superior a 1. Por lo anterior, en este trabajo de tesis se encontró que, para los tres candidatos, existe la probabilidad de desarrollar múltiples padecimientos diferentes a cáncer y que dicho valor de riesgo fue considerablemente mayor en El Salitral.

Tabla 15. Riesgo no cancerígeno estimado en el escenario de ingesta de agua contaminada sin algún tratamiento previo de remediación.

Riesgo no cancerígeno	Adultos	Infantes
El Salitral	18.54	43.27
Las Colonias	3.14	7.33
Sauz de Calera	7.32	17.09

Finalmente, se estimó el riesgo carcinogénico (RC) para adultos e infantes de las tres comunidades con los abastecimientos contaminados, donde el riesgo carcinogénico aumentará a medida que lo hace la dosis diaria (Tabla 16). En general, la US EPA (2004) sugiere que cualquier valor de riesgo estimado mayor a 10^{-6} se considera inaceptable. Por lo anterior, el valor estimado de riesgo carcinogénico para adultos e infantes de las tres comunidades se considera no aceptable toda vez que fue hasta tres órdenes de magnitud mayor al riesgo aceptable sugerido por la US EPA.

Tabla 16. Riesgo cancerígeno estimado en el escenario de ingesta de agua contaminada sin algún tratamiento previo de remediación.

Riesgo carcinogénico	Adultos	Infantes
El Salitral	3.709×10^{-3}	8.653×10^{-3}
Las Colonias	0.628×10^{-3}	1.467×10^{-3}
Sauz de Calera	1.465×10^{-3}	3.418×10^{-3}

Basado en los resultados obtenidos para este escenario de estudio en donde se asume que el 100% del agua que es consumida está contaminada, la probabilidad de desarrollar enfermedades como melanosis, hiperqueratosis, enfermedad pulmonar restrictiva, gangrena, hipertensión, enfermedad arterial periférica, lesiones cutáneas y, cáncer de pulmones y piel derivado de la exposición a As es alta.

3.6. Criterios e indicadores para evaluar la viabilidad de instalación de la tecnología SART en comunidades con agua contaminada con As

Como propuesta para la selección del sitio a remediar con un prototipo de tecnología SART, se construyó una rúbrica que integra aspectos mínimos a considerar para coadyuvar

a solucionar el problema de As en agua en comunidades mexicanas dentro del marco de la innovación social (Tabla 17). Dicha herramienta evalúa la factibilidad desde distintos rubros, cuantificando aspectos biohidrogeoquímicos, facilidades de instalación y acceso, número de personas beneficiadas, la disponibilidad de los actores relevantes y tomadores de decisiones, el nivel de apremio por resolver la problemática, además de las generalidades del entorno social y económico del sitio.

La rúbrica pondera un total de 19 criterios: Contaminación del agua, Tipo de aprovechamiento, Tipo de fuente de contaminación, Relación Fe/As, Disponibilidad de agua del acuífero, Tenencia de tierra, Estado actual del aprovechamiento, Equipamiento, Profundidad del acuífero, Capacidad de reinyección, Disponibilidad de los actores relevantes y tomadores de decisiones, Alcance en número de personas beneficiadas, Percepción de riesgo de la comunidad, Posibilidades de aceptación, Exposición a As, Tipos de exposición, Riesgo toxicológico, Grado de marginación y Ruralidad.

A su vez, cada criterio puede recibir un puntaje dependiendo de la información disponible, lo que le asignará la calificación de “Alta”, “Media”, “Nula” y “Sin información”. De este modo, los sitios más factibles de remediar con el prototipo de tecnología SART serán aquellos que obtengan un puntaje igual o mayor a 13.5 puntos, que equivale a la suma de todos los puntos posibles de obtener en la categoría "Media" (7.5 puntos) y los puntos donde las categorías “Media” y “Alta” fueron la misma (6 puntos). Tal es el caso de los criterios: Tipo de Aprovechamiento, Disponibilidad de agua del acuífero, Tenencia de tierra y Tipos de exposición.

Tabla 17. Rúbrica seleccionar sitios más altamente factibles de remediar usando la tecnología SART.

Criterios	Viabilidad de instalación de la tecnología SART			
	Biohidrogeoquímicos			
Calificación	Alta	Media	Nula	Sin información
Puntaje	1 punto	0.5 puntos	0 puntos	-0.5 puntos
Contaminación del agua	El agua del aprovechamiento está contaminada con As*.	El agua del aprovechamiento no está contaminada con As pero presenta concentraciones mayores a lo recomendado por la OMS”.	El agua del aprovechamiento presenta concentraciones menores a lo recomendado por la OMS”.	
Tipo de aprovechamiento	El aprovechamiento a remediar es de tipo subterráneo.		El aprovechamiento a remediar es de tipo superficial.	
Tipo de fuente de contaminación	La fuente de contaminación de As es de tipo natural.	La fuente de contaminación de As se desconoce.	La fuente de contaminación de As es de tipo antropogénico.	
Relación Fe/As	La relación Fe/As es mayor a 10.	La relación Fe/As es igual a 10.	La relación Fe/As es menor a 10 pero mayor a 1.	
Disponibilidad de agua del acuífero	El nivel de Disponibilidad Media Anual de Agua Subterránea se encuentra en condición de déficit con valores negativos.		El nivel de Disponibilidad Media Anual de Agua Subterránea se encuentra en condición de disponibilidad con valores positivos.	
Facilidades de instalación y acceso				
Tenencia de tierra	El aprovechamiento a remediar se encuentra en terreno comunitario o ejidal.		El aprovechamiento a remediar no se encuentra en terreno comunitario o ejidal	
Estado actual del aprovechamiento	El aprovechamiento a remediar se encuentra fuera de uso en la	El aprovechamiento a remediar se encuentra en uso pero se podría	El aprovechamiento a remediar se encuentra en uso y su paro	

	actualidad.	parar sin ocasionar problemas de abasto a la población usuaria.	ocasionaría problemas de abasto a la población usuaria.	
Equipamiento	El aprovechamiento a remediar se encuentra equipado y el equipo funciona.	El aprovechamiento a remediar se encuentra equipado pero se desconoce si el equipo funciona.	El aprovechamiento a remediar no se encuentra equipado.	
Profundidad del acuífero	El nivel estático del aprovechamiento a remediar es menor a 30 m.	El nivel estático del aprovechamiento a remediar se encuentra entre los 31 y los 69 m.	El nivel estático del aprovechamiento a remediar es mayor a 70 m.	
Capacidad de reinyección	La reinyección de agua aireada al aprovechamiento a remediar sería posible tanto legislativa como físicamente.	La reinyección de agua aireada al aprovechamiento a remediar sería posible legislativa pero no físicamente, por el momento.	La reinyección de agua aireada al aprovechamiento a remediar no sería posible ni legislativa ni físicamente.	
Disponibilidad de los actores relevantes y tomadores de decisiones	La Comisión Nacional del Agua, el Comisariado Ejidal del sitio y la población se han mostrado participativos y respaldan la instalación del prototipo de tecnología SART en el aprovechamiento a remediar.	La Comisión Nacional del Agua, el Comisariado Ejidal del sitio o la población han mostrado falta de interés en la propuesta y/o hay posibilidad de riesgo de que no respalden la instalación del prototipo de tecnología SART en el aprovechamiento a remediar.	Ninguno de los actores relevantes ni tomadores de decisiones está interesado en apoyar la propuesta.	
Número de personas beneficiadas				
Alcance en número de personas beneficiadas	El número de personas beneficiadas podría llegar a ser igual al número de personas de la localidad toda vez que el aprovechamiento se encuentra en terreno comunitario o ejidal.	El número de personas beneficiadas podría ser mucho menor al de la localidad toda vez que el aprovechamiento se encuentra en propiedad privada pero en medio de una	El número de personas beneficiadas podría ser considerablemente menor que el número de personas de la localidad toda vez que el aprovechamiento se encuentra en	

		comunidad.	propiedad privada y en un lugar remoto.	
Apremio por resolver la problemática				
Percepción de riesgo de la comunidad	La población afectada reconoce la situación como un problema ambiental y de salud, por lo que se consideran en riesgo.	La población afectada conoce de forma ambigua la problemática ambiental y de salud.	La población afectada desconoce el problema ambiental y en consecuencia las afectaciones a la salud.	
Posibilidades de aceptación	La aceptación y adopción de la tecnología SART por parte de los habitantes es altamente factible.	El proceso de aceptación y adopción a la tecnología SART por parte de los habitantes podría ser complicado pero factible.	No existen posibilidades de aceptación y adopción de la tecnología SART por parte de los habitantes.	
Exposición a As	Las personas usuarias del aprovechamiento han estado expuestas a concentraciones de As mayores al límite máximo permisible de la normatividad mexicana* durante al menos 5 años.	Las personas usuarias del aprovechamiento han estado expuestas a concentraciones de As mayores al límite máximo permisible de la OMS” durante al menos 5 años.	Las personas usuarias del aprovechamiento no han estado ni están expuestas a concentraciones de As.	
Tipos de exposición	Las personas usuarias están expuestas al contaminante por vía oral, vía dérmica o ambas, al beber, preparar alimentos o realizar actividades dentro del hogar con el agua del aprovechamiento contaminado.		Las personas usuarias no beben ni preparan alimentos con el agua contaminada, además, tampoco la usan para actividades dentro del hogar.	
Riesgo toxicológico	El índice de toxicidad calculado con la concentración de As reportada para el aprovechamiento es mayor al valor de la dosis mínima para la cual ya se han observado efectos adversos (LOAEL)%.	El índice de toxicidad calculado con la concentración de As reportada para el aprovechamiento es mayor al valor de seguridad en la cual no debe haber efecto alguno RfD)&. y menor a LOAEL.	El índice de toxicidad calculado con la concentración de As reportada para el aprovechamiento es menor a la dosis de seguridad en la cual no debe haber efecto alguno RfD)&.	
Entorno social y económico				

Grado de marginación	El grado de marginación* de la localidad en donde se encuentra el aprovechamiento a remediar es muy alto o alto.	El grado de marginación de la localidad en donde se encuentra el aprovechamiento a remediar es medio o bajo.	El grado de marginación de la localidad en donde se encuentra el aprovechamiento a remediar es muy bajo.	
Ruralidad	La localidad en donde se encuentra el aprovechamiento a remediar tiene una población con un número de habitantes entre 500 y 2,500. Además, está lejos de las grandes urbes con pocos comercios dentro de la localidad.	La localidad en donde se encuentra el aprovechamiento a remediar tiene una población con un número de habitantes entre 500 y 2,500. Se encuentra lejos de las grandes urbes pero tiene una diversa actividad comercial dentro de la localidad.	La localidad en donde se encuentra el aprovechamiento a remediar tiene una población con un número de habitantes mayor a 2,500.	

*De acuerdo a la normatividad mexicana, el agua para uso consumo humano está contaminada si su concentración alcanza los 0.025 mg/L.

“ De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS) el límite máximo permisible de As en agua para consumo humano es 0.010 mg/L.

^Disponibilidad de las aguas nacionales por acuífero según la Ley de Aguas Nacionales y la Comisión Nacional del Agua publicado en el Diario Oficial de la Federación.

% Dosis=0.014 mg/Kg/día.

& Dosis=0.0003 mg/Kg/día.

*A partir de nueve indicadores de exclusión social expresados en forma de porcentaje: población analfabeta de 15 años o más; población sin primaria completa de 15 años o más; ocupantes en viviendas particulares sin agua entubada; ocupantes en viviendas particulares sin drenaje ni servicio sanitario exclusivo; ocupantes en viviendas particulares con piso de tierra; ocupantes en viviendas particulares sin disponibilidad de energía eléctrica; viviendas particulares con algún nivel de hacinamiento; población en localidades con menos de 5,000 habitantes; y, población ocupada con ingresos de hasta dos salarios mínimos.

Índice de ruralidad: En México, la medición de lo rural para la política pública , y en algunos casos en la investigación, se basa en la definición censal.

