



# UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**Evaluación de As en polvo rural de la  
zona noroeste México: Caso de estudio  
El Poblado Miguel Alemán**

**TESIS**

Que para obtener el grado de:

**Geólogo**

Presenta:

**Alexandra Briseño Beltrán**

Director:

**Dra. Verónica Moreno Rodríguez**



Hermosillo, Sonora, México, abril del 2018

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

Hermosillo, Sonora, 07 de junio de 2017

**DRA. SILVIA MARTÍNEZ RETAMA**  
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA  
UNIVERSIDAD DE SONORA  
Presente.-

Por este conducto y de la manera más atenta, me permito someter a su consideración, para su aprobación el siguiente el tema de Tesis, intitulado:

**“Evaluación de As en polvo rural de la zona noroeste México: Caso de estudio El Poblado Miguel Alemán”**

Esto es con el fin de que la alumna **Briseño Beltrán Alexandra** con **Expediente No. 211205065**, pueda presentar su examen profesional, para la obtención de su título de Licenciatura en Geología.

Sin otro en particular y agradeciendo de antemano su atención al presente, quedamos de Usted.

**ATENTAMENTE**  
**“EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA”**



---

**VERÓNICA MORENO RODRIGUEZ**  
DIRECTORA DE TESIS

C.c.p. Interesado.  
C.c.p. Archivo



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"

# UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales  
Departamento de Geología

Hermosillo, Sonora, 03 de julio, 2017

**M.C. VERÓNICA MORENO RODRIGUEZ**  
DIRECTORA DE TESIS  
**M.C. MARGARITA DE LA O VILLANUEVA**  
ASESORA DE TESIS

PRESENTE.-

Por este conducto, le comunico que ha sido aprobado el tema de tesis propuesto por Usted intitulado:

**“Evaluación de As en polvo rural de la zona noroeste México:  
Caso de estudio El Poblado Miguel Alemán”**

Esto es con el fin de que la alumna **Briseño Beltrán Alexandra** con **Expediente No. 211205065**, pueda presentar su examen profesional, para la obtención de su título de Licenciatura en Geología. Así mismo les comunico que han sido asignados los siguientes Sinodales:

**Presidente M.C. Margarita De la O Villanueva**  
**Secretario Dr. Inocente Guadalupe Espinoza Maldonado**  
**Vocal M.C. Verónica Moreno Rodríguez**

Sin otro en particular y agradeciendo de antemano su atención al presente, quedo de Usted.

**A T E N T A M E N T E**  
**“EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA”**

  
**DRA. SILVIA MARTÍNEZ RETAMA**  
JEFA DEL DEPARTAMENTO.

C.c.p. Interesado  
C.c.p. Archivo.



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"

# UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales  
Departamento de Geología

**NOMBRE DE LA TESIS:**

**"EVALUACIÓN DE As EN POLVO RURAL DE LA ZONA NOROESTE MÉXICO:  
CASO DE ESTUDIO EL POBLADO MIGUEL ALEMÁN"**

**NOMBRE DE LA SUSTENTANTE:**

**BRISEÑO BELTRÁN ALEXANDRA**

La que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuado, como requerimiento parcial para obtener el Título de Licenciatura en la Universidad de Sonora.

**M.C. MARGARITA DE LA O VILLANUEVA**

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuado, como requerimiento parcial para obtener el Título de Licenciatura en la Universidad de Sonora.

**DR. INOCENTE GUADALUPE ESPINOZA MALDONADO**

La que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuado, como requerimiento parcial para obtener el Título de Licenciatura en la Universidad de Sonora.

**DRA. VERÓNICA MORENO RODRÍGUEZ**

**ATENTAMENTE**  
**"EL SABER DE MIS HIJOS HARÁ MI GRANDEZA"**

**DRA. SILVIA MARTÍNEZ RETAMA**  
**JEFA DEL DEPARTAMENTO**



El saber de mis hijos  
hará mi grandeza  
**DEPARTAMENTO  
DE GEOLOGIA**

C.c.p. Archivo.

## **Dedicatoria**

A mi hija Natalia, mi pequeña, mi inspiración, mi luz, mi vida.

A mi esposo mi pilar, que me apoya en todo momento.

A mis padres y hermano por su apoyo.

A mi ángel Natalia que hasta en sueños me alienta a ser una mejor persona.

## **Agradecimientos**

A la Dra. Verónica Moreno Rodríguez, quien ha sido una pieza fundamental a lo largo de este trabajo, por siempre tener algo positivo que decir, por enseñarme que todo se puede hacer si te lo propones, por compartir siempre sus conocimientos, por siempre estar ahí pendiente, por su amistad y por ser esa persona tan noble y cariñosa.

A el Dr. Rafael del Rio Salas primeramente por dejarme ser parte de este proyecto y confiar en mí, por brindarme todas las herramientas necesarias siempre, por su apoyo incondicional, tiempo y paciencia, por transmitirme esa pasión por lo que hace, por siempre tener ese buen sentido del humor y siempre escuchar mis dudas, sin duda una de las personas más importantes durante este camino.

A mis sinodales el Dr. Inocente Guadalupe Espinoza Maldonado y la M.C. Margarita de la O Villanueva por su buena disposición para la realización de este trabajo académico y por sus enseñanzas durante la licenciatura.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, tanto al Instituto de Geología en ciudad Universitaria como a la Estación Regional del Noroeste en Hermosillo Sonora, al laboratorio de Geoquímica Ambiental del Instituto de Geología en particular al Dr. Francisco Martin Romero, Q. Fabiola Vega, Q. Astrid Vázquez Salgado y M. C. Luis Gerardo Martinez Jardines.

Al Dr. Rene Loredó Portales, M.C Héctor Mendivil Quijada y a J. F. Martínez Rodríguez por el tiempo brindado durante este trabajo académico. Finalmente se agradece el financiamiento de la presente investigación, el cual fue proporcionado por el proyecto PAPIIT IA209616, otorgado al Dr. Rafael del Rio Salas.

A mis compañeros del servicio del servicio social, O. Casas, G. Baldenebro, S. Galarza, A. Alvarez and D. Acosta.

A mis compañeros y amigos Mayra Peña Ortega, Aracely Leyva Haro, Diana Romo Morales, Bernardo García Lagarda, Humberto Camacho Cañez y Carlos Corella Santa Cruz por su colaboración, apoyo y amistad.

A mis padres que durante toda esta etapa siempre me brindaron su apoyo y paciencia en cualquier locura que se me ocurriera.

A mi compañero de vida Emmanuel Martínez Guerrero, por siempre estar ahí, por ser mi pilar más grande, por su comprensión, amor y paciencia.

## Resumen

El arsénico es una de las diez sustancias químicas que representan un mayor riesgo potencial para la salud humana. Este elemento puede incorporarse al medio ambiente mediante diversas actividades antropogénicas, como la minería, la agricultura, la eliminación de desechos, el ganado, etc. La exposición prolongada a bajas concentraciones de arsénico puede suponer un riesgo potencial para la salud humana. El Poblado Miguel Alemán es un asentamiento rural con problemas de polvo, que cuenta con la mayoría de calles sin pavimentar, además se caracteriza por presentar una alta tasas de marginación. El poblado está rodeado por los campos agrícolas de La Costa de Hermosillo, que han sido productivos desde la década de 1940. Algunos de estos campos han sido abandonados debido a una intrusión salina a consecuencia de una sobreexplotación de las aguas subterráneas. Por lo tanto, los campos activos y abandonados pueden servir como fuente potencial de contaminantes, principalmente debido a las condiciones ambientales semiáridas de la región que favorecen la erosión y la resuspensión del polvo, teniendo como destino final zonas rurales. La presente investigación evalúa las concentraciones de arsénico en muestras de polvo de calle, suelos de patio de casa, suelos y techos de escuela de dicho poblado, así como es suelos de campos agrícolas de La Costa de Hermosillo y suelo aparentemente no impactado por actividades antropogénicas. Las concentraciones promedio de arsénico en muestras de polvo de calles es  $17.9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , suelos de patio de casa es de  $18.5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , suelos de patio escuela  $18.2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , y de polvo depositado en techo de escuela  $16.7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , suelo agrícola  $16.2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , y suelo aparentemente no impactado por actividades antropogénicas  $8.9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . A partir de los datos de concentración de arsénico, se realizó una evaluación de riesgo a la salud por ingesta involuntaria de suelo polvo. Los resultados sugieren que la población de uno a dos años presenta mayor probabilidad de sufrir efectos adversos a la salud (no cancerígenos) por ingesta involuntaria de suelo y polvo, de calle y suelos de patio de casa. En el caso de la población de niños de dos a cuatro años, la mayor probabilidad de mayor probabilidad de riesgo a la salud se observa en zonas de mayor rezago social y mayor densidad de población.

# Contenido

1. Introducción .....	6
1.1. Objetivos .....	8
1.1.1 Objetivo general .....	8
1.1.2 Objetivos específicos .....	9
2. Área de estudio .....	10
2.1. Clima .....	13
2.2. Características socioeconómicas .....	14
2.3. Geología .....	15
2.4. Suelos .....	18
2.5. Hidrogeología .....	20
3. Marco teórico .....	21
3.1. Generalidades del arsénico .....	21
3.2. Evaluación de riesgo a la salud humana .....	24
4. Metodología .....	29
4.1. Sistema de Información Geográfico .....	29
4.2. Recolección de muestras y preparación .....	29
4.3. Fluorescencia de Rayos X .....	34
4.4. Índices ambientales .....	34
4.5. Evaluación de la exposición .....	36
5. Resultados y discusión .....	36
5.1. Concentraciones de arsénico y distribución espacial .....	38
5.2. Índices ambientales .....	44
5.3. Evaluación a la exposición .....	50
6. Conclusiones .....	56
Referencias .....	58

## Índice de figuras

<b>Figura 2. 1</b> Mapa de ubicación de El Poblado Miguel Alemán, Sonora, en el cual también se encuentran delimitados los campos agrícolas de La Costa de Hermosillo. ....	12
<b>Figura 2. 2</b> Mapa mostrando la distribución de la población total en la El Poblado Miguel Alemán en el año 2010 (modificado de IMPLAN, 2015). ....	13
<b>Figura 2. 3</b> Distribución del grado de rezago social de El Poblado Miguel Alemán registrado para el año 2010 (modificado de IMPLAN 2015). ....	15
<b>Figura 2. 4</b> Mapa geológico del área de estudio, a partir de datos vectoriales litológicos de las Cartas del Servicio Geológico Mexicano H12-8 y H12-11. ....	17
<b>Figura 2. 5</b> Mapa edafológico de La Costa de Hermosillo y zonas circundantes (modificado de INEGI, 2007). ....	19
<b>Figura 3. 1</b> Proceso de evaluación del riesgo para la salud humana modificado de Zhai et al. (2017). ....	25
<b>Figura 3. 2</b> Ecuación general de estimación indirecta de la exposición modificada de la EPA (2017). ....	28
<b>Figura 4. 1</b> Localización de muestras de suelo superficial de casas, escuelas, polvo de calle, polvo depositado en techos de escuelas, suelo natural y suelo agrícola. ....	30
<b>Figura 4. 2</b> Fotografías mostrando a) sitio de muestreo de calles no pavimentadas b) recolección de muestra con pala de acero inoxidable en patio de casa, c) patios de escuela d) suelo de campo agrícola f) sitio de muestreo de polvo depositado en techo de escuela e) toma de muestra de suelo no impactado g) proceso de cuarteado de muestra total h) columna de tamices. ....	33
<b>Figura 5. 1</b> Graficas mostrado concentraciones de arsénico en muestras de A) suelo de patio y polvo depositado en techos de escuelas primarias; B) suelos agrícolas abandonados de La Costa de Hermosillo; C) suelo de patios de casa de El Poblado Miguel Alemán; D) polvo de calle no pavimentada del poblado. Las líneas amarillas representa el Límite Máximo Permisible (LMP) definido en la NOM-147. Las líneas verdes representan el valor del fondo geoquímico natural determinado en suelos naturales libre de actividad antropogénica. ....	41
<b>Figura 5. 2</b> Distribución espacial de concentraciones graduadas de arsénico en muestras de suelo de campos agrícolas abandonados de La Costa de Hermosillo. A) Concentraciones de arsénico en muestras de suelo, polvo y calle de El Poblado Miguel Alemán, y B) del núcleo poblacional Mineros de Pilares, localizado a 17 kilómetros al suroeste de El Poblado Miguel Alemán. ....	43
<b>Figura 5. 3</b> Variación de índice de geoacumulación (Igeo) en muestras de a) suelos agrícolas abandonados de La Costa de Hermosillo, b) calles de El Poblado Miguel Alemán, c) suelo de patio de casa de dicho poblado, d) de polvo depositado en techo y suelo de escuela primaria de dicho poblado. ....	45
<b>Figura 5. 4</b> Distribución espacial de valores de geoacumulación (Igeo) de arsénico en muestras de suelo de campos agrícolas abandonados de La Costa de Hermosillo. A) Concentraciones de arsénico en muestras de suelo, polvo y calle de El Poblado Miguel Alemán, y B) del núcleo poblacional Mineros de Pilares, localizado a 17 kilómetros al suroeste de El Poblado Miguel Alemán. ....	47
<b>Figura 5. 5</b> Diagrama de caja mostrando los valores de factor de enriquecimiento (FE) de arsénico en muestras estudiadas de los campos abandonados de La Costa de Hermosillo y muestras de El Poblado Miguel Alemán. ....	48
<b>Figura 5. 6</b> Distribución espacial de valores de factor de enriquecimiento (FE) de arsénico en muestras de suelo de campos agrícolas abandonados de La Costa de Hermosillo. A) Concentraciones de arsénico en muestras de suelo, polvo y calle de El Poblado Miguel Alemán, y B) del núcleo poblacional Mineros de Pilares, localizado a 17 kilómetros al suroeste de El Poblado Miguel Alemán. ....	49