Finalmente, con esta herramienta se evaluaron los pozos “El Salitral”, “Las Colonias” y “Sauz de Calera”, calificados con los siguientes puntajes (Tabla 18):

Tabla 18. Evaluación de los candidatos a remediación con los criterios formulados.

	El Salitral	Las Colonias	Sauz de Calera
Contaminación del agua	-0.5	0	0
Tipo de aprovechamiento	1.5	1.5	1.5
Tipo de fuente de contaminación	1	0.5	0.5

Relación Fe/As	-0.5	-0.5	-0.5
Disponibilidad de agua del acuífero	1.5	1.5	1.5
Tenencia de tierra	1.5	0	1.5
Estado actual del aprovechamiento	1	0	0
Equipamiento	0.5	1	1
Profundidad del acuífero	1	0	-0.5
Capacidad de reinyección	1	-0.5	1
Disponibilidad de los actores relevantes y tomadores de decisiones	1	1	1
Alcance en número de personas beneficiadas	1	0	1
Percepción de riesgo de la comunidad	1	0	0
Posibilidades de aceptación	1	-0.5	1
Exposición a As	1	-0.5	-0.5
Tipos de exposición	1.5	1.5	1.5
Riesgo toxicológico	0.5	0.5	0.5
Grado de marginación	1	1	1
Ruralidad	0	1	0.5
Puntaje acumulado	16	7.5	12

A través de la evaluación desde un enfoque de innovación social se eligió el pozo “El Salitral” como el sitio más apremiante y factible de remediar, siendo el único de los 3 sitios evaluados en esta investigación con un puntaje mayor al mínimo requerido.

3.7. Formato de encuesta para la evaluación de percepción de riesgo

A partir de la búsqueda de información, se seleccionaron 6 recursos bibliográficos con herramientas de medición para la percepción de riesgos, 4 de tipo tesis y 2 artículos de acceso abierto (Tabla 19).

Tabla 19. Recursos bibliográficos seleccionados de la búsqueda de información abierta en Google.

	Título	Autores/Autoras	Tipo de herramienta
1	“Percepción y medición de riesgo a metales en una población expuesta a residuos mineros”.	Sandra Cortes Arancibia.	Cuestionario
2	“Percepción de los problemas ambientales por parte de la población en la ciudad de Naranjos, Veracruz”.	Raúl Castellanos Medellín	Cuestionario
3	“Un estudio sobre la percepción del riesgo de poblaciones vulnerables al cambio climático en la cuenca del Papaloapan”.	Brenda Ávila Flores	Entrevista
4	“Percepción social en la gestión del riesgo de inundación en un área mediterránea (Costa Brava, España)”.	Alejandro Lara San Martín	Encuesta
5	“Percepción de riesgos, conducta proambiental y variables demográficas en una comunidad de Sonora, México”.	Victor Corral Verdugo, Martha Frías Armenta y Daniel González Lomelí.	Encuesta
6	“Risk perception of heavy metal soil contamination by high-exposed and low-exposed inhabitants: The role of knowledge and emotional concerns”.	Dirk Grasmük y Roland W. Scholz.	Encuesta

Con ello, se diseñó un cuestionario para estimar la percepción de riesgo por parte de los pobladores de El Salitral previo a la instalación del prototipo. Esta herramienta permitirá de forma simultánea obtener información para el diseño del plan de trabajo, tanto para la implementación como para el seguimiento, así como las estrategias que deberán emplearse para lograr un impacto social.

A continuación se presenta el formato de cuestionario que se sugiere aplicar como encuesta, una breve introducción para contextualizar a las personas entrevistadas, así como una carta de consentimiento con las consideraciones éticas necesarias para el uso de sus respuestas.

a) INTRODUCCIÓN

Buenas tardes, yo soy _____ y quiero invitarle a responder una encuesta para un proyecto de remediación de agua contaminada que estoy realizando como estudiante del Instituto de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., localizado en la ciudad de San Luis Potosí.

El propósito de este estudio es reactivar y remediar el pozo viejo de El Salitral para proveer a la comunidad de agua segura para tomar y/o cocinar. El objetivo de esta encuesta es determinar la percepción de la población acerca de los problemas medioambientales y de salud a los que pueden estar expuestos en el día a día.

Finalmente, estas respuestas tienen fines académicos por lo que garantizamos que solo se utilizarán en reportes y análisis estadísticos de estudiantes de nuestro instituto, respetando la confidencialidad de datos como su nombre y teléfono, que serán usados únicamente para contactarlos en la evaluación posterior a la activación del pozo.

Por lo anterior, si usted está de acuerdo en participar, le agradecería llenar el formato de consentimiento del cual le proporcionaremos una copia, no sin antes mencionar que usted puede preguntar libremente las dudas que surjan sobre la encuesta y a lo largo de su aplicación.

b) FORMATO DE CONSENTIMIENTO

CONSENTIMIENTO

Lugar _____

Fecha _____

Yo _____ leí y comprendí la información antes explicada. Elijo libre y voluntariamente participar en el estudio titulado “Mitigación de exposición a Arsénico utilizando tecnología verde: Una novedosa solución al problema nacional de arsénico en agua”, realizado por el Instituto de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.

Acepto:

- Contestar las preguntas que me haga la encuestadora o encuestador.
- Ser contactado durante la realización del proyecto en caso de ser necesario.

Reconozco que me han explicado:

- El propósito de este estudio.
- Que esta información sólo será usada para investigación y para reportes estadísticos.
- La confidencialidad de mis datos personales.
- Que este formato se firmará por duplicado para ser entregado a ambas partes involucradas.

FIRMA

c.c.p. Archivo personal

Encuestadora o encuestador: _____.

I. DATOS PERSONALES Y DE IDENTIFICACIÓN

IDENTIFICACIÓN DEL FORMATO	
Clave de identificación (año/mes/día/hora*):	_____
Fecha de la aplicación (día/mes/año):	_____
Nombre del aplicador o aplicadora:	_____
*Anotar la hora en formato de 24 horas	

IDENTIFICACIÓN DEL ENCUESTADO O LA ENCUESTADA	
Nombre:	_____
Género: Mujer __ Hombre __ Mi género está mejor representado por el término _____	
Edad: _____	
Teléfono de contacto: _____	Tipo: Celular __ Fijo __

II. ENCUESTA

i. Variables de control.

1. ¿En dónde nació?

2. ¿Cuántos años lleva viviendo en El Salitral? *Marcar con una X.*

Menos de 1 año	
De 1 a 15 años	
De 15 a 30 años	
Más de 30 años	

3. ¿Cuál fue el último grado escolar que cursó y terminó? *Marcar con una X.*

Primaria	
Secundaria	
Educación Media Superior	

Carrera técnica superior	
Licenciatura / Ingeniería	
Posgrado	
Otra, especifique:	
Ninguna	
No sabe	

ii. Impacto emocional.

4. ¿Qué tan preocupado se siente por los problemas de contaminación? *Marcar con una X.*

Mucho ___ Regular ___ Poco ___ Nada ___ No lo sé ___

5. ¿Hasta qué punto usted siente que los problemas de contaminación de su comunidad le afectan emocionalmente? *Marcar con una X.*

Mucho ___ Regular ___ Poco ___ Nada ___ No lo sé ___

iii. Conocimiento del problema.

6. ¿Cómo definiría la palabra “CONTAMINACIÓN”?

7. ¿Cómo definiría la palabra “QUÍMICOS”?

8. ¿Cómo definiría la palabra “ARSÉNICO”?

9. ¿Cómo definiría la palabra “RIESGO”?

10. ¿Qué contaminantes le podrían causar un problema de salud?

11. ¿Qué agua usan en su familia para beber? *Marcar con una X*

Agua del pozo municipal	
Agua de un pozo de su propiedad	
Agua de garrafones o purificada	

12. ¿Qué agua usan en su familia para preparar sus alimentos? *Marcar con una X*

Agua del pozo municipal	
Agua de un pozo de su propiedad	
Agua de garrafones o purificada	

13. ¿Usted cree que el agua de los pozos es segura para consumo humano? *Marcar con una X.*

Sí _____ No _____

14. ¿Usted sabía que el agua del pozo viejo está contaminada con arsénico? (Si la respuesta es no pasar a la pregunta 19). *Marcar con una X*

Sí _____ No _____

15. ¿Por qué vías se siente más expuesto dicho contaminante? *Marcar con una X.*

Por contacto en la piel	
Por ingerirlo	
Ambas	

iv. Nivel de conocimiento autoestimado.

16. ¿Se siente bien informado sobre ese problema? *Marcar con una X*

Sí _____ No _____

17. ¿Cómo describiría que es el conocimiento que usted tiene acerca de ese problema en comparación con las demás personas de su comunidad? *Marcar con una X*

Mayor ____ Menor ____ Igual ____ Desconozco ____

v. Interés en el tema.

18. ¿Le gustaría saber más acerca de ese problema? *Marcar con una X*

Sí ____ No ____

vi. Heurísticas reductoras de disonancia. ¿En qué medida está de acuerdo con las siguientes afirmaciones? *Marcar con una X*

19. Hay muchas personas que durante toda su vida tomaron el agua del pozo y con ella también prepararon sus alimentos, siempre estaban sanas y murieron a una edad avanzada. Esto prueba que el agua está en buen estado.

Mucho __ Regular __ Poco __ Nada __ No lo sé __

20. Los animales beben el agua del pozo y no se enferman ni se mueren, lo que muestra que la situación no es tan mala.

Mucho __ Regular __ Poco __ Nada __ No lo sé __

21. La instalación de un nuevo pozo comunitario nos proporciona agua segura y resuelve el problema.

Mucho __ Regular __ Poco __ Nada __ No lo sé __

22. Otros problemas de nuestra comunidad son más importantes.

Mucho __ Regular __ Poco __ Nada __ No lo sé __

vii. Sustentabilidad.

23. ¿Cuánto le preocupa que la contaminación por As en agua pueda afectar a las generaciones futuras? *Marcar con una X.*

Mucho ___ Regular ___ Poco ___ Nada ___ No lo sé ___

24. ¿Cuánto le preocupa que la escasez de agua para bebida afectará a las generaciones futuras? *Marcar con una X.*

Mucho ___ Regular ___ Poco ___ Nada ___ No lo sé ___

viii. Noción de riesgo.

25. ¿Cuánto riesgo cree tener por tomar agua con As? *Marcar con una X.*

Mucho ___ Regular ___ Poco ___ Nada ___ No lo sé ___

26. ¿Alguien de su hogar ha tenido o tiene alguna enfermedad crónica como cáncer, problemas del corazón, antecedentes de infartos, enfermedades respiratorias o diabetes?

Sí, ¿cúal (es)? _____ No _____

27. ¿Piensa que existe una relación entre las enfermedades de las y los habitantes de El Salitral y el consumo de agua con As? *Marcar con una X.*

Mucho ___ Regular ___ Poco ___ Nada ___ No lo sé ___

ix. Necesidad de soluciones.

28. ¿En qué medida la población se vería beneficiada con la disminución de As en agua? *Marcar con una X.*

Mucho ___ Regular ___ Poco ___ Nada ___ No lo sé ___

x. Nivel de participación.

29. ¿Le gustaría participar en la implementación de una planta de tratamiento de agua en el pozo viejo de El Salitral?

Sí _____ No _____

xi. Nivel de confianza.

30. Cuánta confianza le da a usted saber información de riesgos a la salud por los siguientes medios: *Marcar con una X*

Desde las autoridades comunitarias	
Desde la televisión y la radio	
Desde periódicos y revistas	
Desde las autoridades federales y estatales del sector salud y del ambiente	
Desde el personal de salud (doctoras, doctores, enfermeras y enfermeros)	
Desde amistades y familiares	
Desde el internet	
Desde científicas y científicos	

Eso sería todo, agradecemos mucho su participación y el tiempo que nos brindó al responder todas estas preguntas.