<b>Figura 5. 7</b> Diagrama de caja mostrando el coeficiente de riesgo (HQ) potencial por exposición a arsénico, por ingesta involuntaria en muestras de polvo/suelo de patio de casas de El Poblado Miguel Alemán. ....	53
<b>Figura 5. 8</b> Diagrama de caja mostrando el coeficiente de riesgo (HQ) potencial por exposición a arsénico, por ingesta involuntaria en muestras de polvo/suelo de escuelas de El Poblado Miguel Alemán. ....	54
<b>Figura 5. 9</b> Diagrama de caja mostrando el coeficiente de riesgo (HQ) potencial por exposición a arsénico, por ingesta involuntaria en muestras de polvo/suelo de calle de El Poblado Miguel Alemán. ....	54
<b>Figura 5. 10</b> Figura 5.10. Distribución espacial mostrando el coeficiente de riesgo (HQ) potencial por exposición a arsénico en diferentes escenarios (polvo de calle, suelo de casa y escuela) de El Poblado Miguel Alemán, para edades de A) un año, B) dos años, C) tres años, D) cuatro años. ....	55

## Índice de tablas

<b>Tabla 4. 1</b> Tamices utilizados en el proceso de separación granulométrica con correspondiente tamaño de partícula.....	32
<b>Tabla 4. 2</b> Valores utilizados para la obtención de ADD y HQ, en la cual el valor de EF para el caso de las escuelas es de 200 día/año, mientras que para casas y calles tiene un valor de 365 día/año. ....	37
<b>Tabla 5. 1</b> Valores de concentraciones de arsénico en muestras de polvo, expresados en $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Max: máximo; Min: mínimo; PROM: promedio; DST: desviación estándar; n: número de muestras. El valor del límite de detección del analizador para el As es $11 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Las muestras que presentaron valores por debajo del límite de detección (LD) se les asignó el valor límite de detección del analizador dividido entre dos. ....	40
<b>Tabla 5. 2</b> Promedio de concentraciones de arsénico, índice de geoacumulación (Igeo) y factor de enriquecimiento (FE) determinados en los diferentes tipos de muestras estudiadas de los campos abandonados de La Costa de Hermosillo y muestras de El Poblado Miguel Alemán.....	44
<b>Tabla 5. 3</b> Edades y pesos de la población Miguel Alemán Plan PROSPERA y Seguro Popular. ....	52
<b>Tabla 5. 4</b> (ADD) medidos para ingesta involuntaria de suelo/polvo en calles, casas y patios de escuela de El Poblado Miguel Alemán .....	52

## 1. Introducción

La agricultura es una de las principales actividades económicas en el mundo, a partir de la cual se han fundado poblaciones, teniendo consecuencias tanto positivas como negativas en el medio ambiente. Una de las causas principales de consecuencias negativas, está relacionada al abandono de los campos agrícolas o el cese de dicha actividad, lo cual genera preocupación en un gran número de regiones. Una de las principales causas del abandono de tierras agrícolas se asocia a la gestión agrícola no rentable, debido al agotamiento de recursos naturales, donde existe una baja en la fertilidad de la tierra (Cerdá, 2003). En las últimas décadas se ha documentado en la literatura sobre el abandonado de extensas zonas de tierras en algunos países (Ramankutty, 2006; Kalinina et al., 2011), por lo que esta problemática no es exclusiva de algunas regiones y es más común de lo esperado (Cramer et al., 2008). Por lo tanto, el abandono de tierras agrícolas puede propiciar las condiciones para que el suelo, ya sea por acción la del aire o por agua, se erosione con una mayor facilidad, dispersando así elementos potencialmente tóxicos hacia el medio ambiente.

El arsénico es una de las diez sustancias químicas consideradas más preocupantes para la salud, que en exposición prolongada puede causar diversas enfermedades, como cáncer, lesiones cutáneas, problemas cardiovasculares, neuróticos y diabetes, según la (OMS, 2016). El arsénico es un elemento ampliamente distribuido en la atmósfera, hidrosfera y biosfera, y representa  $\sim 5 \times 10^{-4}$  % de la corteza terrestre, por lo tanto, las principales fuentes en el medioambiente son naturales (ej. meteorización de rocas, actividad biológica, emisiones volcánicas, etc.), sin embargo, existe una importante contribución a

partir de actividades antropogénicas, tales como procesos industriales: minería, pesticidas, herbicidas, conservantes de la madera, entre otros (Litter et al., 2009). El arsénico puede encontrarse en estado sólido y líquido, presentando tanto propiedades metálicas como no metálicas, así como en formas inorgánicas y orgánicas, con una especie química definida que depende de su estado de oxidación, entre las cuales destacan (Litter et al., 2009) 1) Arseniato y otras formas inorgánicas de As (V); 2) Arsenito y otras formas inorgánicas de As (III). Debido a que el arsénico es un elemento con alta movilidad, éste puede ser redistribuido por agua y por aire (polvo, cuando es resuspendido), destacando la segunda ruta por su alta efectividad a la exposición. Por esta razón, es de suma importancia el estudio de dicho elemento, puesto que el polvo es un mecanismo de redistribución del mismo, el cual es de suma eficiencia, que incluso puede viajar miles de kilómetros.

El Poblado Miguel Alemán es una zona rural, perteneciente al Municipio de Hermosillo, Sonora, en el noroeste de México. Dicha área se localiza en una zona árida en donde la vegetación es escasa con precipitación anual baja, que cuando ocurre, esta se infiltra rápidamente en el suelo (Ordoñez, 1941), y es sabido que se caracteriza por tener un problema de polvo en el ambiente. Además, dicho poblado se encuentra rodeado por campos agrícolas tanto activos como inactivos pertenecientes a La Costa de Hermosillo (LCH). Durante la revolución verde en 1970, se prohibieron algunos pesticidas entre los que destaca el DDT, el cual fue ampliamente utilizado, produciendo así un pasivo ambiental en los suelos agrícolas de LCH. Otra característica de LCH es que presenta problemas de intrusión salina, principalmente debido al mal uso de los recursos naturales (Medina et al., 2004). También cabe señalar que El Poblado Miguel Alemán es el lugar donde se ha concentra toda la actividad económica y asentamiento poblacional de la

mayoría de los campos agrícolas, ya que la agricultura es la principal actividad de la zona desde los años 50's.

A pesar de las condiciones climatológicas, infraestructura y ambientales, son escasos los trabajos de investigación que se han realizado en la zona de estudio, por lo que es importante realizar estudios que involucren las afecciones a la salud. Son insuficientes los estudios de evaluación al riesgo a la salud por exposición a contaminantes por diversas vías en las que podemos destacar suelo y agua. A pesar de la gran actividad agrícola en décadas, en la región de La Costa de Hermosillo, donde se incluye el núcleo poblacional del Poblado Miguel Alemán, no se han realizado estudios sobre la distribución espacial, y mucho menos una evaluación sobre exposición a arsénico. El objetivo principal del presente trabajo de investigación es determinar la distribución espacial y las concentraciones de arsénico en la fracción fina resuspendible ( $<20 \mu\text{m}$ ), en muestras de suelo (escuelas y casas) y calles de El Poblado Miguel Alemán, así como en muestras de suelo de agrícola de campos abandonados de La Costa de Hermosillo, donde a partir de los datos arrojados realiza una evaluación por exposición en la población menor a cinco años, en el supuesto de que dicha población se encuentre potencialmente interactuando con arsénico asociado a la fracción resuspendible.

## **1.1. Objetivos**

### 1.1.1 Objetivo general

- Determinar la distribución espacial, concentración de arsénico, y riesgo en muestras de polvo de El Poblado Miguel Alemán

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Establecer las concentraciones de arsénico total muestras de suelo de patios de casa habitación, polvo de calle, y de techos de escuelas primarias.
- Determinar las concentraciones de arsénico en muestras de suelos agrícolas abandonados de los campos agrícolas de La Costa de Hermosillo.
- Determinar la distribución espacial de arsénico.
- Definir los índices de geo-acumulación y Factor de Enriquecimiento en las muestras estudiadas.
- Evaluar y determinar la distribución del riesgo por ingesta involuntaria de arsénico.

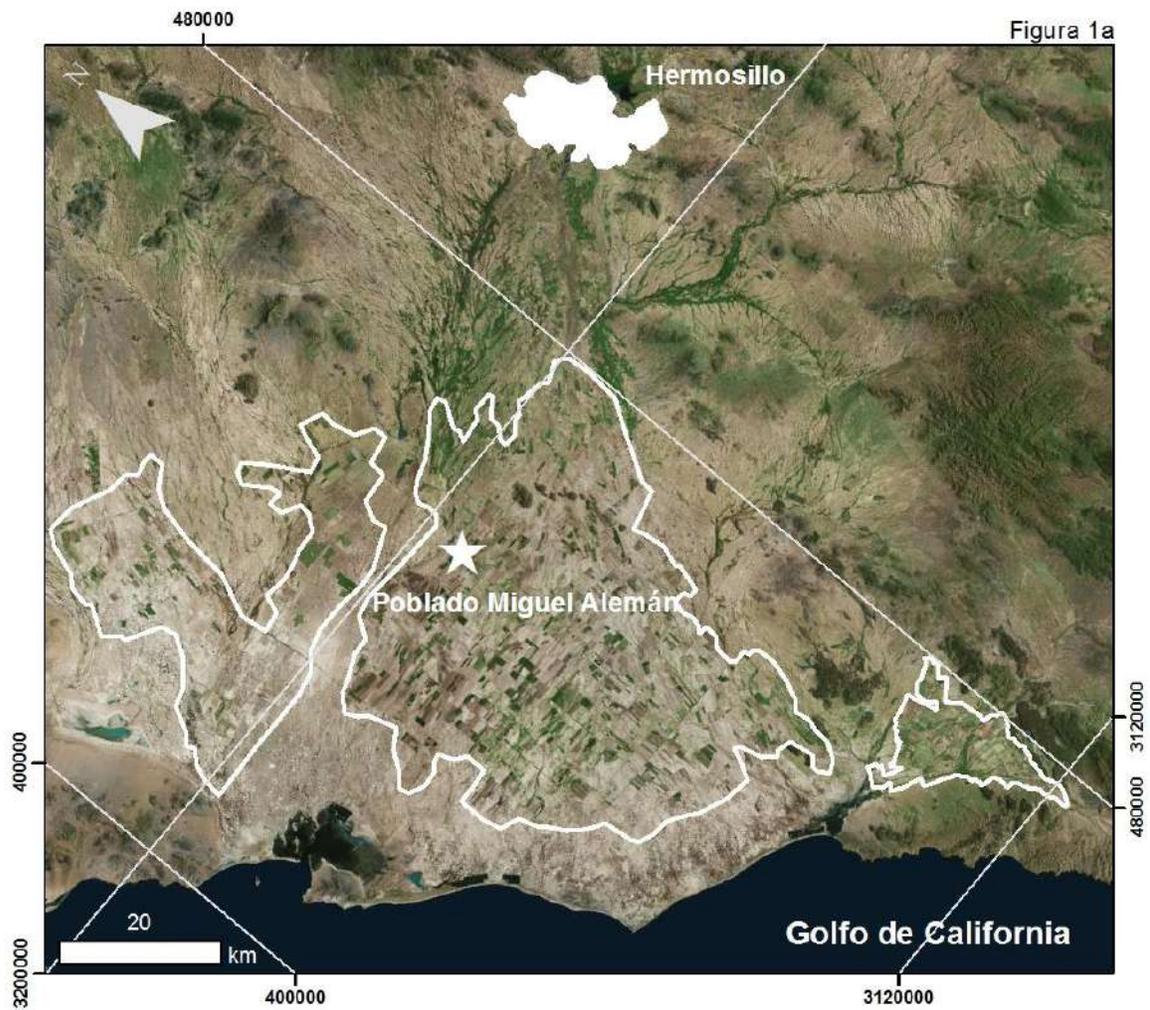
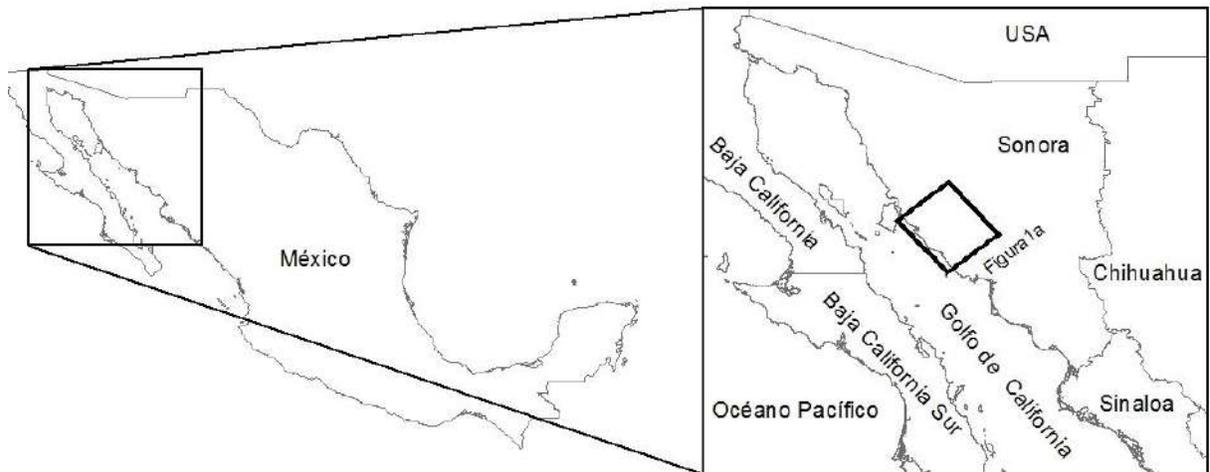
## **2. Área de estudio**

El Poblado Miguel Alemán se localiza a 40 km al oeste de la ciudad de Hermosillo, Sonora, en el noroeste de México, y forma parte del municipio de Hermosillo, el cual colinda con los municipios de Pitiquito al noroeste, Carbó y San Miguel de Horcasitas al noreste, con Ures y Mazatán al este, con La Colorada y Guaymas al sureste, y finalmente colinda con el Golfo de California por el lado oeste. El Poblado Miguel Alemán se encuentra ubicado entre las coordenadas 28°14'-28°57' Latitud Norte, y entre 111°15'-111°45' Longitud Oeste (Figura 2.1), a una altura de 60 metros sobre el nivel del mar, con una población de cerca de los 31,000 habitantes. Dicho poblado se encuentra rodeado de campos agrícolas de La Costa de Hermosillo la cual es una de las actividades económicas más importantes de la región (IMPLAN, 2015).

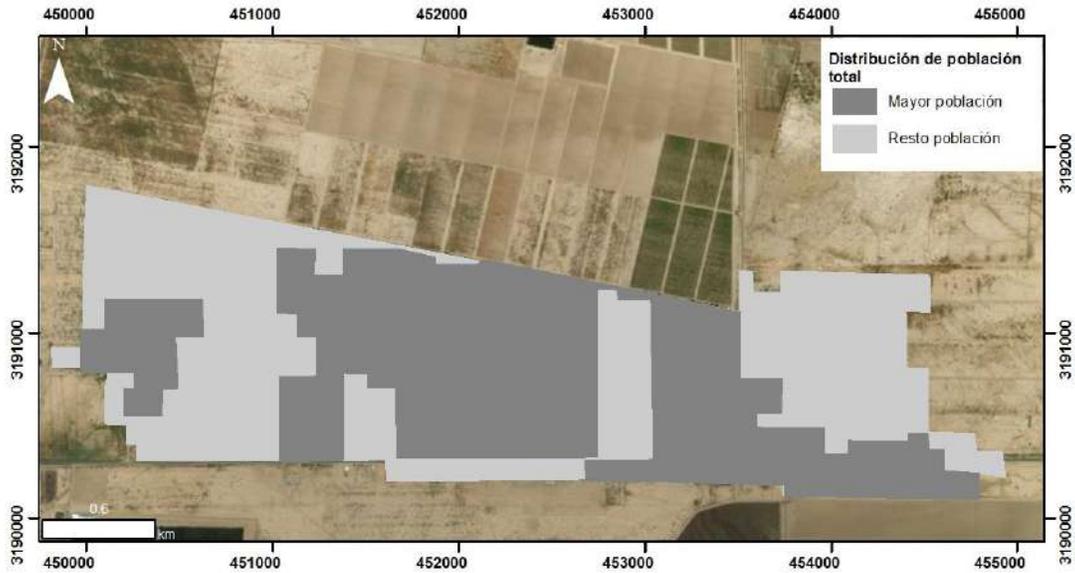
La región de La Costa de Hermosillo comenzó con una intensa actividad agrícola a partir de los años 20`s, lo cual ocasionó que la zona comenzara a poblarse. Veinte años más tarde se construyó la presa Abelardo L. Rodríguez en la región de Hermosillo, la cual por su ubicación geográfica, provocó una disminución en el caudal de agua que se utilizaba para regar las tierras agrícolas de La Costa de Hermosillo. Esto impulsó a los agrónomos a buscar alternativas para la obtención de agua, elaborando perforaciones de pozos, favoreciendo así a la diversificación de cultivos y a la agricultura extensiva.

A finales de los 60's, formalmente se crea una localidad a petición al Ayuntamiento para la construcción de una escuela; además durante ese periodo se puso en servicio la planta de la subestación de Comisión Federal de Electricidad, sin embargo, debido a lo anterior a mediados de los 70's se incrementa aceleradamente el área rural, careciendo de equipamiento urbano, vivienda y servicios públicos. Además, El Poblado Miguel Alemán tuvo un crecimiento de la población durante la década de 1970-1980 del 5.8%, no obstante, el mayor crecimiento poblacional fue en la década de 1980-1990 con un 15%, a causa de inmigrantes provenientes de otros estados de México. De acuerdo con (IMPLAN, 2015), actualmente se estima que la población total de El Poblado Miguel Alemán cuenta con aproximadamente 40,000 habitantes, de los cuales la mayor parte se encuentra ubicada en el centro de la localidad (Figura 2.2).

Los campos agrícolas de La Costa de Hermosillo han sido históricamente de los más productivos en el noroeste de México. A pesar de la contribución a la economía estatal, los campos agrícolas de La Costa han sido abandonados por décadas. La causa principal de dicho abandono está relacionado al fenómeno de intrusión salina asociada a sobreuso y abuso de agua subterránea del acuífero de La Costa (Szyrkiewicz et al., 2008).



**Figura 2. 1** Mapa de ubicación de El Poblado Miguel Alemán, Sonora, en el cual también se encuentran delimitados los campos agrícolas de La Costa de Hermosillo.



**Figura 2. 2** Mapa mostrando la distribución de la población total en la El Poblado Miguel Alemán en el año 2010 (modificado de IMPLAN, 2015).

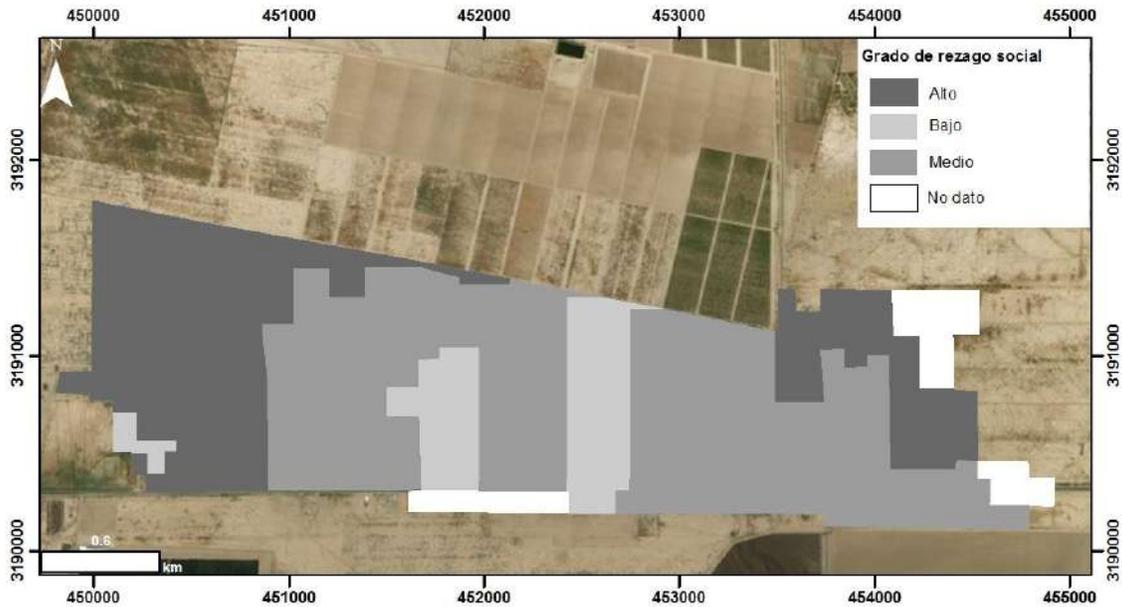
## 2.1. Clima

La región de La Costa de Hermosillo (LCH) se caracteriza por ser una árida, presentando un clima desértico con inviernos frescos. Según la clasificación de Köppen1936, el área de LCH se encuentra dividido en dos tipos de climas; para el centro de la población corresponde el clima de BW (h'), el cual es muy seco muy cálido con el subtipo climático muy seco semicálido hw (x'), mientras que para el noroeste presenta un clima BWH, que es muy seco semicálido. La temperatura promedio anual oscila entre 22 y 24 °C, y las temperaturas máximas y mínimas oscilan entre los 49 °C en verano y 0 °C en invierno (IMPLAN, 2015). El periodo de lluvias de la región costera se presenta en los meses de junio, julio, agosto y septiembre con una precipitación pluvial de 75 a 200 milímetros (IMPLAN, 2015).

## **2.2. Características socioeconómicas**

El Poblado Miguel Alemán presenta un rezago de pavimentación del 75%, el cual favorece al aumento de polvo en la zona y los encharcamientos de agua, además se tienen localizados dos asentamientos irregulares llamados invasión Arias y el Triunfito, las cuales no cuentan con alumbrado público, drenaje pluvial y electrificación regular en las viviendas. Del total de las viviendas particulares, el 86% se encuentran habitadas, el 8% se encuentra deshabitado y el 6% son de uso temporal, en donde se habitan durante periodos de cosechas. Solamente el 33% de los habitantes cuenta con automóvil propio, el 24% tiene teléfono fijo, el 66% cuenta con celular, 11% tienen computadora y el 6% servicio de internet (INEGI, 2010).

El rezago social según el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), es considerado como una población en situación de carencia por calidad y espacios de la vivienda. Son consideradas con algún grado de rezago social, aquellas personas que residan en viviendas que presenten al menos una de las siguientes características: el material de los pisos de la vivienda es de tierra; el material del techo de la vivienda es de lámina de cartón o desechos; el material de los muros de la vivienda es de embarro o bajareque; materiales de carrizo, bambú o palma; de lámina de cartón, metálica o asbesto; o material de desecho. Dicho grado dependerá de los factores mencionados anteriormente. El grado de rezago social más alto registrado en El Poblado Miguel Alemán, se presenta en los extremos este (Figura 2.3; IMPLAN, 2015).



**Figura 2.3** Distribución del grado de rezago social de El Poblado Miguel Alemán registrado para el año 2010 (modificado de IMPLAN 2015).

### 2.3. Geología

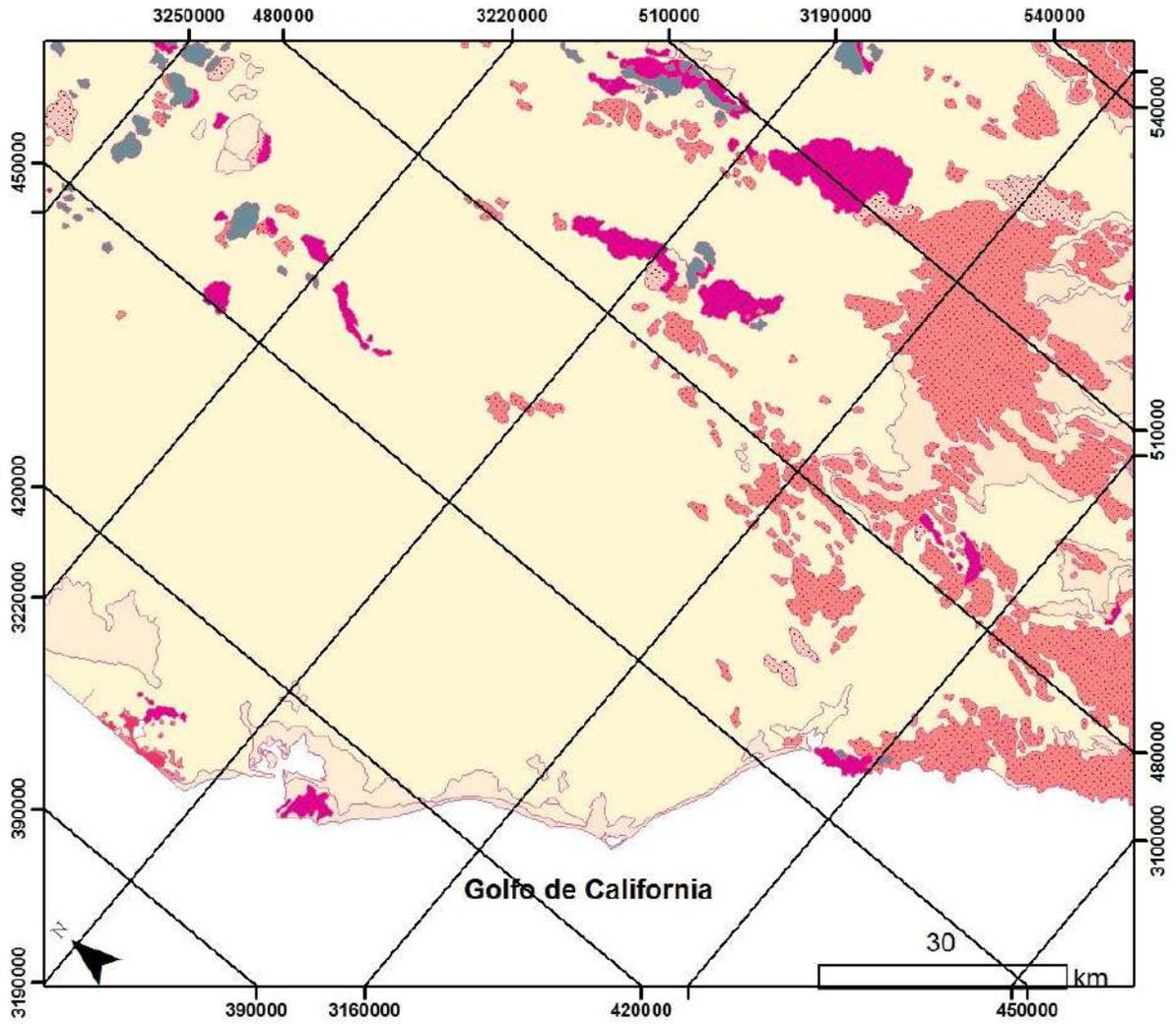
La zona de La Costa de Hermosillo se caracteriza por ser una gran llanura aluvial con fallas características de la tectónica del *Basin and Range* y de la apertura del Golfo de California (Figura 2.4). Las cuencas sedimentarias que se han desarrollado están limitadas por fallas orientadas NW-SE y NE-S (Cserna, 1989). Las rocas expuestas que se encuentran en la región de La costa de Hermosillo consisten desde el Paleozoico hasta el Cuaternario.

El Paleozoico está representado por lutitas con intercalaciones de calizas y areniscas con lentes de pedernal, la cual se presenta en dos facies: 1) una calcárea de plataforma, y 2) silico-clástica de cuenca (SGM, 2000). A finales del Cretácico Tardío se emplazaron cuerpos intrusivos de dimensiones batolíticas, afectando a rocas paleozoicas y mesozoicas, principalmente de composición granítica y granodiorítica, formando parte del batolito del

Laramide de Sonora. Existen pequeños afloramientos de rocas volcánicas del Cretácico Superior correlacionables con la Formación Tarahumara (SGM, 2000).