Por último, se sugiere analizar los datos obtenidos a partir de técnicas estadísticas descriptivas de tendencia central para la obtención de tablas de contingencia. Por otro lado, para conocer las diferencias entre las respuestas de las variables se sugiere aplicar una prueba de χ^2 , de acuerdo a Castellanos (2003). Así pues, se obtendrá un diagnóstico tanto de las percepciones a partir del conocimiento como de la apreciación social y emocional sobre el tema, permitiendo elaborar estrategias para la transferencia del conocimiento, el manejo sustentable de la tecnología y finalmente su exitosa adopción.

Conclusiones

Al menos el 34.48% de los municipios del estado de San Luis Potosí tienen un reservorio de agua subterránea con As por encima de la normativa nacional y el valor guía de la OMS. Dichos municipios comprenden las zonas Altiplano, Centro y Media. A la fecha no hay datos de contaminación de As para la Zona Huasteca.

A través de este estudio se propone una rúbrica para evaluar la factibilidad de instalación de tecnología SART desde un enfoque multidisciplinar de acuerdo a criterios como: las características biohidrogeoquímicas del sitio, las facilidades de instalación y acceso, el número de personas beneficiadas, el apremio por resolver la problemática, la disponibilidad de los actores relevantes y tomadores de decisiones, y finalmente, el entorno social y económico del sitio. Dicha herramienta permitió identificar a El Salitral como sitio prioritario a remediar y podría ser de utilidad a otros grupos de trabajo interesados en implementar un prototipo SART en otro sitio. Los criterios e indicadores de selección aquí formulados dan pauta a una elección más asertiva del sitio a remediar desde una perspectiva multisectorial que apunte hacia la aceptación de la tecnología por parte de la comunidad y las facilidades de instalación por parte de las diversas autoridades y competencias.

El riesgo a la salud de la población de El Salitral estimado en un escenario de análisis donde toda el agua que consumen está contaminada y con base en el riesgo no cancerígeno (R) es de 18.543 para personas adultas y de hasta 43.267 para infantes con un riesgo carcinogénico estimado de tres órdenes de magnitud mayor al límite máximo de riesgo aceptable según la US EPA (2004). Por lo anterior, la población que vive en la comunidad y consume agua directa contaminada con As podría desarrollar múltiples enfermedades asociadas a la exposición, así como cáncer de hígado, riñón, pulmón, vejiga y piel en algún momento de su vida. Estos resultados son congruentes con Bocanegra (2006), quien también demostró que El Salitral es el sitio con mayor riesgo de presentar

hiperpigmentación, queratosis y posible complicación vascular por la exposición a As en comparación con el resto de los sitios muestreados en su investigación. La estimación de la percepción de riesgo por exposición a As en agua permitirá, posteriormente, diseñar las actividades y estrategias de transferencia del conocimiento, abarcando desde los fundamentos básicos o mayormente conocidos hasta los aspectos que los pobladores desconocen. Además, dichos resultados permitirán inferir el nivel de aceptación de la implementación de la tecnología. Si la población reconoce la contaminación del agua con As como un problema, muy probablemente identificarán la necesidad de una solución y por ende mostrarían disposición de participación y adopción de la misma.

Los resultados obtenidos con esta investigación comprueban la hipótesis planteada, demostrando la presencia de As en múltiples aprovechamientos a lo largo del estado y el alto grado de interés por parte de los organismos gubernamentales, la comunidad científica, cuerpos académicos y la sociedad en general para encontrar soluciones efectivas y ser partícipes de los procesos de cambio. Las vinculaciones logradas durante esta investigación se convierten en piezas fundamentales para la implementación de la tecnología SART en El Salitral, consolidando las directrices del proceso, y compilando información relevante que proporciona un panorama integral a nivel estatal del problema de As en el agua. Al mismo tiempo se ejemplifica una nueva forma de abordar dicha problemática, proporcionando metodologías e instrumentos pioneros que permitan migrar esta tecnología a otros sitios a lo largo y ancho del país.

Así pues, la implementación del primer prototipo de tecnología SART en el país representa una área de oportunidad dentro de la ciencia aplicada, en donde la participación interdisciplinaria es la clave para la solución de problemas cotidianos, desde una perspectiva socialmente responsable y sustentable. Finalmente, este trabajo es evidencia de como la ciencia, la tecnología y la innovación social se pueden vincular para la resolución de problemas ambientales dentro de la sociedad, uniendo el quehacer científico, social y político para lograr un mismo fin.

Referencias

Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2007). Toxicological profile for arsenic. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. U.S. Department of Health and Human Services. <http://books.google.es/books?id=T6YxAAAAMAAJ>

Akhtar, S., Fatima, R., Somroo, Z. A., Hussain, M., Ahsan, M., Ahmad, S. R. (2018). Dietary Exposure of Contaminants through Drinking Water and Associated Health Risk Assessment. Polish Journal of Environmental Studies, 27(2), 501-511. <https://doi.org/10.15244/pjoes/75813>

Alam, M. S., Y. Wu, and T. Cheng. 2014. Silicate minerals as a source of arsenic contamination in groundwater. Journal Water, Air & Soil Pollution. 225: 2201-2215.

Alarcón-Herrera, M. T., Martín-Alarcon, D. A., Gutiérrez, M., Reynoso-Cuevas, L., Martín-Domínguez, A., Olmos-Márquez, M. A., & Bundschuh, J. (2020). Co-occurrence, possible origin, and health-risk assessment of arsenic and fluoride in drinking water sources in Mexico: Geographical data visualization. Science of the Total Environment, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134168>

Alfaro de la Torre, M. C., Armienta, M. A., Ortiz-Perez, M. D. (2018). Concentraciones de Arsénico y Fluoruro en Agua Subterránea. En: Ledon, J.M., del Razo, L.M., Jimenez, M. Arsénico y Fluoruro En Agua, Riesgos y Perspectivas Desde La Sociedad Civil y La Académica En México, pp. 38–56.

Armienta, M. A., Rodríguez, R., Aguayo, A., Cenicerros, N., Villaseñor, G. y Cruz O. (1997). Arsenic contamination of groundwater at Zimapan, Mexico. Hydrogeology Journal, 5, 39-46.

Armienta, M. A., Villaseñor, G., Rodríguez, R., Ongley, L. K. y Mango, H. (2001). The role of arsenic-bearing rocks in groundwater pollution at Zimapán Valley, Mexico. Environmental Geology, 40, 571-581.

Arreguín Cortés, F. I., Chávez Guillén, R., Soto Navarro, P. R., Smedley, P. L. (2012). Una revisión de la presencia de arsénico en el agua subterránea en México. Proceedings of the 4th International Congress on Arsenic in the Environment.

Baig, J. A., Kazi, T. G., Arain, M. B., Afridi, H. I., Kandhro, G. A., Sarfraz, R. A., Jamal, M. K., Shah, A. Q. (2009). Evaluation of arsenic and other physico-chemical parameters of

surface and groundwater of Jamshoro. *Journal Hazard Materials*, 166, 662–669.

Barton, L., Mandl, M., & Loy, A. (2010). *Geomicrobiology: Molecular and Environmental Perspective*. Springer.

Birkle, P. & Merkel, B. (2000). Environmental impact by spill of geothermal fluids at the geothermal field Los Azufres, Michoacán, Mexico. *Water, Air, and Soil Pollution*, 124, 371-410.

Bocanegra Salazar, M. (2006). Evaluación de riesgo en salud por la exposición a Fluoruro y Arsénico en agua de pozo para consumo de las zonas Altiplano, Centro y Media del Estado de San Luis Potosí [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de San Luis Potosí].

Boyle, D. R., Turner, R. J. W., Hall, G. E. M. (1998). Anomalous arsenic concentrations in groundwaters of an island community, Bowen Island, British Columbia. *Environmental Geochemistry and Health*, 20, 199-212.

Brindha, K., Paul, R., Walter, J., Tan, M. L. & Singh, M. K. (2020). Trace metals contamination in groundwater and implications on human health: comprehensive assessment using hydrogeochemical and geostatistical methods. *Environmental Geochemistry Health*, 42, 3819–3839. <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00637-9>

Briones Gallardo, R. y Razo Soto, I. (2008). Contaminación de aguas naturales por Arsénico asociado a la actividad minero-metalúrgica: Caso de estudio en San Luis Potosí, México. *Memorias de Congreso*.

British Geological Survey and Department of Public Health Engineering. (2001). Arsenic contamination of groundwater in Bangladesh. En: Kinniburgh D.G., Smedley P.L. (eds.). *BGS Technical Report WC/00/19*.

Brookins, D. G. (1988). *Eh-pH diagrams for geochemistry*. Springer-Verlag.

Buckland, H., & Murillo, D. (2013). *Vías hacia el cambio sistémico. Ejemplos y variables para la innovación social*. ESADE. Instituto de Innovación Social.

Bueno Pedroza, A. (2005). Interpretación hidrogeoquímica de los sistemas de flujo de la parte norte del Altiplano Potosino. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León].

Burriel, M. F., Lucena, C. F., Arribas, J. S., & Méndez, J. H. (1994). *Química analítica cualitativa*. Paraninfo.

Campillo, Cortés, L.A. (2018). *Asociación entre vitamina D y densidad mineral ósea en población infantil expuesta a flúor y arsénico a través del agua de consumo en una comunidad rural de San Luis Potosí*. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de San Luis Potosí].

Campos, V., C. Valenzuela, M. Alcorta, G. Escalante, and M. Mondaca. (2007). Isolation of Arsenic resistance bacteria from volcanic rocks of Quebrada Camarones, Parina Region, Chile. *Gayana* 71: 150-155.

Carrillo-Chávez, A., Drever, J. I., Martínez, M. (2000). Arsenic content and groundwater geochemistry of the San Antonio El Triunfo, Carrizal and Los Planes aquifers in southern most Baja California, Mexico. *Environmental Geology*, 39, 1295-1303.

Carrillo-Chávez, A., Morton-Bermea, O., González-Partida, E., Rivas-Solórzano, H., Oesler, G., García-Meza, V., Hernández, E., Morales, P. & Cienfuegos, E. (2003). Environmental geochemistry of the Guanajuato Mining District, Mexico. *Ore Geology Reviews*, 23, 277-297.

Chakraborti, D., Rahman, M. M., Chatterjee, A., Das, D., Das, B., Nayak, B., Pal, A., Chowdhury, U. K., Ahmed, S., Biswas, B. K., Sengupta, M. K., Lodh, D., Samanta, G., Chakraborty, S., Roy, M. M., Dutta, R. N., Saha, K. C., Mukherjee, S. C., Pati, S., Kar, P. B. (2016). Fate of over 480 million inhabitants living in arsenic and fluoride endemic Indian districts: magnitude, health, socio-economic effects and mitigation approaches. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 38, 33–45.

Cheng, J., Mi, E., Zhang, Q. (1994). First report on the epidemiological survey of endemic arsenicosis in Shanxi. *Journal of Preventive Medicine*, 3, 133–135.

Comisión Nacional del Agua. (2000). Estudio de la contaminación difusa del acuífero de la Comarca Lagunera, Coahuila. Gobierno de México.

Comisión Nacional del Agua. (2005). Estudio hidrogeoquímico del acuífero del Valle del Guadiana, Durango. Gobierno de México.

Comisión Nacional del Agua. (2017). Estadísticas del Agua en México, Edición 2017. Gobierno de México.

Comisión Nacional del Agua e Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (1992). Estudio hidroquímico e isotópico del acuífero granular de la Comarca Lagunera. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Comisión Nacional del Agua y Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Juárez. (2000).

Prospección hidrogeológica e hidrogeoquímica en el bolsón de la Mesilla, Chihuahua, Zona de Conejos-Médanos. Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Juárez.

Comisión Nacional del Agua y Secretaría y Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2014). Proyecto de Aprovechamiento del Río Verde, Presa el Zapotillo. Tomo III.A. https://semadet.jalisco.gob.mx/sites/semadet.jalisco.gob.mx/files/archivos-sostenible/Impacto%20ambiental/TOMO_III-A.pdf

Consejo Nacional de Población. (2010). Catálogo de localidades: Sistema de Apoyo para la Planeación del PDZP. <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/contenido.aspx?refnac=240490028>

Consejo Nacional de Población. (2010). Índice De Marginación Por Localidad. Gobierno de México. http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indice_de_Marginacion_por_Localidad_2010

Del Razo, L. M., Arellano, M. A. & Cebrián, M. E. (1990). The oxidation states of arsenic in well water from a chronic arsenicism area of northern Mexico. *Environmental Pollution*, 64, 143-153.