El Cenozoico está representado por rocas intrusivas, secuencias volcánicas y sedimentos clásticos continentales los cuales cubren grandes áreas. La presencia de pórfidos granodioríticos y graníticos afloran aisladamente (SGM, 2000), cortando las secuencias de mesozoicas. Rocas volcánicas como tobas riolíticas e ignimbritas representan el Oligoceno, aflorando como resultado de erosión en la porción sur-sureste del área de estudio (Figura 2.4), las cuales forman parte de las primeras estribaciones de la Sierra Madre Occidental. Durante el evento distensivo del Mioceno, trayendo como consecuencia el origen de grandes cuencas y boques, que al fracturarse y erosionarse, depositan sus sedimentos clásticos rellenando estas grandes estructuras, formando los sedimentos de la Formación Báucarit, la cual está constituida por conglomerados polimícticos, areniscas y ocasionalmente lentes de basaltos (SGM, 2000).

Finalmente, los depósitos que corresponden al Cuaternario (Figura 2.4), se caracterizan por la presencia de conglomerados polimícticos, abanicos aluviales, depósitos lacustres y eólicos, los cuales rellenan los grandes valles intermontanos de La Costa de Hermosillo (SGM, 2000).



**LITOLOGÍA**

*Cuaternario*

- Limó-arena
- Conglomerado - Polimíctico
- Aluvión

*Neógeno*

- Conglomerado polimíctico - arenisca
- Toba riolítica- riolita

*Paleógeno*

- Toba riolítica- riolita
- Pórfido granítico
- Granito - granodiorita

*Cretácico Superior*

- Andesita - toba andesítica

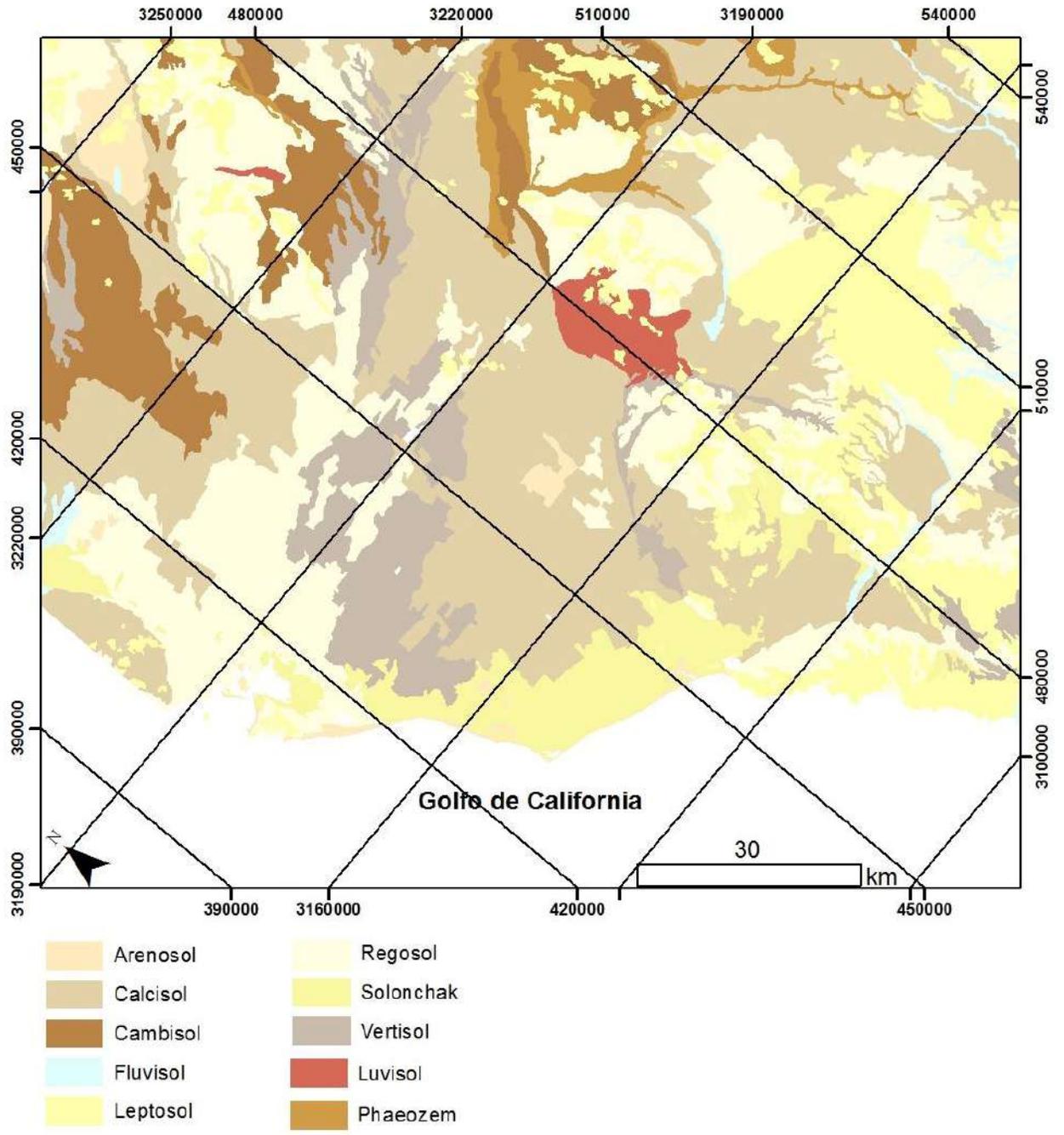
*Ordovícico- Pérmico*

- Caliza- arenisca

**Figura 2. 4** Mapa geológico del área de estudio, a partir de datos vectoriales litológicos de las Cartas del Servicio Geológico Mexicano H12-8 y H12-11.

## **2.4. Suelos**

El tipo de suelo predominante en la parte central de los campos de La Costa de Hermosillo consiste de Calcisol principalmente, seguido por Vertisol. Los campos localizados al norte consisten principalmente de suelos del tipo Cambisol, Calcisol y Regosol. Tanto los suelos donde se encuentra ubicado El Poblado Miguel Alemán están conformados por suelos de tipo regosol al norte, y vertisol al sur, predominando el Calcisol. En la porción noroeste se caracteriza por tener un suelo del tipo Regosol calcáreo con fase salina (4 a 16 mmhos/cm a 25 °C), al suroeste del centro de la población es un suelo del tipo regosol calcáreo con fase sódica (15 a 40% saturación de sodio intercambiable) (INEGI 2007). El tipo de suelo predominante en el pequeño núcleo poblacional Mineros de Pilares es Vertisol.



**Figura 2. 5** Mapa edafológico de La Costa de Hermosillo y zonas circundantes (modificado de INEGI, 2007).

## **2.5. Hidrogeología**

La región hidrológica que corresponde a la región de La Costa de Hermosillo forma parte de la zona No. 9, Sonora Sur, en la cual el escurrimiento superficial más importante es por parte del río Sonora, y en menor importancia del río Bacoachi. En esta zona se localiza el Distrito de Riego 051, también conocido como La Costa de Hermosillo. La cuenca del río Bacoachi es la más pequeña de la región, ya que ocupa el 6.82% de la superficie estatal, en la cual se localizan las dos terceras partes del distrito de riego de La Costa de Hermosillo, donde se ubica el centro de población (IMPLAN, 2015).

### **3. Marco teórico**

#### **3.1. Generalidades del arsénico**

El arsénico (As) es un metaloide natural incluido en el Grupo Va de la Tabla Periódica de los elementos, y se encuentra ampliamente distribuido en el medio ambiente y que puede representar un riesgo para la salud humana (ATDRS, 2007). Los estados de oxidación que presenta en la naturaleza son +V (arseniato), +III (arsenito), 0 (arsénico) y -II (arsina). La cantidad total de arsénico en la corteza terrestre superior se estima en  $4.01 \times 10^{16}$  kg con un promedio de 6 mg/kg, del cual la distribución en el ciclo global de arsénico se concentra mayormente en sedimentos ( $25 \times 10^9$  kt), seguido de océanos ( $3.7 \times 10^6$  kt) y atmósfera (8.12 kt) (Bissen y Frimel, 2003). El arsénico es el principal constituyente de más de 200 minerales, de los cuales podemos destacar minerales de los grupos de arseniuros, arsénico nativo, sulfuros, óxidos, arseniatos y arsenitos (Litter et al., 2009).

Generalmente se puede encontrar al arsénico combinado con cloro, oxígeno y azufre, al cual se le denomina como arsénico inorgánico; sin embargo, cuando se encuentra combinado con otros elementos como carbono e hidrógeno se le denomina orgánico (ATDRS, 2007). Los estados de oxidación +V y +III se dan en ambiente acuoso, apareciendo comúnmente en como ácido arsenioso (As III), ácido arsénico (As V) y sus sales. Los compuestos de arsénico inorgánico pueden ser metilados por bacterias, hongos y levaduras a compuestos orgánicos tales como el ácido monometilarsónico (MMA), el ácido dimetilarsínico (DMA) y los derivados gaseosos de la arsina.

La movilidad de los compuestos de arsénico en los suelos depende del tipo y la cantidad de los componentes del suelo adsorbente, el valor del pH y el potencial redox. (Litter et al., 2009) La movilidad está influenciada por compuestos de Fe, Mn, Al, Ca y Mg, materia orgánica natural y minerales de arcilla. Otros aniones compiten con los aniones de arsénico por los sitios de adsorción en los constituyentes del suelo e influyen en la movilidad de los compuestos de arsénico.

Una gran cantidad de arsénico proviene de fuentes naturales como las emisiones volcánicas, procesos de meteorización, actividad biológica, etc. (Litter et al., 2009); por lo tanto, mucho antes de que las actividades del hombre tuviesen efectos sobre el balance o concentraciones de arsénico en el medio ambiente, éste ya se encontraba distribuido en la corteza, suelo, sedimento, agua, aire y seres vivos (Kumaresan y Riyazuddin, 2001).

Si bien el arsénico es dañino para la salud, principalmente por su alto grado de toxicidad, ésta depende de diversos factores como su especie, estructura y solubilidad. Se puede tener efectos negativos para la salud debido a que el arsénico puede estar presente en diversos medios (polvo, agua, comida, suelo, etc.), a los cuales nos encontramos regularmente expuestos a por diferentes rutas de exposición la oral, la inhalación, y la dérmica. Tales efectos pueden ser sencillos desde náuseas, efectos negativos en la piel, hasta consecuencias de mayor gravedad como problemas respiratorios, neurológicos, incremento al riesgo de cáncer (ATDRS, 2005), o incluso cuando la exposición es prolongada, puede provocar cáncer de piel, vejiga, pulmón, etc. (OMS, 2016).

El arsénico y el antimonio tienen configuraciones electrónicas de capa externa idénticas, con estados de oxidación III y V, siendo esta última la forma predominante de ambos elementos en la mayoría de los suelos.

El arsénico puede formar ciertas especies que son altamente tóxicas y se reconoce como carcinógeno responsable de enfermedades gastrointestinales, cardiovasculares y reproductivas (ATSDR, 2007) éste representa un riesgo para la salud pública, ya sea directamente a través de los suelos incidentales y la ingestión de polvo o indirectamente a través de la translocación al agua subterránea utilizada para beber (EPA, 2017).

La agricultura es un componente dominante para la economía mundial, que este surge a partir de la necesidad del abastecimiento de alimentos para la población a nivel mundial; debido a la creciente necesidad se ha incrementado el uso de fertilizantes y plaguicidas en las áreas de cultivos. Como se comentó anteriormente, la agricultura es fundamental para el desarrollo de la humanidad, la cual puede tener efectos negativos en el medio ambiente, la cual tuvo un mayor impacto durante la aparición de pesticidas de síntesis orgánica a partir de los años 60, el cual por su elevado rendimiento y fácil modo de aplicación, llevó a un aumento de dosis empleadas en los cultivos lo cual tuvo como consecuencia el deterioro ambiental, salud de consumidores y trabajadores (Peres et al., 2007).

La agricultura es uno de los principales usuarios de agua dulce, la cual también es uno de los principales contribuyentes en la degradación en la calidad de aguas subterráneas y superficiales debido a la esorrentía química, a la cual se asocia la presencia de arsénico inorgánico en pesticidas y herbicidas, especialmente utilizados durante el siglo XX (Litter

et al., 2009). Es por ello que los contaminantes no solo pueden estar en disolución en el agua, sino también los podemos encontrar en sedimentos, que regularmente absorben especialmente fosforo, plaguicidas clorados, y una gran parte de metales, dicho fenómeno ocurre generalmente en limos y arcillas (<65µm) ( Litter et al., 2009).

El uso de pesticidas es muy común y el riesgo dependerá del grado de toxicidad y niveles de exposición a la que se encuentren los seres humanos (Peres, et al 2007), lo cual se puede decir que la población en general se encuentra sometida a una variedad de riesgos para la salud, resaltando un problema alarmante dado que se sospecha que los pesticidas presentan una actividad carcinogénica y hormonal (Moreira et al., 2002).

### **3.2. Evaluación de riesgo a la salud humana**

La evaluación de riesgo es un método científico que estima y/o cuantifica la posibilidad de sufrir una respuesta adversa a la salud al ser expuesto a alguna sustancia química, física o biológica (EPA, 2017). Según la EPA, la evaluación de riesgo depende de tres factores principales, estos son: 1) concentración de sustancia en el medio ambiental (suelo, agua, aire, etc.), 2) la frecuencia, duración y ruta por el que se entra en contacto con el medio contaminado como medida de la exposición y, 3) la toxicidad inherente del contaminante. El método establece la necesidad de una etapa previa de planificación a al proceso de evaluación de riesgo en sí, con el fin de generar un enfoque certero en el estudio. Es decir, una etapa bibliográfica y de evaluación de campo del área de interés, en el que se planteen preguntas fundamentales como: “¿Quién está potencialmente en riesgo?, ¿Cuál es contaminante de mayor preocupación?, ¿Cuál es la fuente?, ¿Cómo se transporta y accede a las personas, es decir ocurre la exposición al contaminante?, ¿Cuánto tiempo tarda

un peligro ambiental en causar un efecto tóxico?, ¿Cuáles son los efectos sobre la salud?, ¿Afecta a toda la población por igual?”. Después de la etapa de planificación y una vez determinado el propósito y el alcance de una evaluación de riesgos, la evaluación se plantea como un proceso en cuatro pasos, estos son: 1) identificación de riesgos, 2) evaluación de dosis-respuesta, 3) evaluación de la exposición, y 4) caracterización riesgos (ver Fig. 3.1).