Del Razo, L. M., Corona, J. C., García-Vargas, G., Albores, A., & Cebrián, M. E. (1993). Fluoride levels in well- water from a chronic arsenicism area of northern Mexico. *Environmental Pollution*, 80, 91-94.

Devesa, V., Velez, D., Montoro, R. (2008). Effect of thermal treatments on arsenic species contents in food. *Food and chemical toxicology*, 46, 1-8.

Díaz-Barriga, F., Santos, M. A., Mejía, J. D., Batres, L., Yáñez, L., Carrizales, L., Vera, E., Del Razo, L. M. & Cebrián, M. E. (1993). Arsenic and cadmium exposure in children living near a smelter complex in San Luis Potosi, Mexico. *Environmental Research*, 62, 242-250.

Duan, L., Sun, Y.Q. & Wang, W.K. (2014). Assessment of Regional Groundwater Quality Based on Health Risk in Xi'an Region, PR China. *Asian Journal of Chemistry*, 26 (7), 1951-1956.

Elizalde González, M. P. Mattusch, J. Einicke, W. D. and R. Wenrich. (2001). Sorption on natural solids for arsenic removal. *Chemical Engineering Journal*, 81: 187-195.

Emsley, J. (2001). *Nature's building blocks: An A-Z guide to the elements*. Oxford University Press. New York, NY, USA.

Fatmi, Z., Azam, I., Ahmed, F., Kazi, A., Gill, A. B., Kadir, M. M., Ahmed, M., Ara, N., Janjua, N. Z., Panhwar, S. A., Tahir, A., Ahmed, T., Dil, A., Habaz, A., & Ahmed, S. (2009). Health burden of skin lesions at low arsenic exposure through groundwater in Pakistan, is river the source?. *Environmental Research*, 109, 575–581.

Fu, P. P., Cheng, S. H., Coop, L., Xia, Q., Culp, S. J., Tolleson, W. H., Wamer, W. G., Howard, P. C. (2003). Photoreaction, phototoxicity, and photocarcinogenicity of retinoids. *Journal Environmental Science and Health*, 21, 165–197.

García-Nieto, E., Carrizales-Yañez, L., Juárez-Santacruz, L., García-Gallegos, E., Hernández-Acosta, E., Briones-Corona, E., & Vázquez-Cuecuecha, O. G.. (2011). Plomo y arsénico en la subcuenca del Alto Atoyac en Tlaxcala, México. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 17(1), 7-17. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.06.040>

Gavito, M. E., van der Wal, H., Aldasoro, E. M., Ayala-Orozco, B., Bullén, A. A., Cach-Pérez, M., Casas-Fernández, A., Fuentes, A., González-Esquivel, C., Jaramillo-López, P., Martínez, P., Masera-Cerruti, O., Pascual, F., Pérez-Salicrup, D. R., Robles, R., Ruiz-Mercado, I., & Villanueva, G. (2017). Ecología, tecnología e innovación para la sustentabilidad: retos y perspectivas en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88, 150–160. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.09.001>

Ghosh, G.C., Khan, M.J.H., Chakraborty, T.K., Zaman, S., Kabir, AHME & Tanaka, H. (2020). Human health risk assessment of elevated and variable iron and manganese intake with arsenic-safe groundwater in Jashore, Bangladesh. *Sci Rep* 10, 5206 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62187-5>

Gillispie, E. C., Sowers, T. D., Duckworth, O. W., & Polizzotto, M. L. (2015). Soil pollution due to irrigation with arsenic- contaminated groundwater: Current state of science. *Current Pollution Reports*, 1, 1-12.

Gómez-Hernández, A., Rodríguez, R., Lara del Río, A., Ruiz-Huerta, E. A., Armienta, M. A., Dávila-Harris, P., Sen-Gupta, B., Delgado-Rodríguez, O., Del Angel Ríos, A., & Martínez-Villegas, N. (2020). Alluvial and gypsum karst geological transition favors spreading arsenic contamination in Matehuala, Mexico. *Science of the Total Environment*, 707. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135340>

González-Partida, E., Hinojosa, T. E. & Verma, M. P. (2001). Interacción agua geotérmica-manantiales en el campo geo-térmico de Los Humeros, Puebla, México. *Ingeniería Hidráulica en México*, XVI, 185-194.

- Gorby, M. S. (1988). Arsenic poisoning. *The Western Journal of Medicine*, 149, 308-315.
- Grasmück, D. & Scholz, R.W. (2005). Risk Perception of Heavy Metal Soil Contamination by High-Exposed and Low-Exposed Inhabitants: The Role of Knowledge and Emotional Concerns. *Risk Analysis*, 25 (3), 611-622. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1539-6924.2005.00628.x>
- Hasegawa, H., Matsui, M., Okamura, S., Hojo, M., Iwasaki, N. and Sohrin, Y. (1999). *Arsenic speciation including 'hidden' arsenic in natural waters*. *Applied Organometallic Chemistry*, 13, 113 -119.
- Hering, J., Chen, P., Wilkie, J. and Elimelech, M. (1997). Arsenic removal from drinking water during coagulation. *Journal of Environmental Engineering*, 123(8), 800-807.
- Hering, J., Chen, P., Wilkie, J., Elimelech, M. and Liang, S. (1996). Arsenic removal by ferric chloride. *Journal of American Water Works Association*, 88(4): 155-167.
- Hernández-Ascanio, J., Tirado-Valencia, P., & Ariza-Montes, A. (2016). El concepto de innovación social: ámbitos, definiciones y alcances teóricos. *CIRIEC-España, Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa*, 88, 165–199. <https://doi.org/10.7203/ciriec-e.88.8849>
- Hernández Bárcenas, G., Castillo, F., Ávalos Borja, M. y Martínez Villegas, N. (2017). Síntesis de arseniatos de calcio (Guerinita, Haidingerita y Farmacolita) morfológicamente similares a los encontrados en suelos contaminados. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 33(1), 153-163.
- Hernández Martínez, J. L. (2008). *Efecto de la evolución geoquímica en la calidad del agua subterránea en la porción central de la zona media del estado de San Luis Potosí*. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de San Luis Potosí].
- Hernández Ruíz, A. Y. (2017). *Distribución de arsénico en suelos y evaluación de riesgos de las actividades en canchas de fútbol soccer irrigadas con agua contaminada con arsénico, en el club deportivo Joya Verde, Matehuala, San Luis Potosí*. [Tesis de Licenciatura, Universidad de Sonora].
- Hu, G., Bakhtavar, E., Hewage, K., Mohseni, M., & Sadiq, R. (2019). Heavy metals risk assessment in drinking water: An integrated probabilistic-fuzzy approach. *Journal of Environmental Management*. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109514>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2016). Mortalidad- Esperanza de vida al

nacimiento por entidad federativa. <https://www.inegi.org.mx/temas/mortalidad/#Tabulados>.

International Agency for Research on Cancer. (2004). IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Human. Some Drinking-water Disinfectants and Contaminants, Including arsenic. Lyon, France, vol. 84, pp. 39–270.

Javaid, A., Ahmad, S. R., Qadir, A. (2019). Health Risk Surveillance of Arsenic in Wastewater, Groundwater, and Agricultural Land along Hudaira Drain, Pakistan Using GIS Techniques. *Polish Journal of Environmental Studies*, 28(2), 681-692. <https://doi.org/10.15244/pjoes/81067>

Jiménez-Córdova, M. I., Sánchez-Peña, L. C., Barrera-Hernández, Á., González-Horta, C., Barbier, O. C., Del Razo, L. M. (2019). Fluoride exposure is associated with altered metabolism of arsenic in an adult Mexican population. *Journal of Science Total Environmental*. 684, 621–628.

Josef, G., Thundiyil, Y., Smith, A. H., Steinmaus, C. (2007). Seasonal variation of arsenic concentration in wells in Nevada. *Environmental Research*, 104, 367–373.

Joshi, A. & Chaudhuri, M. (1996). Removal of arsenic from groundwater by iron oxide coated sand. *Journal of Environmental Engineering*, 122(8), 769-771.

Kimambo, V., Bhattacharya, P., Mtalo, F., Mtamba, J., Ahmad, A. (2019). Fluoride occurrence in groundwater systems at global scale and status of defluoridation – state of the art. *Groundwater for Sustainable Developed*, 9, 100223.

Kumar, M., Das, A., Das, N., Goswami, R., Singh, U. K. (2016). Co-occurrence perspective of arsenic and fluoride in the groundwater of Diphu, Assam, Northeastern India. *Chemosphere*, 150, 227–238.

Landín Rodríguez, L. E. (2006). Parámetros fisicoquímicos y concentración de flúor y arsénico en el agua de los pozos de la ciudad de San Luis Potosí y zona Conurbada. Alternativa de tratamiento: adsorción de flúor y arsénico en la interfase Al₂O₃ activada/ solución acuosa. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de San Luis Potosí].

Liang, C. P., Chien, Y. C., Jang, C. S., Chen, C. F., & Chen, J. S. (2017). Spatial Analysis of Human Health Risk Due to Arsenic Exposure through Drinking Groundwater in Taiwan's Pingtung Plain. *International journal of environmental research and public health*, 14(1), 81. <https://doi.org/10.3390/ijerph14010081>

Li, P., Qian, H. (2011). Human health risk assessment for chemical pollutants in drinking water sources in Shizuishan City, Northwest China. *Iranian Journal of Environmental*

Health Science and Engineering, 8(1), 41–48.

Lillo, J. (2007). Peligros Geoquímicos: Arsénico de Origen Natural en las Aguas. Grupo de Estudios de Minería y Medioambiente. http://phys4.harvard.edu/~wilson/arsenic/pictures/arsenic_project_pict%0Ahttp://www.aula.dos.net/GEMM/Documentos/Peligros_geoquimicos_As/Peligros_As_2.pdf

Lim, M. S., Yeo, I. W., Clement, T. P., Roh, Y., & Lee, K.K. (2007). Mathematical model for predicting microbial reduction and transport of arsenic in groundwater system. *Water Research*, 41, 2079–2088.

Limón-Pacheco, J. H., Jiménez-Córdova, M. I., Cárdenas-González, M., Sánchez Retana, I. M., Gonsebatt, M. E., Del Razo, L. M. (2018). Potential co-exposure to arsenic and fluoride and biomonitoring equivalents for Mexican children. *Annals of Global Health*, 84, 257–273.

Litter, M. I., Ingallinella, A. M., Olmos, V., Savio, M., Difeo, G., Botto, L., Torres, E. M. F., Taylor, S., Frangie, S., Herkovits, J., Schalamuk, I., González, M. J., Berardozzi, E., García Einschlag, F. S., Bhattacharya, P., & Ahmad, A. (2019). Arsenic in Argentina: Technologies for arsenic removal from groundwater sources, investment costs and waste management practices. *Science of the Total Environment*, 690, 778–789. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.358>

Liu, W., Ma, L., Li, Y., Abuduwaili, J., & Abdyzhapar uulu, S. (2020). Heavy Metals and Related Human Health Risk Assessment for River Waters in the Issyk–Kul Basin, Kyrgyzstan, Central Asia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(10), 3506. doi:10.3390/ijerph17103506

Mahlknecht, J., Hernández-Antonio, A., Eastoe C.J., Tamez-Meléndez, C., Ledesma-Ruiz, R., Ramos-Leal, J.A. & Ornelas-Soto, N. (2017). Understanding the dynamics and contamination of an urban aquifer system using groundwater age (^{14}C , ^3H , CFCs) and chemistry. *Hydrological Processes*, 31, 2365-2380. <https://doi.org/10.1002/hyp.111822380MAHLKNECHTET AL>.