### PROCESO DE EVALUACIÓN DEL RIESGO PARA LA SALUD HUMANA

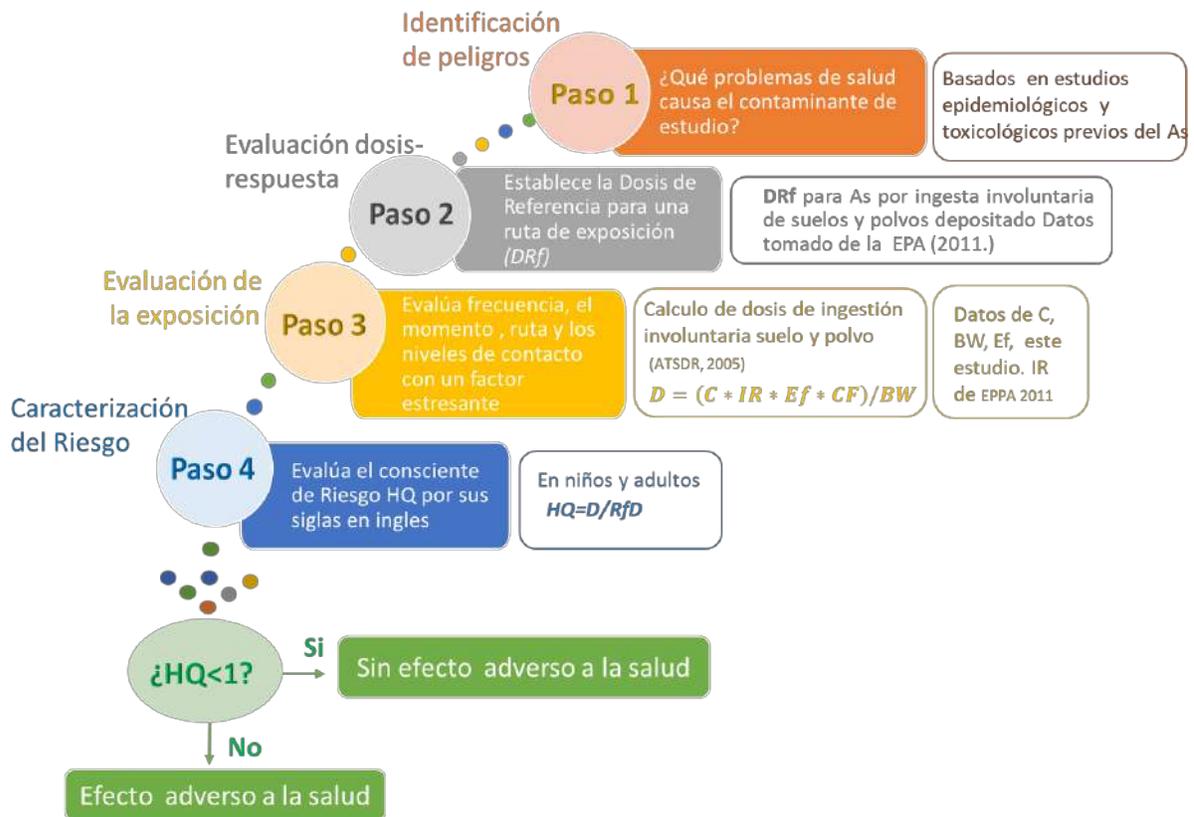


Figura 3. 1 Proceso de evaluación del riesgo para la salud humana modificado de Zhai et al. (2017).

El objetivo del Paso 1, denominado como “Identificación de peligros”, es examinar los daños que causan en los seres humanos el contaminante de estudio, así como la

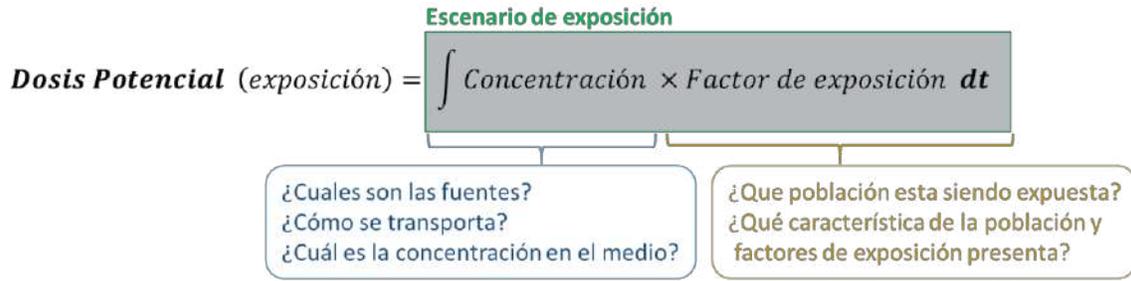
constatación de la calidad y el peso de la evidencia de los estudios que respalda dicha identificación de daños (EPA, 2017). En términos generales, la fuente de los datos de esta etapa es bibliográfica, y se basa en datos de estudios clínicos en humanos y epidemiológicos previos. Para el caso en el que los datos de estudios en humanos no están disponibles, la identificación del peligro se basa en estudios en animales, asumiendo la incertidumbre que implica la extrapolación de los efectos adversos a los seres humanos.

El Paso 2, “Evaluación dosis-respuesta”, examina la relación numérica entre la exposición (la cantidad o dosis proporcionada) y los efectos negativos a la salud (la respuesta). Normalmente, a partir de datos bibliográficos de todos los estudios disponibles, se establece el nivel de la dosis mínima crítica a partir de la cual comienza a ocurrir una respuesta adversa en una fracción de la población mínima, donde la velocidad de respuesta varía con el contaminante, el individuo, la ruta de exposición. Esta dosis mínima a partir de la cual se comienza a observar un mínimo efecto, se denomina dosis de referencia (DRf), y es un valor crítico en la evaluación de riesgo, ya que se parte de la suposición de si se evita llegar a esta dosis, no se producirán los efectos adversos (EPA, 2017).

El Paso 3, “Evaluación de la exposición” es un paso crucial en el proceso de evaluación de riesgo a la salud humana, ya que identifica la existencia de un contaminante potencialmente tóxico en el medio ambiente y describe los receptores potenciales que serían expuesto a este (Zhai et al., 2017). En otras palabras, por un lado, en la evaluación de la exposición se mide la magnitud, la frecuencia y la duración de la exposición a un contaminante, y por otro lado, las características de la población expuesta. Esto implica, la descripción de las fuentes y medios de transporte, pero sobretodo rutas de exposición. Idealmente también plantea cierta discusión de la incertidumbre de la misma evaluación

(WHO, 2004). La medición de la exposición puede hacer desde tres enfoques principales: medidas directas, estimación indirecta y reconstrucción de exposición. El método directo mide concentración de contaminante en tiempo real en los puntos o aberturas de contacto del individuo (inhalación, ingestión, dérmico) mediante monitoreo personales, mientras en el enfoque de reconstrucciones de exposición, se mide los niveles reales internas del cuerpo mediante biomonitoreo y biomarcadores, y se estima la dosis a la que ha sido expuesto. Sin embargo, comúnmente la exposición se estima de manera indirecta, o lo que también se conoce como evaluación de escenarios, esto es, un método que plantea un escenario con el objetivo de estimar o calcular la exposición o dosis (EPA, 2017).

Un escenario de exposición es un conjunto de hechos, suposiciones e inferencias de cómo se produce la exposición (Fig. 3.2). En una evaluación de exposición indirecta se parte de las concentraciones medidas en el ambiente, además se consideran modelos de transporte químico del contaminante y el destino, así como las rutas de exposición, para finalmente realizar estimaciones de la ingesta humana a lo largo del tiempo. Para estimar la ingesta humana y los factores de exposición, se requiere información sobre la población receptora (ej. actividades, horas de trabajo, edad, etc.). La ecuación general que cuantifica la estimación indirecta de una dosis potencial para poblaciones de estudio mostrada en la Fig. 3.2, esta dosis potencial de exposición no considera los procesos fisiológicos y químicos relativamente complejos que ocurren una vez que una sustancia ingresa al cuerpo (ATSDR, 2005). Cuando se tiene en cuenta la cantidad de contaminante que está disponible para la absorción, una vez entra por las diferentes vías (inhalación, ingestión y dérmico), se habla de dosis aplicada. La dosis aplicada puede ser menor que la potencial, y requiere de datos de biodisponibilidad del contaminante en la ruta de exposición.



**Figura 3. 2** Ecuación general de estimación indirecta de la exposición modificada de la EPA (2017).

Una vez realizada la evaluación de la exposición, y calculadas la dosis de exposición, se procede con el Paso 4 y finalmente se evalúa el riesgo, denominada “Caracterización del riesgo”. En esta etapa la información generada en la evaluación de exposición se combina con la información de la toxicidad inherente del contaminante de estudio (información sobre la respuesta esperada a un nivel de exposición dado), para así predecir la probabilidad de efectos adversos para la salud. Por lo tanto, en esta etapa se evalúan las dos alternativas que se tienen cuantificado el riesgo para el contaminante evaluado, ruta de exposición para la población de estudio (EPA, 2017). El riesgo se mide cuantitativamente desde dos enfoques, uno es el denominado “cociente de peligro” (HQ por sus siglas en inglés), que estima la probabilidad de una reacción adversa a la salud (no cancerígena), y el otro es el riesgo de cáncer (RC), para estimar un riesgo de cáncer teórico, que estima la proporción de una población que puede verse afectada por un carcinógeno durante una vida de exposición (Zhai et al., 2017).

En conclusión, el desarrollo de un modelo de evaluación de riesgo es un proceso que vincula vías de exposición, toxicidad y dosis de respuesta la población receptora, con el fin de identificar focos potenciales de contaminación y afección a la salud, y determinar el mejor plan de protección al ser humano (Zhai et al., 2017).

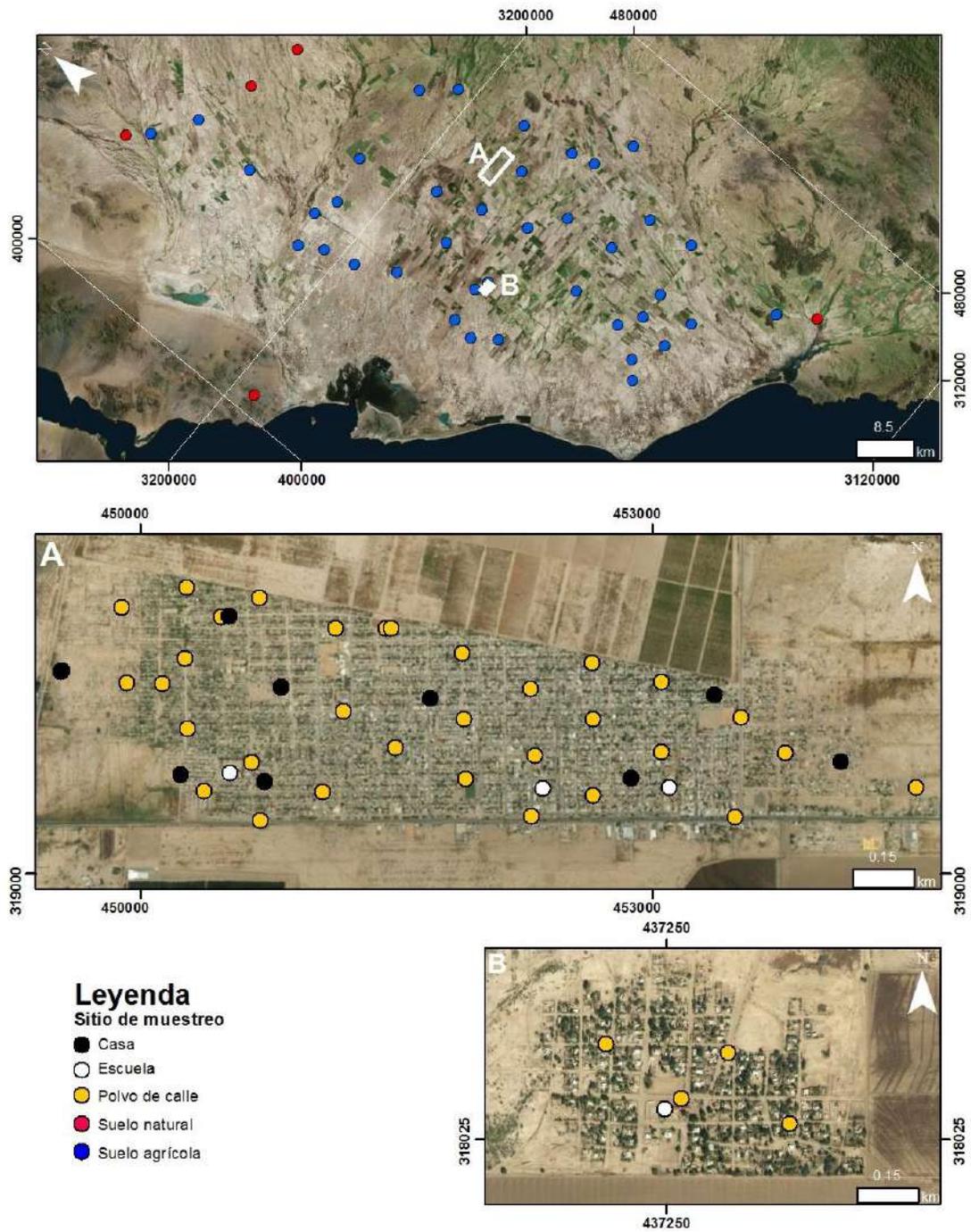
## **4. Metodología**

### **4.1. Sistema de Información Geográfico**

Se utilizó un sistema de información geográfico (SIG) ArcMap, en el cual se elaboró un plan de recolección de muestras en el Poblado Miguel Alemán, con la finalidad de que la distribución de las muestras sea geográficamente representativa. De igual manera, con ArcMap se planeó la recolección de muestras de suelos agrícolas en los campos abandonados localizados alrededor del Poblado Miguel Alemán. Además, se utilizó el mismo SIG para la elaboración de mapas donde se muestra las concentraciones de arsénico en los diferentes tipos de muestras estudiadas.