Mandal, B. K. & Suzuki, K. T. (2002). Arsenic round the world: A review. *Talanta Journal*, 58, 201-235.

Manju, G. N., Raji, C., Anirudhan, T. S. (1998). Evaluation of coconut husk carbon for the removal of arsenic from water. *Journal of Water Resources*, 32(10), 3063-3070.

Martínez Tagüeña, N., Cedano, K.G.; Gutiérrez, S., Martínez, M. (2016). Una propuesta de

Niveles de Maduración Tecnológica para Ciencias Sociales. La agenda emergente de las ciencias sociales, Conocimiento, crítica e intervención. Memorias del 5 Congreso Nacional de Ciencias Sociales.V Congreso Nacional de Ciencias Sociales, Chiapas.

Martínez Villegas, N., Briones Gallardo, R., Ramos Leal, J. A., Avalos Borja, M., Castañón Sandoval, A. D., Razo Flores, E. y Villalobos, M. (2013). Arsenic mobility controlled by solid calcium arsenates: A case study in Mexico showcasing a potentially widespread environmental problem. *Environmental Pollution*, 176, 114-122. ISSN 0269-7491, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.12.025>.

McNeill, L. S., & Edwards, M. (1995). Soluble As removal at water treatment plants. *Journal of American Water Works Association*, 87(4), 105-113.

McNeill, L., & Edwards, M. (1997). Predicting As removal during metal hydroxide precipitation. *Journal - American Water Works Association*, 87(4), 105-113.

Megaw P. (1999) The High-Temperature Ag-Pb-Zn-(Cu) Carbonate-Replacement Deposits of Central Mexico. En J.L. Jambor (ed.), *VMS and Carbonate-Hosted Polymetallic Deposits of Central Mexico*, British Columbia and Yukon Chamber of Mines, Vancouver, B.C., Canada.

Mendoza Chávez, Y. J. (2016). *Especies de zooplancton presentes en agua contaminada con arsénico en Matehuala, San Luis Potosí, México*. [Tesis de Maestría, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.]

Milanés Guisado, Y., Manuel Solís, F., & Navarrete Cortés, J. (2010). Aproximaciones a la evaluación del impacto social de la ciencia, la tecnología y la innovación. *Revista Cubana de Información En Ciencias de Salud*, 21. www.acimed.sld.cu/index.php/acimed/rt/printerFriendly/19/19

Molina-Frechero, N., Nevarez-Rascón, M., Tremillo-Maldonado, O., Vergara-Onofre, M., Gutiérrez-Tolentino, R., Gaona, E., Castañeda, E., Jarquin-Yañez, L., & Bologna-Molina, R. (2020). Environmental Exposure of Arsenic in Groundwater Associated to Carcinogenic Risk in Underweight Children Exposed to Fluorides. *International journal of environmental research and public health*, 17(3), 724. <https://doi.org/10.3390/ijerph17030724>

Murray, R., Caulier, J. and Mulgan, G. (2010): *The open book of social innovation*, The Young Foundation, London.

Naciones Unidas México. (2015). *Objetivos del Desarrollo Sostenible*. <https://www.onu.org.mx/agenda-2030/objetivos-del-desarrollo-sostenible/>

Nakazawa, K.; Nagafuchi, O.; Otede, U.; Chen, JQ.; Kanefuji, K.; Shinozuka, K. (2020). Risk assessment of fluoride and arsenic in groundwater and a scenario analysis for reducing exposure in Inner Mongolia. *RSC Advances Journal*, 10 (31), 18296-18304.

National Research Council. 1983. *Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/366>.

Nazari, A. M., Radzinski, R., & Ghahreman, A. (2016). Review of arsenic metallurgy: Treatment of arsenical minerals and the immobilization of arsenic. *Hydrometallurgy*.

NOM-127-SSA1-1994. (2000). *Salud ambiental: Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*. <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/m127ssa14.html>

O'Neill, A., Gupta, B. S., & Phillips, D. H. (2014). Distribution of arsenic and risk assessment of activities on a golf course fertilised with arsenic-containing *Ascophyllum nodosum* seaweed. *The Science of the total environment*, 482-483, 252–259. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.03.006>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2018). *Arsénico*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic#:~:text=El%20ars%C3%A9nico%20es%20una%20de,preocupantes%20para%20la%20salud%20p%C3%ABlica>.

Organisation for Economic Co-operation and Development. (2019). *Guiding Principles and Key Elements for Establishing a Weight of Evidence for Chemical Assessment*, Series on Testing and Assessment No. 311, Environment, Health and Safety Division, Environment Directorate.

Ortega-Guerrero, M. Adrián. (2009). Presencia, distribución, hidrogeoquímica y origen de arsénico, fluoruro y otros elementos traza disueltos en agua subterránea, a escala de cuenca hidrológica tributaria de Lerma-Chapala, México. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 26(1), 143-161.

Ortiz Moreno, J. A., Masera Cerutti, O. R., Fuentes Gutiérrez, A. F. (2014). *La Ecotecnología en México*. Unidad de Ecotecnologías del Centro de Investigaciones en Ecosistemas de la Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia.

Owen, B., & Sunger, N. (2018). Exploratory Assessment of Risks from Drinking and Recreational Water Exposure to Children in the State of New Jersey. *Water*, 10(3), 276. doi:10.3390/w10030276.

Pérez Moreno, F. (2004). Dinámica del arsénico en aguas subterráneas de pozos y

sedimentos del distribuidor general de agua potable de Zimapán, Hidalgo. [Tesis Doctoral, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo].

Pérez Moreno, Fidel, Prieto García, Francisco, Rojas Hernández, Alberto, Galán Vidal, Carlos A., Marmolejo Santillán, Yolanda, Romo Gómez, Claudia, Castañeda Ovando, Araceli, Rodríguez Ávila, José Antonio y Barrado Esteban, Enrique. (2003). Caracterización química de aguas subterráneas en pozos y un distribuidor de agua de Zimapán, Estado de Hidalgo, México. *Hidrobiológica*, 13(2), 95-102.

Rahman, M. A., Hasegawa, H., Rahman, M. M., Miah, M. A. M., Tasmin, A. (2008). Arsenic accumulation in rice (*Oryza sativa* L.): Human exposure through food chain. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 69, 317–324.

Rakib, M. A. & Bhuiyan, M. (2014). Arsenic contamination: Food toxicity and local perception. *International Journal of Scientific Research in Environmental Sciences*, 2, 1-7.

Ravenscroft, P., Brammer, H., Richards, K. (2009). Arsenic Pollution: A Global Synthesis, <https://www.wiley.com/en-us/Arsenic+Pollution%3A+A+Global+Synthesis-p-9781405186018>.

Red Nacional de Monitoreo de la Calidad de las Aguas Nacionales. (2017). Datos abiertos, CONAGUA. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/red-nacional-de-monitoreo-de-la-calidad-de-las-aguas-nacionales-de-conagua>.

Ringbom, A. (1979). Formación de complejos en química analítica. Alambra.

Rodarte Gómez, L. A. (2017). *Bioprospección de microorganismos con resistencia a metales de sitios contaminados con arsénico*. [Tesis de Maestría, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.].

Rodríguez Rodríguez, R. M. (2016). *Obtención de un modelo conceptual hidrogeológico de concentraciones de arsénico variables en agua superficial y subterránea en Matehuala, San Luis Potosí*. [Tesis de Licenciatura, Universidad de Sonora].

Rojas, Hernández, A. (1995). *El método de especies y equilibrios generalizados para el estudio de sistemas químicos en equilibrio bajo condiciones de amortiguamiento: Teoría y algoritmos de los diagramas de zonas de predominio*. [Tesis Doctoral, Universidad Autónoma Metropolitana].

Rosas, I., Belmont, R., Armienta, M. A. & Baez, A. (1999). Arsenic concentrations in water, soil, milk and forage in Comarca Lagunera, Mexico. *Water, Air and Soil Pollution*,

112, 133-149.

Sarfraz, M., Sultana, N. & Tariq, M. I. (2019). Hazardous pollutants in potable groundwater sources of public schools, Southern Punjab (Pakistan). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35 (4), 797-805.

Scott, K. N., Green, J. F., Do, H. D. & McLean, S. J. (1995) Arsenic removal by coagulation. *Journal of American Water Works Association*, 87(4), 114- 126.

Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal. (1992). *Monografía Geológico-Minera del Estado de San Luis Potosí*. Consejo de Recursos Minerales.

Sen Gupta, B., Chatterjee, S., Rott, U., Kauffman, H., Bandopadhyay, A., DeGroot, W., Nag, N. K., Carbonell-Barrachina, A. A., & Mukherjee, S. (2009). A simple chemical free arsenic removal method for community water supply - A case study from West Bengal, India. *Environmental Pollution*, 157, 3351–3353.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.09.014>

Sen Gupta, B. (18 de Febrero de 2020). Subterranean Arsenic Removal Technology for in-situ groundwater arsenic and iron treatment. <http://www.insituarsenic.org/details.html>

Senila, M., Levei, E., Cadar, O., Senila, L. R., Roman, M., Puskas, F., & Sima, M. (2017). Assessment of Availability and Human Health Risk Posed by Arsenic Contaminated Well Waters from Timis-Bega Area, Romania. *Journal of analytical methods in chemistry*, 2017, 3037651. <https://doi.org/10.1155/2017/3037651>.

Shakoor, M. B., Niazi, N. K., Bibi, I., Rahman, M. M., Naidu, R., Dong, Z., Shahid, M., & Arshad, M. (2015). Unraveling Health Risk and Speciation of Arsenic from Groundwater in Rural Areas of Punjab, Pakistan. *International journal of environmental research and public health*, 12(10), 12371–12390. <https://doi.org/10.3390/ijerph121012371>

Shakoor, M. B., Nawaz, R., Hussain, F., Raza, M., Ali, S., Rizwan, M., Oh, S.-E. E., Ahmad, S. (2017). Human health implications, risk assessment and remediation of as contaminated water: a critical review. *Science of The Total Environment*, 601–602, 756–769.

Smedley P. L., Kinniburgh, D. G. (2002). A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*, 17, 517-568.

Stanford Business. (2008). *Defining Social Innovation*.
<https://www.gsb.stanford.edu/faculty-research/centers-initiatives/csi/defining-social-innova>

[tion](#)

United States Environmental Protection Agency. (1996). Proposed Guidelines for Carcinogen Risk Assessment. https://cfpub.epa.gov/ncea/raf/pdfs/propcra_1996.pdf

United States Environmental Protection Agency. (1998). Arsenic, inorganic. United States Environmental Protection Agency, Integrated Risk Information System (IRIS), (CASRN 7440-38-2). 1998. Available online: <http://www.epa.gov/iris/subst/0278.htm>

United States Environmental Protection Agency. (2001). Risk assessment guidance for superfund. Volume I. Part A. https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/rags_a.pdf

United States Environmental Protection Agency. (2004). Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS): Part E; United States Environmental Protection Agency: Washington, DC, USA.

United States Environmental Protection Agency. (2005). Guidelines for carcinogen risk assessment. Risk Assessment Forum. https://www3.epa.gov/airtoxics/cancer_guidelines_final_3-25-05.pdf

United States Environmental Protection Agency. (2007). “Drinking water standards and health advisories, table,” in Drinking Water Standards and Health Advisories, US EPA, San Francisco, Calif, USA.

United States Environmental Protection Agency. (2018). Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories Tables. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-03/documents/dwtable2018.pdf>

United States Environmental Protection Agency. (2019). Updated Problem Formulation and Systematic Review Protocol for the Inorganic Arsenic IRIS Assessment. https://cfpub.epa.gov/ncea/iris_drafts/recordisplay.cfm?deid=343951

Villa, A. y López, A. L. (2012). La evaluación de la innovación social en las universidades: un primer acercamiento. En D. Montero y P. Fernández de Larrinoa (Eds.), *Calidad de vida, inclusión social y procesos de intervención*. Bilbao: Publicaciones de la Universidad de Deusto.

Wollin, K. M., Damm, G., Foth, H., Freyberger, A., Gebel, T., Mangerich, A., Gundert-Remy, U., Partosch, F., Röhl, C., Schupp, T., & Hengstler, J. G. (2020). Critical evaluation of human health risks due to hydraulic fracturing in natural gas and petroleum production. *Archives of toxicology*, 94(4), 967–1016.

<https://doi.org/10.1007/s00204-020-02758-7>.

World Health Organization. (2003). Arsenic in drinking-water. https://www.who.int/water_sanitation_health/water-quality/guidelines/chemicals/arsenic.pdf

Wyatt, C. J., Fimbres, C., Romo, L., Mendez, R. O. & Grijalva, M. (1998). Incidence of heavy metal contamination in water supplies in Northern Mexico. *Environmental Research*, 76, 114-119.

Yan, X. P., Kerrich, R., Hendry, M.J. (2000). Distribution of Arsenic(III), Arsenic(V) and total inorganic Arsenic in pore-waters from a thick till and clay-rich aquitard sequence, Saskatchewan, Canada. *Geochimica et Cosmochim Acta*, 64, 2637-2648.

Anexos

1. Censo de aprovechamientos con concentraciones de As reportadas en agua subterránea del estado de San Luis Potosí.

Núm. de sitio	Identificación del sitio	Tipo	Municipio	Coordenadas UTM			Año*	As total (mg/L)	Referencia
				X	Y	Zona			
1	Cerrito de Rojas	Pozo	Ahualulco	276036	2469993	14	2006	0.01058	Bocanegra Salazar, 2006.
2	Pozo 13 de Septiembre	Pozo	Ahualulco	274127	2479427	14	2006	0.02258	Bocanegra Salazar, 2006.
3	Cabecera municipal	Pozo	Ahualulco	275709	2480023	14	2006	0.03868	Bocanegra Salazar, 2006.
4	Pozo calle 1885	Pozo	Ahualulco	276804	2482877	14	2006	0.03652	Bocanegra Salazar, 2006.
5	La Maroma-Mina	Pozo	Catorce	311400	2601811	14	2016	0.03535	CONAGUA, 2016.
5	La Maroma-Mina	Pozo	Catorce	311400	2601811	14	2016	0.04330	CONAGUA, 2016.
5	La Maroma-Mina	Pozo	Catorce	311400	2601811	14	2016	0.04930	CONAGUA, 2016.
6	CNA-7-132	Pozo	Cedral	323184	2634261	14	2005	0.01640	Gómez- Hernández, 2020.
7	Derramaderos	Pozo-Grifo	Cerritos	368803	2490029	14	2006	0.01969	Bocanegra Salazar, 2006.
8	Pozo del Cerro de San Pedro	Pozo	Cerro de San Pedro	308141	2454296	14	2006	0.01084	Bocanegra Salazar, 2006.
9	Frac. La Florida (CNA-11-299)	Pozo	Cerro de San Pedro	309630	2450453	14	2016	0.01110	CONAGUA, 2016.
10	Cabecera municipal-Callejones	Pozo	Charcas	287373	2549688	14	2006	0.01622	Bocanegra Salazar, 2006.
11	Cañada verde	Pozo	Charcas	285411	2554111	14	2006	0.02486	Bocanegra Salazar, 2006.
12	Laguna Seca	Pozo	Charcas	299741	2571909	14	2006	0.09553	Bocanegra Salazar, 2006.
13	La Chilera	Pozo	Ciudad Fernández	389814	2428854	14	2006	0.01029	Bocanegra Salazar, 2006.
14	El Refugio/La ladrillera	Pozo	Ciudad Fernández	390881	2426896	14	2006	0.01109	Bocanegra Salazar, 2006.

15	Norias del Conde	Noria	Guadalcázar	348784	2547005	14	2006	0.02394	Bocanegra Salazar, 2006.
16	Cabecera municipal	Pozo	Guadalcázar	355999	2502981	14	2006	0.03225	Bocanegra Salazar, 2006.
17	Pozo La Palma	Pozo	Guadalcázar	357024	2502009	14	2006	0.04093	Bocanegra Salazar, 2006.
18	Pozo señor Antonio Hernández	Pozo	Guadalcázar	356746	2501553	14	2006	0.05073	Bocanegra Salazar, 2006.
19	Chorizo Las Sevillanas	No aplica	Matehuala	333114	2615005	14	2005	0.01660	Gómez- Hernández, 2020.
19	Chorizo Las Sevillanas	No aplica	Matehuala	333114	2615005	14	2005	0.01008	Gómez- Hernández, 2020.
20	Pozo riego Santa Cruz	Pozo	Matehuala	332859	2574270	14	2016	0.01190	CONAGUA, 2016.
21	Leo (1)	No aplica	Matehuala	336079	2604075	14	2015	0.01200	Gómez- Hernández, 2020.
22	Encarnación de arriba	No aplica	Matehuala	335189	2607111	14	2005	0.02970	Gómez- Hernández, 2020.
22	Encarnación de arriba	No aplica	Matehuala	335189	2607111	14	2005	0.01685	Gómez- Hernández, 2020.
22	Encarnación de arriba	No aplica	Matehuala	335189	2607111	14	2015	0.02700	Gómez- Hernández, 2020.
23	Pozo de Don Berna	Pozo	Matehuala	339013	2616778	14	2005	0.07410	Gómez- Hernández, 2020.
23	Pozo de Don Berna	Pozo	Matehuala	339013	2616778	14	2005	0.01879	Gómez- Hernández, 2020.
24	Lumbrera de Jhonny	Lumbrera	Matehuala	332952	2619380	14	2015	0.02300	Gómez- Hernández, 2020.
25	Encarnación de abajo	No aplica	Matehuala	336865	2603698	14	2015	0.04700	Gómez- Hernández, 2020.
26	Humedal	No aplica	Matehuala	334565	2621099	14	2005	0.10980	Gómez- Hernández, 2020.
26	Humedal	No aplica	Matehuala	334565	2621099	14	2005	0.05440	Gómez- Hernández, 2020.
26	Humedal	No aplica	Matehuala	334565	2621099	14	2015	0.05850	Gómez- Hernández, 2020.
27	m49	Pozo	Matehuala	337184	2604581	14	2003	0.58169	Bueno Pedroza, 2005.
27	m49	No aplica	Matehuala	337184	2604581	14	2005	0.58169	Gómez- Hernández, 2020.
27	m49	No aplica	Matehuala	337184	2604581	14	2005	0.05750	Gómez- Hernández, 2020.
28	Canal policía	Canal	Matehuala	333451	2619950	14	2015	0.06800	Gómez- Hernández, 2020.

28	Canal policía	Canal	Matehuala	333451	2619950	14	2015	0.06000	Gómez- Hernández, 2020.
29	m38	Noria	Matehuala	332533	2619013	14	2003	0.06599	Bueno Pedroza, 2005.
29	m38	No aplica	Matehuala	332533	2619013	14	2015	0.06599	Gómez- Hernández, 2020.
29	m38	No aplica	Matehuala	332533	2619013	14	2015	0.12320	Gómez- Hernández, 2020.
30	Noria rehilete	Noria	Matehuala	332806	2619830	14	2015	0.07800	Gómez- Hernández, 2020.
31	Árbol caído	No aplica	Matehuala	333385	2616377	14	2016	0.11000	Gómez- Hernández, 2020.
32	Granja Zapata	No aplica	Matehuala	334826	2617535	14	2005	0.71400	Gómez- Hernández, 2020.
32	Granja Zapata	No aplica	Matehuala	334826	2617535	14	2005	0.83380	Gómez- Hernández, 2020.
32	Granja Zapata	No aplica	Matehuala	334826	2617535	14	2015	0.14400	Gómez- Hernández, 2020.
32	Granja Zapata	No aplica	Matehuala	334826	2617535	14	2015	0.32500	Gómez- Hernández, 2020.
33	m46	Pozo	Matehuala	332402	2619918	14	2003	0.39128	Bueno Pedroza, 2005.
33	m46	No aplica	Matehuala	332402	2619918	14	2005	0.39128	Gómez- Hernández, 2020.
34	Santa Lucía	No aplica	Matehuala	337123	2604572	14	2015	0.39500	Gómez- Hernández, 2020.
34	Santa Lucía	No aplica	Matehuala	337123	2604572	14	2015	0.59500	Gómez- Hernández, 2020.
35	Canal canchas de fútbol	Canal	Matehuala	337775	2619080	14	2016	0.68000	Gómez- Hernández, 2020.
36	CNA-7-223	Pozo	Matehuala	333874	2616339	14	2005	0.84940	Gómez- Hernández, 2020.
36	CNA-7-223	Pozo	Matehuala	333874	2616339	14	2005	1.38500	Gómez- Hernández, 2020.
37	Canal 2	Canal	Matehuala	335736	2618974	14	2005	8.16200	Gómez- Hernández, 2020.
37	Canal 2	Canal	Matehuala	335736	2618974	14	2005	4.06600	Gómez- Hernández, 2020.
37	Canal 2	Canal	Matehuala	335736	2618974	14	2013	11.2600	Gómez- Hernández, 2020.
38	La Casita	No aplica	Matehuala	337933	2619039	14	2013	10.5200	Gómez- Hernández, 2020.
38	La Casita	No aplica	Matehuala	337933	2619039	14	2016	5.91260	Gómez- Hernández, 2020.

39	Cerrito Blanco	No aplica	Matehuala	338491	2618868	14	2013	10.6900	Gómez- Hernández, 2020.
39	Cerrito Blanco	No aplica	Matehuala	338491	2618868	14	2015	7.88000	Gómez- Hernández, 2020.
39	Cerrito Blanco	No aplica	Matehuala	338491	2618868	14	2015	8.37000	Gómez- Hernández, 2020.
40	Lumbrera cultivo	Lumbrera	Matehuala	335476	2618924	14	2015	8.42100	Gómez- Hernández, 2020.
40	Lumbrera cultivo	Lumbrera	Matehuala	335476	2618924	14	2015	8.88000	Gómez- Hernández, 2020.
41	Hotel las Palmas	No aplica	Matehuala	333138	2617255	14	2005	9.48000	Gómez- Hernández, 2020.
41	Hotel las Palmas	No aplica	Matehuala	333138	2617255	14	2015	17.6110	Gómez- Hernández, 2020.
41	Hotel las Palmas	No aplica	Matehuala	333138	2617255	14	2015	20.4120	Gómez- Hernández, 2020.
42	Canal 3	Canal	Matehuala	336394	2619099	14	2013	11.1800	Gómez- Hernández, 2020.
43	Noria del Tecnológico	Noria	Matehuala	333709	2618422	14	2013	11.2100	Gómez- Hernández, 2020.
44	Canal 1	Canal	Matehuala	335359	2618896	14	2013	11.4200	Gómez- Hernández, 2020.
45	Noria fuera del Tec	Noria	Matehuala	334314	2618678	14	2013	11.6900	Gómez- Hernández, 2020.
46	m40	Pozo	Matehuala	333150	2617271	14	2003	13.1600	Bueno Pedroza, 2005.
46	m40	No aplica	Matehuala	333150	2617271	14	2005	13.1600	Gómez- Hernández, 2020.
47	Club de Tiro	No aplica	Matehuala	332783	2617528	14	2015	73.1090	Gómez- Hernández, 2020.
47	Club de Tiro	No aplica	Matehuala	332783	2617528	14	2015	74.0800	Gómez- Hernández, 2020.
47	Club de Tiro	No aplica	Matehuala	332783	2617528	14	2013	91.5100	Gómez- Hernández, 2020.
48	m39	Pozo	Matehuala	333040	2614892	14	2003	0.01008	Bueno Pedroza, 2005.
49	m41	Pozo	Matehuala	333157	2617300	14	2003	9.48000	Bueno Pedroza, 2005.
50	m44	Pozo	Matehuala	334873	2617486	14	2003	0.83380	Bueno Pedroza, 2005.
51	m45	Pozo	Matehuala	339004	2616786	14	2003	0.01879	Bueno Pedroza, 2005.
52	m48	Pozo	Matehuala	333728	2593872	14	2003	0.01074	Bueno Pedroza, 2005.