### **4.2. Recolección de muestras y preparación**

Una vez establecidos los puntos de recolección de muestras en el SIG, se recolectaron un total de 105 muestras, de las cuales, 38 de polvo de calles no pavimentadas, ocho corresponden a muestras de suelo de patios de casas cuatro de patio de escuelas, 46 de suelos agrícolas y cinco de suelos aparentemente no impactados, y finalmente cuatro muestras de polvo depositado en techos de escuelas primarias (Figura 4.1).



**Figura 4. 1** Localización de muestras de suelo superficial de casas, escuelas, polvo de calle, polvo depositado en techos de escuelas, suelo natural y suelo agrícola.

Se tomaron muestras de polvo de calle del Poblado Miguel Alemán, de las cuales, la mayoría pertenecen a calles no pavimentadas. Se tomó alrededor de un kilogramo de muestra y se colocaron en bolsas de cierre hermético de alta densidad (Figura 4.2a) También se colectó alrededor de un kilo de muestra de suelo superficial (0-5 cm) de patios de casa habitación y patios escuelas (Figura 4.2b y c), haciendo uso de muestreo tres bolillo; se utilizó una pala de acero inoxidable, y se almacenaron en bolsas de polietileno con cierre hermético. De igual manera, se recolectaron muestras de suelo superficial de suelos agrícolas abandonados en campos de La Costa de Hermosillo (Figura 4.2d), y muestras de suelo natural aparentemente no impactado, fuera de alcance de cualquier actividad antropogénica, con el propósito de considerarlas como muestras de referencia (Figura 4.2e).

En el asentamiento rural se colectaron un total de 4 muestras de polvo depositado en los techos de escuelas primarias (Figura 4.2f), de las cuales consisten de aproximadamente 500 g de polvo; dichas muestras fueron tomadas con ayuda de una escobetilla y un recogedor de polietileno para ser depositadas en bolsas de alta densidad y de cierre hermético.

Las muestras fueron almacenadas y etiquetadas individualmente a temperatura ambiente en laboratorio. Para todas las muestras, no hubo necesidad de secado debido a que no presentaban evidencia de humedad. En laboratorio, las muestras primeramente fueron disgregadas con una pica de acero inoxidable. Posteriormente se fueron cuarteadas con un cuarteador de acero inoxidable (Figura 4.2g), con el propósito de obtener una fracción más pequeña. Dichas fracciones fueron pesadas y tamizadas.

Los tamices de acero inoxidable utilizados correspondientes a los tamaños de mallas: 35, 60, 120, 230, 325, y 635 (Tabla 4.1); la columna de tamices fue colocada en un tamizador electromagnético CISA BA200N (Figura 4.2h) Posteriormente, las fracciones obtenidas de cada tamiz fueron pesadas, etiquetadas y almacenadas en bolsas de polietileno para futuros análisis. Después de cada muestra tamizada, los tamices fueron lavados en un baño ultrasónico, y secados con alcohol y aire comprimido.

**Tabla 4. 1** Tamices utilizados en el proceso de separación granulométrica con correspondiente tamaño de partícula.

<b>Tamiz N°</b>	<b>Tamaño de apertura de malla</b>
35	500 $\mu\text{m}$
60	250 $\mu\text{m}$
120	125 $\mu\text{m}$
230	65 $\mu\text{m}$
325	45 $\mu\text{m}$
635	20 $\mu\text{m}$



**Figura 4. 2** Fotografías mostrando a) sitio de muestreo de calles no pavimentadas b) recolección de muestra con pala de acero inoxidable en patio de casa, c) patios de escuela d) suelo de campo agrícola f) sitio de muestreo de polvo depositado en techo de escuela e) toma de muestra de suelo no impactado g) proceso de cuarteado de muestra total h) columna de tamices.

### 4.3. Fluorescencia de Rayos X

Las concentraciones elementales de As en las muestras preparadas se determinaron haciendo uso de un equipo portátil de Fluorescencia de rayos X, (NITTON XLt3) de Thermo Scientific, la cual es una técnica no destructiva y rápida. En el presente estudio se determinaron las concentraciones de arsénico en las fracciones de la malla 635 (menores a 20 micras). Las corridas se realizaron en modo suelo con una duración de 90 segundos, y se median por triplicado para realizarle análisis estadísticos. Con el propósito de asegurar la precisión y exactitud, se utilizaron los materiales de referencia TILL4, MONATANA2710a y MONTANA2711a. Los materiales de referencia se leían cada 10 muestras desconocidas, con el propósito de asegurar la reproducibilidad y calidad de los datos. También se utilizó material de referencia ( $\text{SiO}_2$ ) como blanco entre los estándares.

### 4.4. Índices ambientales

Se utilizaron diferentes índices ambientales con el propósito de clasificar el grado de contaminación por arsénico en los diferentes tipos de muestras recolectadas. Los niveles de contaminación se calcularon haciendo uso del índice de geoacumulación ( $I_{geo}$ ), originalmente definido por (Müller 1979) como:

$$I_{geo} = \log_2 (C/1.5B)$$

donde “C” es la concentración del arsénico en la muestra estudiada, mientras que “B” es la concentración de As en fondo geoquímico. La concentración del fondo geoquímico se multiplica por el coeficiente fijo (1.5) con el propósito de considerar las fluctuaciones naturales de los elementos en el ambiente, así como para identificar influencias de actividad

antropogénica (Wei y Yang, 2010). El  $I_{geo}$  se clasifica en las siguientes categorías (Müller, 1979):

no contaminado ( $I_{geo} \leq 0$ ); sin contaminar a moderadamente contaminado ( $0 < I_{geo} \leq 1$ ); moderadamente contaminado ( $1 < I_{geo} \leq 2$ ); moderado a altamente contaminado ( $2 < I_{geo} \leq 3$ ); altamente contaminado ( $3 < I_{geo} \leq 4$ ); alto a extremadamente contaminado ( $4 < I_{geo} \leq 5$ ); extremadamente contaminado ( $5 < I_{geo}$ ).

El Factor de Enriquecimiento (EF, por sus siglas en inglés) ha sido ampliamente utilizado para distinguir el grado de contribución antropogénica y el enriquecimiento, comparando las concentraciones medidas en la muestra de interés y la de fondo geoquímico (Zhang y Shan, 2008; Çevik et al., 2009). La expresión matemática para calcular el EF se define como (Chester y Stoner, 1973; Zoller et al., 1974):

$$EF = (El. muestra / X muestra) / (El corteza / X corteza)$$

donde, “ $El$ ” es la concentración del elemento en cuestión en la muestra (e.g. suelo, sedimento, polvo), en este caso del arsénico, mientras que “ $X$ ” es la concentración del elemento de referencia. “Corteza” se refiere al material de referencia (e.g. Taylor y McLennan, 1995; Rudnick y Gao, 2003). Sin embargo, se utilizó los valores de fondo geoquímico del área de estudio como material de referencia para que los valores calculados de EF se encuentren acorde al entorno natural del área (e.g., Wu et al., 2014; Zhang et al., 2014). Las categorías de EF son (Birth, 2003): menor enriquecimiento ( $1.5 < EF < 3$ ); moderado enriquecimiento ( $3 \leq EF < 5$ ); moderadamente severo enriquecimiento ( $5 \leq EF < 10$ ); severo enriquecimiento ( $10 \leq EF < 25$ ); muy severo enriquecimiento ( $25 \leq EF < 50$ ), y extremadamente severo enriquecimiento ( $50 < EF$ ).

#### 4.1. Evaluación de la exposición

La exposición se define como el contacto de un organismo con una sustancia toxica, y para realizar la evaluación se debe de considerar la intensidad, frecuencia y duración de exposición al agente productor de alteración al que los humanos se encuentran expuestos (Tabla 4.2). Para realizar una exposición correcta, se deben de tomar en consideración la ruta y vías de exposición. La ruta de exposición se refiere a la trayectoria que sigue la sustancia desde la fuente emisora hasta el contacto con la población, y las vías de exposición hacen referencia a la forma en la cual las sustancias tóxicas entran en contacto con el organismo. La fórmula que se utilizó considera la dosis de exposición por ingestión de suelo, como se expresa a continuación (EPA 1989):

$$ADD = \frac{(C * IR * Ef * ED)}{BW * AT} * Cf$$

En donde, *ADD* es la dosis diaria de exposición (mg/kg/día), *C* es la concentración del contaminante (mg/kg), *IR* ingesta de suelo contaminado (mg/día), *ED* duración de la exposición (años), *Ef* factor de exposición (días/año), *CF* factor de conversión (10<sup>6</sup>kg/mg/día), *BW* es peso corporal (kg) *AR* representa el tiempo promedio (días), que para no-cancerígenos  $AT = ED * 365$  días.

Para la obtención del cociente de peligro (*HQ*, por sus siglas en ingles) el cual indica un posible riesgo a la salud no cancerígeno, se utilizó la siguiente formula:

$$HQ = ADD/RfD$$

En donde, *RfD* es la dosis máxima permisible estimada de As para humanos a través de exposición oral, el cual su valor es de 3.0 E-04 mg/kg/día. Si  $HQ \leq 1$  es poco probable que

se experimente efectos adversos a la salud, mientras que  $HQ > 1$  existe un mayor riesgo de presentar efectos no cancerígeno para la salud (EPA, 2001).

**Tabla 4. 2** Valores utilizados para la obtención de ADD y HQ, en la cual el valor de EF para el caso de las escuelas es de 200 día/año, mientras que para casas y calles tiene un valor de 365 día/año.

Edad (años)	IR (mg/día)	EF (días/año)	EF (días/año)	ED (años)	AT (días)	RfD (mg/kg/día)
1	200	365		1	365	3.00E-04
2	200	365		2	730	3.00E-04
3	200	365		2	1095	3.00E-04
4	200	365	200	4	1460	3.00E-04
5-30	200	365	200	25	9125	3.00E-04

Respecto al peso corporal, se calculó el peso promedio de un total de 313 niños con edades oscilando entre uno a cinco años, los cuales estaban adscritos al Programa PROSPERA y Seguro Popular en El Poblado Miguel Alemán (Tabla 5.3).

## 5. Resultados y discusión

### 5.1. Concentraciones de arsénico y distribución espacial

Las concentraciones de arsénico en muestras de polvo de calles y polvo depositado en techos de escuelas primarias (<20  $\mu\text{m}$  de diámetro) de El Poblado Miguel Alemán (Figura 5.1), presentan un valor promedio de 17.7 y 16.7  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , respectivamente (Tabla 5.1). En el caso de las concentraciones promedio de arsénico determinadas en muestras de suelo superficial (<20  $\mu\text{m}$  de diámetro) recolectado en patios de casas y patios de escuelas de dicho poblado (Figura 5.1), son 18.5  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  y 18.2  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , respectivamente (ver Tabla 5.1), mientras que el valor promedio de As en muestras de suelo superficial agrícola (<20  $\mu\text{m}$  de diámetro) recolectados en campos abandonados de los alrededores del poblado, pertenecientes a los campos de La Costa de Hermosillo (Figura 5.1), es 16.1  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Sin embargo, el promedio se incrementa a 20.3  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  cuando no se consideran las concentraciones determinadas por debajo del límite de detección. Finalmente, la concentración de As en suelos naturales (<20  $\mu\text{m}$  de diámetro) recolectados circundantes a la zona de estudio y fuera de cualquier influencia antropogénica (Figura 5.1), es de 8.9  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , lo cual refleja la composición geoquímica natural, es decir, el componente geogénico.

El valor de fondo geoquímico natural determinado en el presente estudio es similar al reportado para muestras de sedimentos costeros colectados al sur de los campos agrícolas de La Costa de Hermosillo (Jara-Marini y García-Rico, 2006). De hecho, dicho trabajo se discute que posiblemente las concentraciones de arsénico reportadas en muestras de

sedimentos de zonas costeras de La Costa de Hermosillo ( $7.7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), Guaymas ( $9.0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), Puerto Peñasco ( $6.5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) y Caborca ( $5.7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), coinciden con concentraciones en sedimentos libre de contaminación reportados en otros trabajos. Por lo tanto, el valor determinado para suelos naturales en el presente estudio ( $8.9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), es razonable considerarlo como valor de fondo geoquímico natural del área de estudio.

La Figura 5.1 muestra las concentraciones de arsénico en polvo y suelo de las muestras estudiadas, donde se tiene como referencia la concentración del límite máxima permisible (LMP) para suelos agrícolas según la NOM-147, así como la concentración de suelos naturales determinada en este estudio. Del total de muestras estudiadas, alrededor del 11% de muestras de calle, 36% de muestras de suelo agrícola, y 6% de muestras de patio, sobrepasan el LMP. Por el contrario, de acuerdo con el valor de fondo natural geoquímico, todas las muestras estudiadas de los diferentes medios, sobrepasan notablemente dicho valor, lo que sugiere que, a pesar de que la mayoría de las muestras no excede el LMP según la NOM-147, se nota un enriquecimiento en arsénico, el cual se puede inferir que los medios estudiados han tenido cierta influencia por parte de actividades humanas, es decir, tienen un componente antropogénico.