53	m52	Tajo	Matehuala	334628	2621094	14	2003	0.05440	Bueno Pedroza, 2005.
54	m53	Noria	Matehuala	333925	2616341	14	2003	0.84940	Bueno Pedroza, 2005.
55	m54	Galería	Matehuala	335621	2618942	14	2003	8.16200	Bueno Pedroza, 2005.
56	m57	Pozo	Matehuala	335197	2607103	14	2003	0.01685	Bueno Pedroza, 2005.
57	m58	Pozo	Matehuala	336868	2603699	14	2003	0.18370	Bueno Pedroza, 2005.
58	La Tapona	Pileta	Mexquitic de Carmona	270963	2459499	14	2006	0.01926	Bocanegra Salazar, 2006.
59	Pozo Primer Sector	Pozo	Mexquitic de Carmona	286611	2451788	14	2006	0.06161	Bocanegra Salazar, 2006.
60	Pozo Tecomates	Pozo	Rioverde	380202	2431586	14	2016	0.01760	CONAGUA, 2016.
61	Pozo El Pescadito	Pozo	Rioverde	387099	2419837	14	2016	0.01760	CONAGUA, 2016.
62	Rancho Los Salitrillos	Noria	Rioverde	395353	2424340	14	2008	0.08400	Hernández Martínez, 2008.
63	Pozo Ejido El Potro	Pozo	Salinas de Hidalgo	218733	2507931	14	2006	0.01271	Bocanegra Salazar, 2006.
64	Pozo Esc. Primaria Benito Juárez	Pozo	Salinas de Hidalgo	212796	2497090	14	2006	0.01708	Bocanegra Salazar, 2006.
65	Cabecera municipal	Pozo	Salinas de Hidalgo	220837	2507529	14	2006	0.02253	Bocanegra Salazar, 2006.
66	Conejillo	Pileta	Salinas de Hidalgo	212886	2491186	14	2006	0.02487	Bocanegra Salazar, 2006.
67	Las Colonias	Pozo	Salinas de Hidalgo	213071	2497151	14	2015	0.02810	CONAGUA, 2019.
67	Las Colonias	Pozo	Salinas de Hidalgo	213071	2497151	14	2016	0.03110	CONAGUA, 2016; CONAGUA, 2019.
67	Las Colonias	Pozo	Salinas de Hidalgo	213071	2497151	14	2018	0.03300	CONAGUA, 2019.
68	Pozo La Reforma	Pozo	Salinas de Hidalgo	228337	2518893	14	2006	0.04175	Bocanegra Salazar, 2006.
69	Lomas III	Pozo	San Luis Potosí	291464	2449890	14	2006	0.01013	Landín Rodríguez, 2006.
70	Industrias	Pozo	San Luis Potosí	301368	2447814	14	2006	0.01024	Landín Rodríguez, 2006.
71	Salk V	Pozo	San Luis Potosí	300344	2446178	14	2006	0.01027	Landín Rodríguez, 2006.

72	Parque de Morales	Pozo	San Luis Potosí	292210	2450789	14	2006	0.01032	Landín Rodríguez, 2006.
73	Pozos I	Pozo	San Luis Potosí	306151	2444596	14	2006	0.01033	Landín Rodríguez, 2006.
74	Santa Cruz	Pozo	San Luis Potosí	294480	2453259	14	2006	0.01033	Landín Rodríguez, 2006.
75	Ciudad 2000-I	Pozo	San Luis Potosí	303407	2448132	14	2006	0.01039	Landín Rodríguez, 2006.
76	Ponciano Arriaga	Pozo	San Luis Potosí	294474	2456429	14	2006	0.01042	Landín Rodríguez, 2006.
77	El Jaralito	Pozo	San Luis Potosí	311697	2438264	14	2006	0.01045	Landín Rodríguez, 2006.
78	Los Salazares II	Pozo	San Luis Potosí	291433	2455419	14	2006	0.01055	Landín Rodríguez, 2006.
79	Ciudad 2000-II	Pozo	San Luis Potosí	303814	2447873	14	2006	0.01056	Landín Rodríguez, 2006.
80	Termal VI	Pozo	San Luis Potosí	301572	2445390	14	2006	0.01059	Landín Rodríguez, 2006.
81	Bomberos Zona Industrial	Pozo	San Luis Potosí	303242	2445407	14	2006	0.01063	Landín Rodríguez, 2006.
82	Las Julias	Pozo	San Luis Potosí	292026	2453323	14	2006	0.01064	Landín Rodríguez, 2006.
83	Termal I	Pozo	San Luis Potosí	301067	2446139	14	2006	0.01066	Landín Rodríguez, 2006.
84	Alameda II	Pozo	San Luis Potosí	291020	2453526	14	2006	0.01081	Landín Rodríguez, 2006.
85	La Venadita	Pozo	San Luis Potosí	295097	2453147	14	2006	0.01086	Landín Rodríguez, 2006.
86	Jacarandas II	Pozo	San Luis Potosí	292349	2454890	14	2006	0.01097	Landín Rodríguez, 2006.
87	Valle Dorado	Pozo	San Luis Potosí	299185	2449319	14	2006	0.01098	Landín Rodríguez, 2006.
88	Infonavit Morales	Pozo	San Luis Potosí	291740	2452491	14	2006	0.01100	Landín Rodríguez, 2006.
89	Salk II	Pozo	San Luis Potosí	299659	2446961	14	2006	0.01104	Landín Rodríguez, 2006.
90	Pedrosa II	Pozo	San Luis Potosí	296514	2453870	14	2006	0.01112	Landín Rodríguez, 2006.
91	Muñoz II	Pozo	San Luis Potosí	293794	2451206	14	2006	0.01114	Landín Rodríguez, 2006.
92	La Libertad	Pozo	San Luis Potosí	302930	2449286	14	2006	0.01118	Landín Rodríguez, 2006.
93	El Aguaje	Pozo	San Luis Potosí	299572	2445839	14	2006	0.01119	Landín Rodríguez, 2006.

94	Prados II	Pozo	San Luis Potosí	302955	2448738	14	2006	0.01120	Landín Rodríguez, 2006.
95	Lomas del Mezquital	Pozo	San Luis Potosí	292420	2453768	14	2006	0.01126	Landín Rodríguez, 2006.
96	Mezquital I	Pozo	San Luis Potosí	292880	2453955	14	2006	0.01133	Landín Rodríguez, 2006.
97	Termal II	Pozo	San Luis Potosí	300969	2446043	14	2006	0.01135	Landín Rodríguez, 2006.
98	Tecnológico	Pozo	San Luis Potosí	292602	2453158	14	2006	0.01140	Landín Rodríguez, 2006.
99	San Ángel	Pozo	San Luis Potosí	293328	2454712	14	2006	0.01145	Landín Rodríguez, 2006.
100	Juan Sarabia II	Pozo	San Luis Potosí	301497	2447173	14	2006	0.01148	Landín Rodríguez, 2006.
101	Juan Sarabia III	Pozo	San Luis Potosí	301768	2446937	14	2006	0.01151	Landín Rodríguez, 2006.
102	Tercera Grande	Pozo	San Luis Potosí	296776	2453488	14	2006	0.01154	Landín Rodríguez, 2006.
103	Valle de Santiago	Pozo	San Luis Potosí	294111	2451652	14	2006	0.01165	Landín Rodríguez, 2006.
104	Las Mercedes I	Pozo	San Luis Potosí	291020	2453526	14	2006	0.01171	Landín Rodríguez, 2006.
105	Abastos III	Pozo	San Luis Potosí	302589	2449181	14	2006	0.01174	Landín Rodríguez, 2006.
106	Termal III	Pozo	San Luis Potosí	301658	2445971	14	2006	0.01175	Landín Rodríguez, 2006.
107	Termal IV	Pozo	San Luis Potosí	301378	2446585	14	2006	0.01181	Landín Rodríguez, 2006.
108	Saucito	Pozo	San Luis Potosí	293936	2454731	14	2006	0.01181	Landín Rodríguez, 2006.
109	Mezquital II	Pozo	San Luis Potosí	290553	2454406	14	2006	0.01212	Landín Rodríguez, 2006.
110	Termal VI	Pozo	San Luis Potosí	301819	2446428	14	2006	0.01214	Landín Rodríguez, 2006.
111	Halcones	Pozo	San Luis Potosí	289645	2449016	14	2006	0.01245	Landín Rodríguez, 2006.
112	Simón Díaz II	Pozo	San Luis Potosí	298851	2447122	14	2006	0.01262	Landín Rodríguez, 2006.
113	Juan Sarabia I	Pozo	San Luis Potosí	301129	2447319	14	2006	0.01281	Landín Rodríguez, 2006.
114	Lomas IV	Pozo	San Luis Potosí	289854	2450655	14	2006	0.01284	Landín Rodríguez, 2006.
115	Simón Díaz I	Pozo	San Luis Potosí	298185	2447230	14	2006	0.01303	Landín Rodríguez, 2006.

116	Dalias	Pozo	San Luis Potosí	300149	2447398	14	2006	0.01320	Landín Rodríguez, 2006.
117	Alameda	Pozo	San Luis Potosí	296650	2450749	14	2006	0.01401	Landín Rodríguez, 2006.
118	Pozos II grifo	Grifo	San Luis Potosí	306473	2443436	14	2006	0.01403	Landín Rodríguez, 2006.
119	Universidad	Pozo	San Luis Potosí	291996	2449820	14	2006	0.01414	Landín Rodríguez, 2006.
120	Pozos II	Pozo	San Luis Potosí	306473	2443436	14	2006	0.01444	Landín Rodríguez, 2006.
121	Muñoz	Pozo	San Luis Potosí	293772	2451419	14	2006	0.01480	Landín Rodríguez, 2006.
122	San Juan del Salado	Pileta	Santo Domingo	199671	2580789	14	2006	0.02418	Bocanegra Salazar, 2006.
123	Pozo Jesús María	Pozo-Grifo	Santo Domingo	787576	2563339	13	2006	0.02615	Bocanegra Salazar, 2006.
124	Santa Matilde	Pozo-Grifo	Santo Domingo	210224	210224	14	2006	0.04900	Bocanegra Salazar, 2006.
125	Illescas	Pileta	Santo Domingo	791034	2572468	13	2006	0.05431	Bocanegra Salazar, 2006.
126	Pozo No. 1	Pozo	Santo Domingo	220494	2583308	14	2006	0.01908	Bocanegra Salazar, 2006.
127	Cabecera municipal	Pileta	Santo Domingo	219581	2581876	14	2006	0.06218	Bocanegra Salazar, 2006.
128	Jardines del Valle	Pozo	Soledad de Graciano Sánchez	299236	2450687	14	2006	0.01001	Landín Rodríguez, 2006.
129	Las Palmas	Pozo	Soledad de Graciano Sánchez	298502	2452075	14	2006	0.01037	Landín Rodríguez, 2006.
130	Rancho Pavón	Pozo	Soledad de Graciano Sánchez	298923	2453649	14	2006	0.01089	Landín Rodríguez, 2006.
131	H.H.F.F.C.C.I-II	Pozo	Soledad de Graciano Sánchez	299793	2450920	14	2006	0.01185	Landín Rodríguez, 2006.
132	San Francisco	Pozo	Soledad de Graciano Sánchez	300726	2452475	14	2006	0.01283	Landín Rodríguez, 2006.
133	Villas del Morro	Pozo	Soledad de Graciano Sánchez	299748	2452913	14	2006	0.01328	Landín Rodríguez, 2006.
134	Praderas del Maurel	Pozo	Soledad de Graciano Sánchez	299046	2451871	14	2006	0.01368	Landín Rodríguez, 2006.

135	Pozo Colorado	Pozo	Villa de Arriaga	254295	2427744	14	2006	0.01037	Bocanegra Salazar, 2006.
136	Pozo Laborcilla	Pozo	Villa de Arriaga	259130	2422703	14	2006	0.01543	Bocanegra Salazar, 2006.
137	Santa Isabel	Pileta	Villa de Guadalupe	312819	2572070	14	2006	0.01433	Bocanegra Salazar, 2006.
138	Pozo No. 3 La Masita	Pozo	Villa de Guadalupe	336286	2559871	14	2016	0.02950	CONAGUA, 2016; CONAGUA, 2019.
139	Vallejos	Pozo	Villa de Guadalupe	341732	2557057	14	2006	0.06082	Bocanegra Salazar, 2006.
140	Dulce grande pozo 2	Pozo	Villa de Ramos	788952	2545798	13	2006	0.01811	Bocanegra Salazar, 2006.
141	Los Hernandez	Pozo	Villa de Ramos	805055	2548590	13	2006	0.01963	Bocanegra Salazar, 2006.
142	Cabecera Municipal	Pozo	Villa de Ramos	197281	2526587	14	2006	0.02434	Bocanegra Salazar, 2006.
143	Cabecera Municipal	Pozo	Villa de Ramos	196152	2527181	14	2006	0.02587	Bocanegra Salazar, 2006.
144	Santa Lucía	Noria	Villa de Ramos	200100	2522289	14	2006	0.03063	Bocanegra Salazar, 2006.
145	Sauz de Calera	Pozo	Villa de Ramos	791014	2531131	13	2015	0.07690	CONAGUA, 2019.
145	Sauz de Calera	Pozo	Villa de Ramos	791014.	2531131	13	2017	0.07460	CONAGUA, 2019.
145	Sauz de Calera	Pozo	Villa de Ramos	791014	2531131	13	2018	0.04600	CONAGUA, 2019.
145	Sauz de Calera	Pozo	Villa de Ramos	791014	2531131	13	2018	0.03860	CONAGUA, 2019.
146	La Dulcita	Tanque	Villa de Ramos	194668	2532691	14	2006	0.04239	Bocanegra Salazar, 2006.
147	Pozo Sr. Francisco Castillo	Pozo	Villa de Ramos	207098	2526016	14	2006	0.04395	Bocanegra Salazar, 2006.
148	El Zacaton	Pozo	Villa de Ramos	803429	2525652	13	2006	0.04789	Bocanegra Salazar, 2006.
149	Dulce grande pozo 1	Pozo	Villa de Ramos	790018	2546483	13	2006	0.05136	Bocanegra Salazar, 2006.
150	El Salitral	Pozo	Villa de Ramos	799347	2530440	13	2015	0.12580	CONAGUA, 2019.
150	El Salitral	Pozo	Villa de Ramos	799347	2530440	13	2016	0.13390	CONAGUA, 2016; CONAGUA, 2019.
150	El Salitral	Pozo	Villa de Ramos	799347	2530440	13	2017	0.19470	CONAGUA, 2019.

150	El Salitral	Pozo	Villa de Ramos	799347	2530440	13	2018	0.17600	CONAGUA, 2019.
150	El Salitral	Pozo	Villa de Ramos	799347	2530440	13	2018	0.14780	CONAGUA, 2019.
151	El Salitral	Tanque	Villa de Ramos	796765	2532879	13	2006	0.14895	Bocanegra Salazar, 2006.
152	Jardín de niños-Salitral	Pozo	Villa de Ramos	798643	2532411	13	2006	0.15070	Bocanegra Salazar, 2006.
153	Pozo Yoliatl	Pozo	Villa de Ramos	224597	2534262	14	2006	0.01829	Bocanegra Salazar, 2006.
154	Pozo No. 504 (CNA-12-504)	Pozo	Villa de Reyes	299121	2408742	14	2016	0.01210	CONAGUA, 2016.
155	La Esperanza	Pozo-Grifo	Villa de Zaragoza	317705	2434589	14	2006	0.01042	Bocanegra Salazar, 2006.
156	Labor de Milpas	Pozo	Villa de Zaragoza	314156	2438002	14	2006	0.01324	Bocanegra Salazar, 2006.
157	Xoconostle	Pozo	Villa de Zaragoza	320009	2444590	14	2006	0.01405	Bocanegra Salazar, 2006.

2. Localización y parámetros hidrodinámicos de las muestras colectadas en las campañas de muestreo.

Núm. de referencia	Sitio de muestreo	Coordenadas UTM			Zona	Profundidad total del pozo (m)	Nivel estático del pozo (m)	Nivel dinámico del pozo (m)
		X	Y	Z (msnm)				
Candidato 1	Las Colonias, Salinas de Hidalgo.	212930	2497145	2080	14	150	50	SD
Candidato 2	Escuela Secundaria, Salinas de Hidalgo.	228309	2519086	2054	14	>30	SD	SD
Candidato 3	Pozo Sauz de Calera, Villa de Ramos.	791014	2531131	2067	13	35	15	22.08
Candidato 4	Pozo El Salitral, Villa de Ramos.	799347	2530440	2030	13	SD	SD	SD
1	La laguna	800906	2531057	2021	13	NA	NA	NA
2	Agua de grifo	799457	2532364	2038	13	NA	NA	NA
3	Terreno	798788	2530523	2036	13	70	29.67	SD
4	Flores	799565	2530745	2052	13	33	22.42	SD
5	Bodega	799441	2532407	2037	13	21	15.31	SD
6	Establo	799633	2532441	2020	13	SD	SD	20
7	Noria	800841	2529650	2045	13	12	10.81	SD
8	Bombeo	805067	2535705	2066	13	115	65.39	SD
								<i>NA: No aplica. SD: Sin dato.</i>

3. Resultado de los parámetros *in situ* de las muestras colectadas en las campañas de muestreo.

Núm. de referencia	Sitio de muestreo	T ambiental (°C)	T muestra (°C)	ORP (mV)	pH	Salinidad	CE (μS/cm)	STD (mg/L)	O ₂ (mg/L)	Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)
Candidato 1	Las Colonias, Salinas de Hidalgo.	27	25.17	SD	7.4	0.54	1094	546	SD	SD
Candidato 2	Escuela Secundaria, Salinas de Hidalgo.	27	24.58	SD	9	0.71	1417	713	SD	SD
Candidato 3	Sauz de Calera, Villa de Ramos.	25	23.39	SD	7.3	0.65	1259	651	SD	SD
Candidato 4	El Salitral, Villa de Ramos.	26	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
1	La laguna	20	19.7	114.4	9.6	4.04	7306	365.3	6.22	SD
2	Agua de grifo	17.7	22.1	80.4	7.8	0.28	573	287	SD	SD
3	Terreno	23	24.7	181	7.9	0.33	674	337	5.94	253
4	Flores	21.6	22.1	188.2	7.1	0.29	594	296	6.57	158.8
5	Bodega	24	24.7	139.8	8.5	0.42	854	429	6.65	263
6	Establo	22	22.8	151.7	8.1	0.78	1542	771	6.41	324
7	Noria	24	22.3	143.1	7.9	0.25	488	258	3.20	176
8	Bombeo	22.8	25.2	188.3	7.3	0.39	790	395	7.90	250
<i>SD: Sin dato.</i>										

4. Resultados del análisis en laboratorio de las muestras colectadas en las campañas de muestreo.

	C1	C2	C3			C4	1	2	3		4		5		6		7		8	
Ag	ND	ND	ND	ND	ND	SD	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Al	0.06	0.08	ND	ND	<0.05	SD	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.09	0.08	ND	ND
As	ND	ND	ND	ND	ND	SD	1.20	0.28	ND	ND	ND	0.08	0.20	0.23	0.49	0.41	<0.05	ND	ND	0.23
B	0.61	2.96	0.44	0.45	0.45	SD	4.72	0.31	0.45	0.45	0.51	0.51	0.68	0.69	1.65	1.64	0.19	0.20	0.49	0.49
Ba	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	SD	<0.05	<0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Be	ND	ND	ND	ND	ND	SD	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ca	33.66	4.06	45.53	45.88	45.66	SD	4.23	23.05	22.12	21.74	31.66	31.69	24.12	24.22	11.14	11.36	30.23	30.47	41.37	42.11
Cd	ND	ND	ND	ND	ND	SD	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Co	SD	SD	SD	SD	SD	SD	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cr	ND	ND	ND	ND	ND	SD	ND	ND	<0.05	<0.05	ND	ND	<0.05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0.05
Cu	0.21	ND	ND	<0.05	<0.05	SD	<0.05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Fe	0.10	0.15	ND	<0.05	0.41	SD	<0.05	<0.05	0.07	0.06	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.06	0.06	ND	ND
K	25.77	1.15	24.54	24.67	24.54	SD	202.8 1	19.48	23.81	24.06	26.72	27.12	17.90	18.10	35.22	35.42	14.61	14.70	21.55	21.76
Li	SD	SD	SD	SD	SD	SD	<0.05	ND	0.09	0.09	0.10	0.10	0.15	0.15	0.10	0.10	<0.05	<0.05	0.16	0.16
Mg	8.46	<0.05	27.28	27.65	27.53	SD	0.09	6.42	11.59	11.61	14.49	14.56	7.46	7.52	2.51	2.53	14.63	14.61	9.33	9.38
Mn	<0.05	<0.05	ND	<0.05	ND	SD	<0.05	ND	<0.05	<0.05	ND	ND	<0.05	<0.05	ND	ND	<0.05	<0.05	ND	ND
Mo	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0.11	ND	ND	ND	ND	ND	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	ND	ND	ND	ND
Na	6.97	14.97	5.79	5.82	5.76	SD	105.6 0	19.07	12.65	12.47	8.91	8.98	17.65	17.58	39.41	38.96	6.41	6.46	12.91	13.22

Ni	ND	ND	ND	ND	ND	SD	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
P	ND	ND	ND	ND	ND	SD	3.02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.52	0.47	ND	ND
Pb	ND	ND	ND	ND	ND	SD	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SO₄²⁻	167.37	396.46	248.63	274.92	282.62	SD	976.17	184.74	130.25	133.39	119.12	126.37	224.41	220.10	745.27	734.82	162.46	153.93	369.16	385.45
Sb	ND	ND	ND	ND	ND	SD	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Se	ND	ND	ND	ND	ND	SD	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Si	46.92	13.15	17.74	18.01	17.70	SD	15.63	18.12	35.63	35.75	39.73	39.96	38.10	38.77	49.42	49.78	25.23	25.51	39.76	39.90
Sn	ND	ND	ND	ND	ND	SD	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Sr	0.48	<0.05	1.39	1.40	1.39	SD	0.08	0.35	0.44	0.44	119.12	126.37	0.32	0.32	0.12	0.13	0.74	0.76	0.67	0.67
Tl	ND	ND	ND	ND	ND	SD	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
V	<0.05	ND	ND	ND	ND	SD	0.12	<0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.04
Zn	0.27	<0.05	ND	<0.05	ND	SD	<0.05	ND	<0.05	ND	0.15	0.16	<0.05	<0.05	<0.05	ND	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

*C1: Candidato 1; C2: Candidato 2 y C3: Candidato 3.
SD: Sin dato.
ND: No detectado.*

5. Constancia de premiación en el VIII Congreso Interdisciplinario de Posgrado.



El **VIII Congreso Interdisciplinario de Posgrado (CONIP)** y el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. (IPICYT), otorgan el presente

RECONOCIMIENTO

a:

Nadia Lizbeth Vite Hernández

Por haber obtenido el 1° lugar en el certamen académico IPITESIS dentro del marco del VIII Congreso Interdisciplinarios de Posgrados (CONIP).

DEL 25 AL 27 DE SEPTIEMBRE DE 2019, SAN LUIS POTOSÍ, S.L.P.


Dr. Luis Antonio Salazar Olivo
Director General del IPICYT


Dr. Marcial Bonilla Marín
Secretario Académico del IPICYT


M.C. Roque Sánchez Salas
Representante Estudiantil de Doctorado IPICYT


Ing. Karla Rubí Hernández Martínez
Representante Estudiantil de Maestría IPICYT



GOBIERNO DE MÉXICO