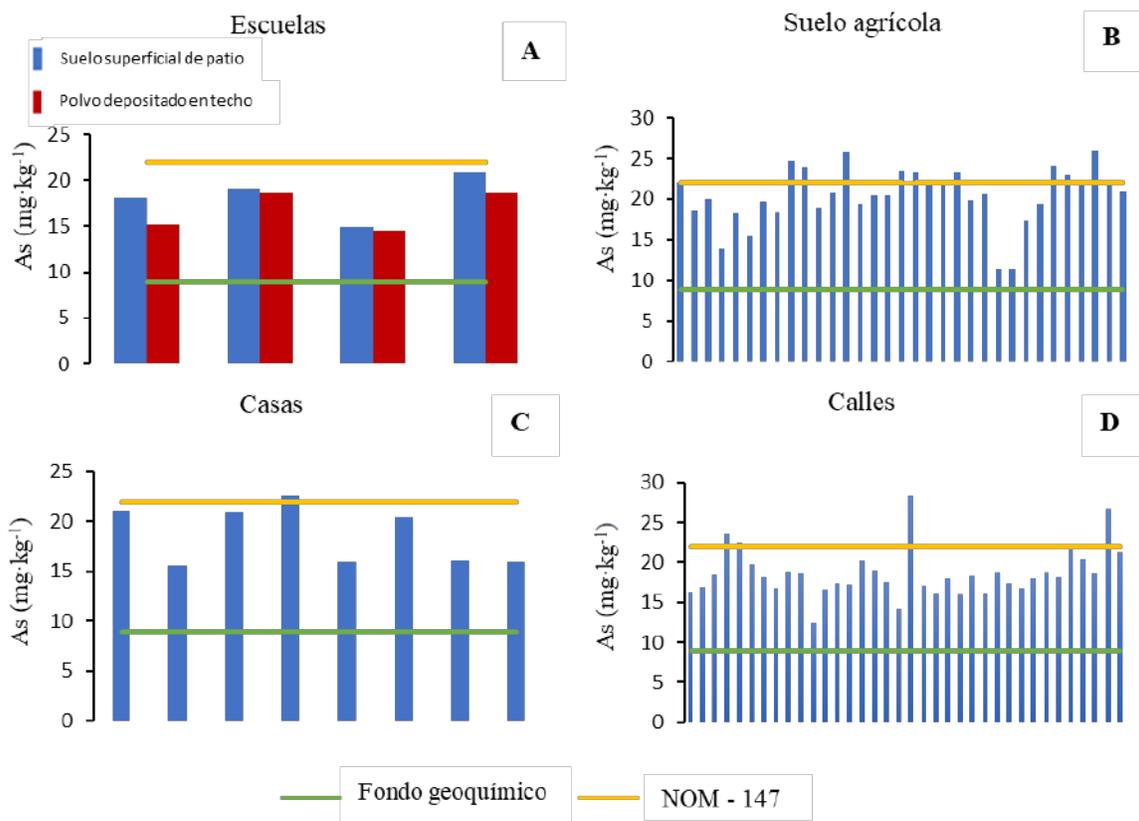
Los rangos similares en los valores de estadística descriptiva básica (concentraciones máximas, mínimas, promedio y desviación estándar) sugiere cierta tendencia en el enriquecimiento en arsénico, lo cual sugiere que dicho enriquecimiento se deba a procesos locales o semi-regionales (Tabla 5.1), sobre todo en los campos agrícolas de La Costa de Hermosillo (Fig. 2.1)

**Tabla 5. 1** Valores de concentraciones de arsénico en muestras de polvo, expresados en  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Max: máximo; Min: mínimo; PROM: promedio; DST: desviación estándar; n: número de muestras. El valor del límite de detección del analizador para el As es  $11 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Las muestras que presentaron valores por debajo del límite de detección (LD) se les asignó el valor límite de detección del analizador dividido entre dos.

	As ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )			
	Max	Min	PROM	DST
Polvo de calles n=38	28.3	5.5	17.9	4.1
Polvo depositado en techos de escuelas n=4	18.6	14.5	16.7	2.1
Suelo de patios de casas n=8	22.5	15.6	18.5	2.8
Suelo de patios de escuela n=4	20.8	14.9	18.2	2.4
Suelo agrícola n=33	25.8	5.5	16.2	7.3
Suelo natural n=5	15.6	5.5	8.9	4.8

A pesar de las similitudes en las concentraciones, se puede apreciar diferencias sutiles cuando son clasificadas y mostradas espacialmente (Figura 5.2). Es posible notar que las concentraciones mayores a  $16.8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , las cuales son altas, considerando el rango de concentraciones determinadas en el presente estudio. Sin embargo, las concentraciones de arsénico en muestras superficiales de suelo agrícola tienen un comportamiento muy distintivo entre las muestras recolectadas en la parte central y la parte norte de los campos de La Costa de Hermosillo. Esta diferencia se puede deber a que los campos agrícolas han sido activos desde la década de 1940, principalmente en la parte central, donde se encuentra el núcleo de campos agrícolas más antiguos, los cuales se caracterizan por tener concentraciones mayores de arsénico (Figura 5.2), a las cuales se pueden asociar a fertilizantes utilizados en la actividad agrícola intensiva. En contraste, los campos

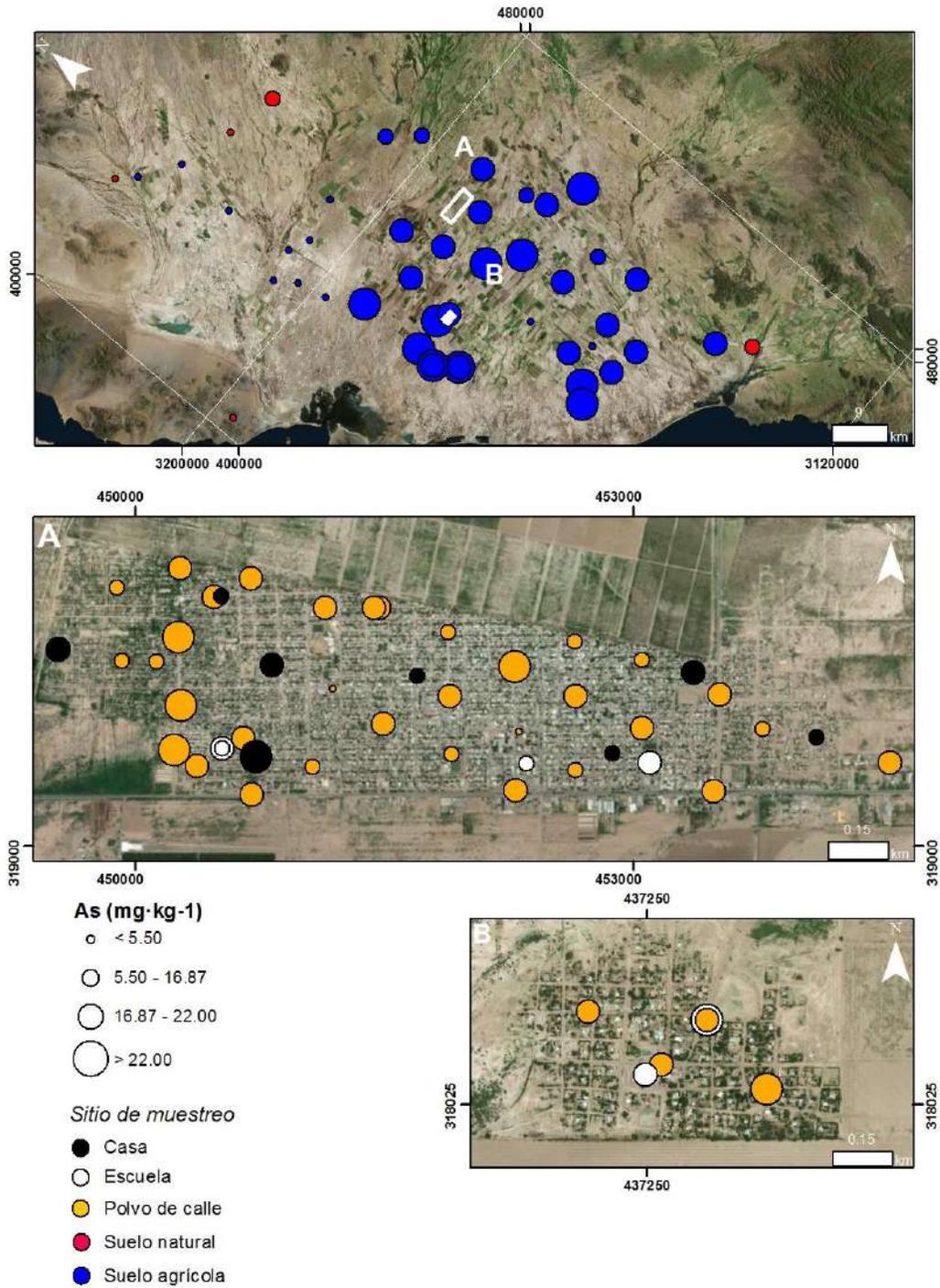
localizados al norte, representan menos área y no son tan antiguos como los del centro, lo cual sugiere que no han sido tan impactado por actividad agrícola.



**Figura 5. 1** Graficas mostrado concentraciones de arsénico en muestras de A) suelo de patio y polvo depositado en techos de escuelas primarias; B) suelos agrícolas abandonados de La Costa de Hermosillo; C) suelo de patios de casa de El Poblado Miguel Alemán; D) polvo de calle no pavimentada del poblado. Las líneas amarillas representan el Límite Máximo Permissible (LMP) definido en la NOM-147. Las líneas verdes representan el valor del fondo geoquímico natural determinado en suelos naturales libre de actividad antropogénica.

En cuanto a la disposición espacial de las concentraciones de arsénico en muestras de polvo de calle de El Poblado Miguel Alemán, se presentan variaciones a lo largo de las calles del pueblo, a pesar de que, la gran mayoría de las calles no están pavimentadas. Sin embargo, es posible notar que las concentraciones de arsénico incrementan hacia la parte oeste del poblado. De hecho, se presenta dicha tendencia en las muestras de suelo de patio de escuela y de casa, así como en polvo depositado en techos de escuelas. Finalmente, el mismo comportamiento se puede observar en las muestras recolectadas en el núcleo poblacional Mineros de Pilares, el cual se caracteriza por tener el 100% de sus calles sin pavimentar.

En general, considerando la concentración de arsénico determinada en muestras de suelos naturales, es decir, suelos que no han sido impactados por actividad humana, y haciendo una comparación con los datos de muestras de suelos agrícolas abandonados, se infiere cierta influencia por actividad agrícola, posiblemente asociado a la aplicación por décadas, de fertilizantes y plaguicidas, principalmente en la parte central de los campos de La Costa de Hermosillo. De la misma forma y considerando el valor de suelo natural de la región, se puede inferir que existe un enriquecimiento en arsénico en las muestras de suelo y polvo de El Poblado Miguel Alemán; en este caso, las concentraciones parecen estar asociada a los productos utilizados, o usos y costumbres en la actividad agrícola de la región (e.g., combustión de automáticos en época frías, acuíferos ricos en arsénico), pero también se podría considerar otras fuentes resultantes de actividades humanas dentro del poblado (e.g., desgaste vehicular?).



**Figura 5. 2** Distribución espacial de concentraciones graduadas de arsénico en muestras de suelo de campos agrícolas abandonados de La Costa de Hermosillo. A) Concentraciones de arsénico en muestras de suelo, polvo y calle de El Poblado Miguel Alemán, y B) del núcleo poblacional Mineros de Pilares, localizado a 17 kilómetros al suroeste de El Poblado Miguel Alemán.

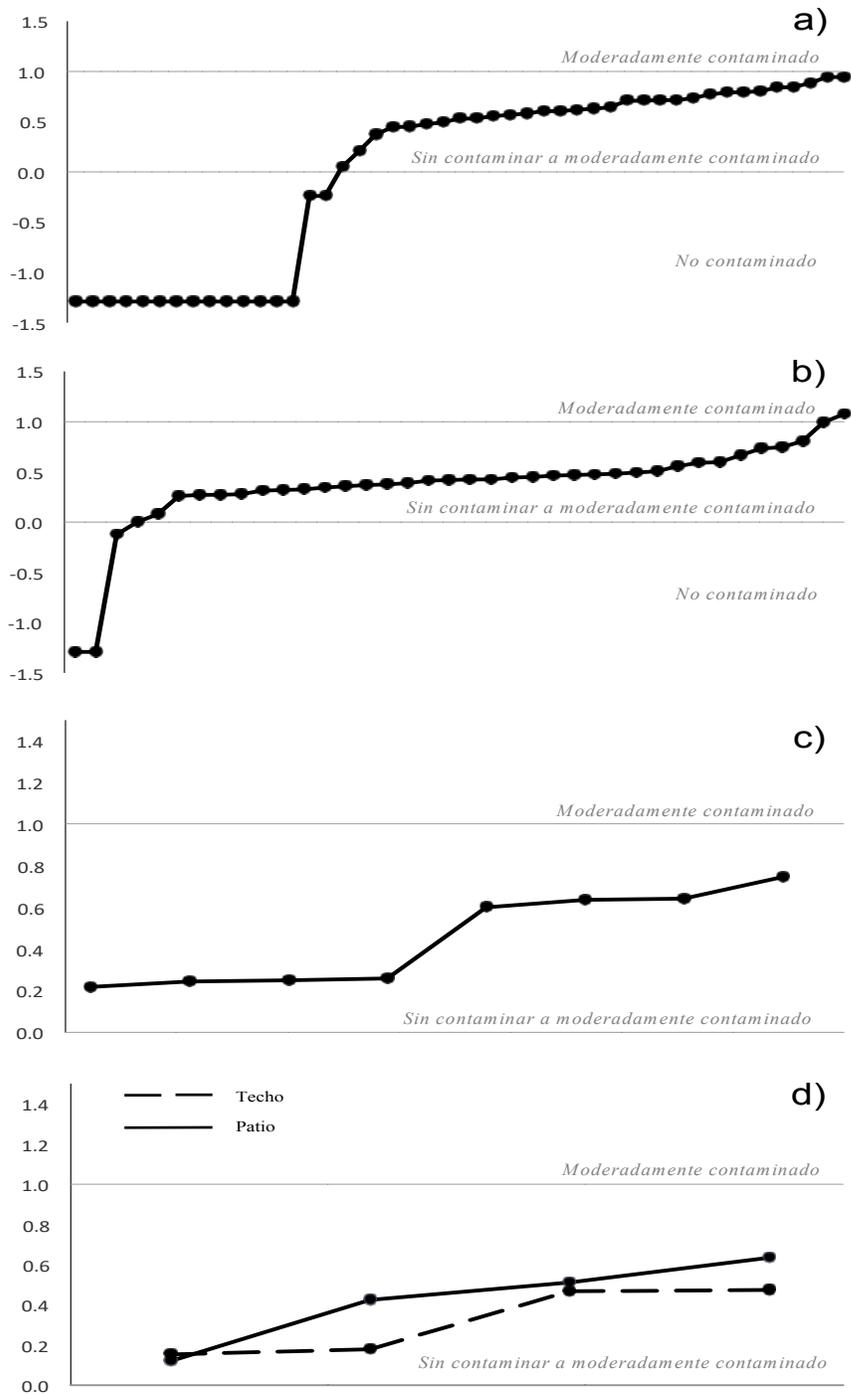
## 5.2. Índices ambientales

La Tabla 5.2 muestra los promedios de arsénico, índice de geoacumulación (Igeo) y factor de enriquecimiento (FE). Los valores promedio de los índices ambientales que se muestran son los determinados a partir de las lecturas de concentración de arsénico, es decir, no se consideraron las concentraciones de las muestras que salieron por debajo del límite de detección.

**Tabla 5. 2** Promedio de concentraciones de arsénico, índice de geoacumulación (Igeo) y factor de enriquecimiento (FE) determinados en los diferentes tipos de muestras estudiadas de los campos abandonados de La Costa de Hermosillo y muestras de El Poblado Miguel Alemán.

<b>Tipo de muestra</b>	<b>As (ppm)</b>	<b>Igeo</b>	<b>FE</b>
Suelo agrícola	20.39	0.58	6.86
Polvo de calle	18.56	0.45	3.17
Suelo de escuela	18.16	0.42	4.15
Polvo de techo depositado	16.84	0.32	4.77
Patio de casa	18.53	0.45	3.25

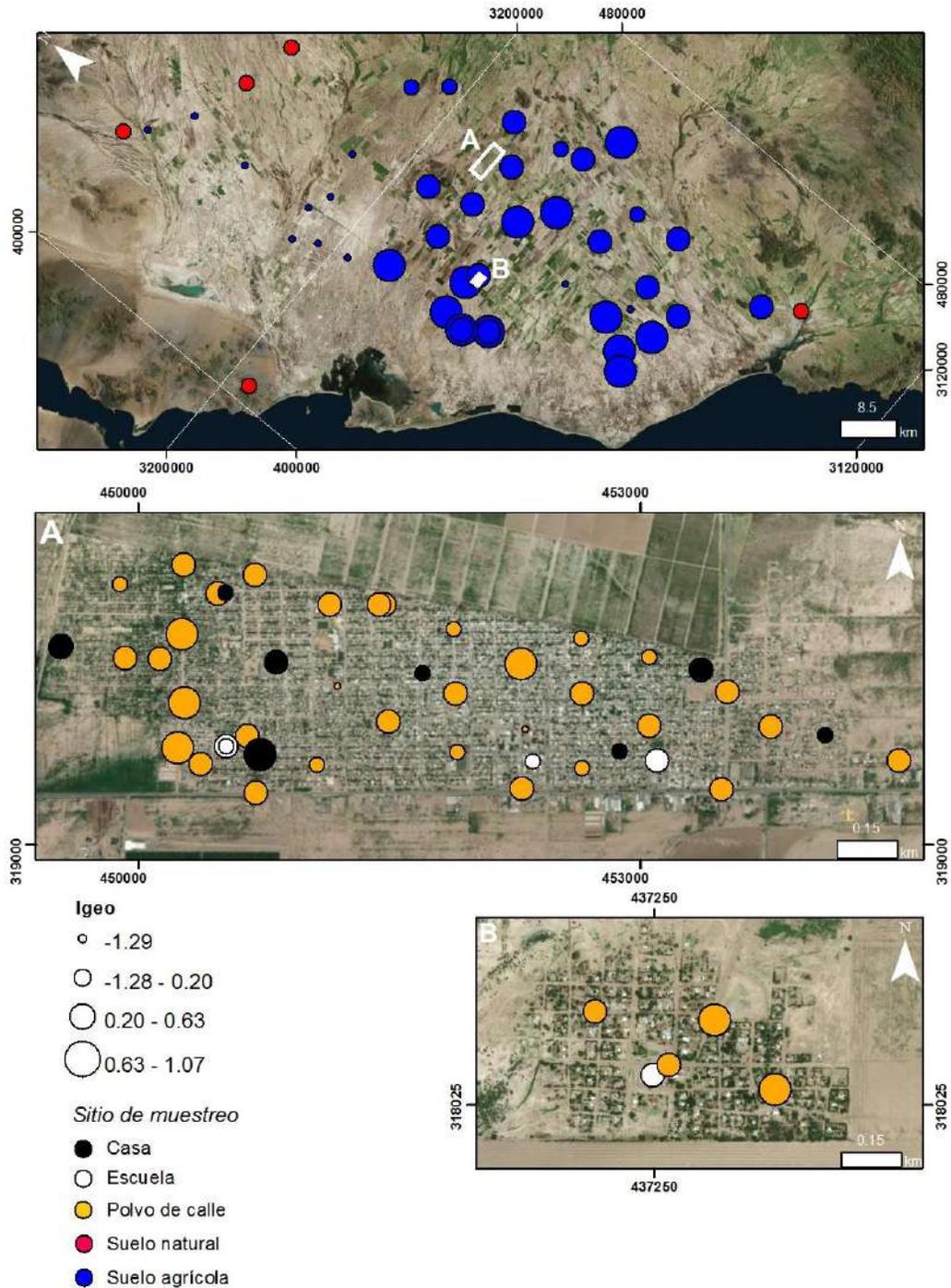
De acuerdo a la clasificación de índice de geoacumulación propuesto por (Müller 1979), en general, la gran mayoría de las muestras estudiadas de los diferentes tipos de muestras, se localizan dentro de la categoría de “sin contaminar a moderadamente contaminado” (Figura 5.3); solamente una muestra de polvo de calle del poblado se localiza en el campo de moderadamente contaminado, y tres muestras dentro de la categoría de “no contaminado”, las cuales representan el 10.5% de las muestras estudiadas (Figura 5.3b). Sin embargo, alrededor del 34% de las muestras de suelo agrícola abandonado se categorizan como “no contaminado”.



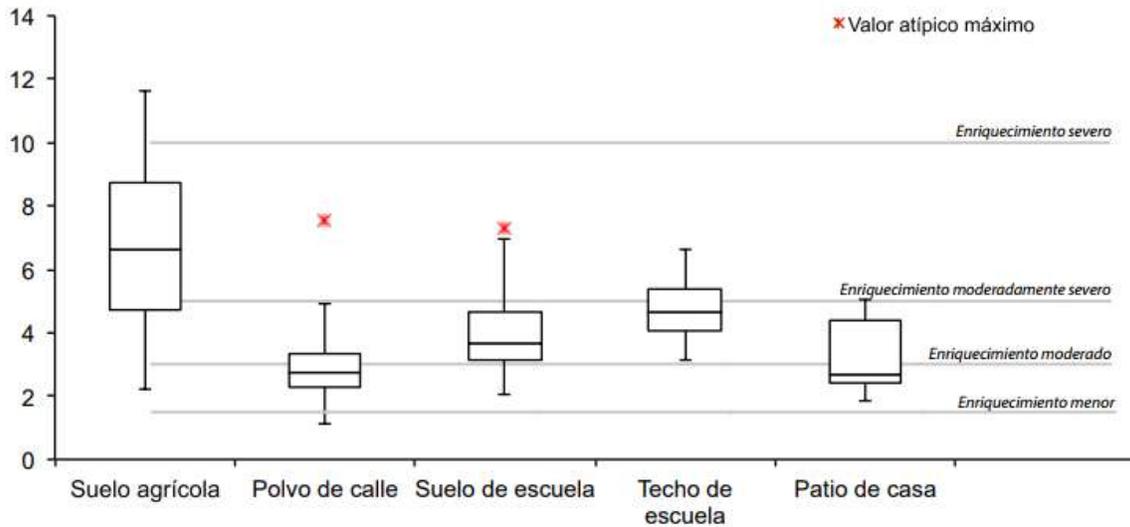
**Figura 5. 3** Variación de índice de geoacumulación (Igeo) en muestras de a) suelos agrícolas abandonados de La Costa de Hermosillo, b) calles de El Poblado Miguel Alemán, c) suelo de patio de casa de dicho poblado, d) de polvo depositado en techo y suelo de escuela primaria de dicho poblado.

De hecho, las diferencias en valores de Igeo en muestras de suelo agrícola abandonado se pueden notar claramente en los mapas de distribución espacial dichos valores (Figura 5.4). En particular, se reitera el hecho que las muestras de suelo recolectadas en la parte central y más antigua de los campos, se caracterizan por tener altos valores de Igeo, mientras que los localizados al norte tienen valores menores. Respecto a los valores de Igeo en muestras de El Poblado Miguel Alemán, así como el núcleo poblacional Mineros de Pilares, tienen valores similares a los encontrados en suelos agrícolas de la parte central de los campos de La Costa de Hermosillo (Figuras 5.4A y B). En general, se puede decir que a excepción de las muestras de suelo de la parte norte de los campos, los valores de Igeo determinados muestran un comportamiento muy homogéneo, indicando que los suelos están sin contaminar a moderadamente contaminado, posiblemente con muy poca influencia de actividad antropogénica.

En cuanto al factor de enriquecimiento (FE), las muestras de suelo agrícola abandonado muestran los valores más altos (Tabla 5.1). La mayoría de los valores de FE en arsénico de suelos agrícolas abandonados quedan ubicados dentro de la categoría de enriquecimiento moderadamente severo, mientras que el resto de las muestras de suelo y polvo en techo de escuela se caracterizan por tener un enriquecimiento moderado, y los patios de casa y polvo de calle por un enriquecimiento menor (Figura 5.5), aunque hay valores atípicos máximos en las muestras de polvo de calle y suelo de escuela, los cuales se excluyen para realizar el diagrama de caja (Figura 5.5).



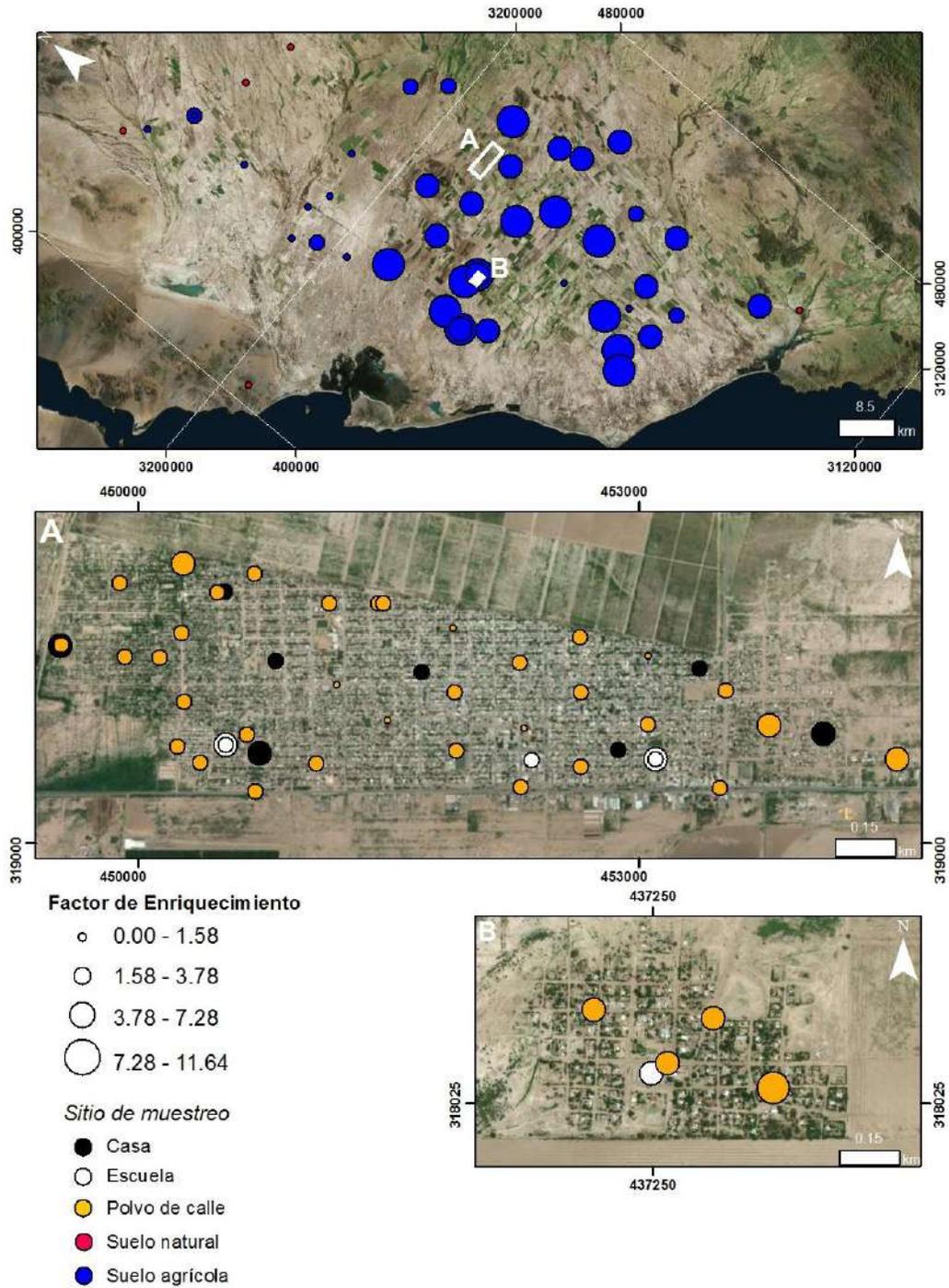
**Figura 5. 4** Distribución espacial de valores de geoacumulación (Igeo) de arsénico en muestras de suelo de campos agrícolas abandonados de La Costa de Hermosillo. A) Concentraciones de arsénico en muestras de suelo, polvo y calle de El Poblado Miguel Alemán, y B) del núcleo poblacional Mineros de Pilares, localizado a 17 kilómetros al suroeste de El Poblado Miguel Alemán.



**Figura 5. 5** Diagrama de caja mostrando los valores de factor de enriquecimiento (FE) de arsénico en muestras estudiadas de los campos abandonados de La Costa de Hermosillo y muestras de El Poblado Miguel Alemán.

De igual forma, la distribución espacial de los valores mayores de FE se localiza en la parte central y más antigua de los campos agrícolas de La Costa de Hermosillo (Figura 5.6), mientras que los campos del norte se caracterizan por valores menores que sugieren menor enriquecimiento. Respecto a las muestras de El Poblado Miguel Alemán, las muestras se caracterizan por tener un moderado enriquecimiento a tener moderadamente severo enriquecimiento, este último, en las porciones extremas localizadas al este y oeste de la mancha urbana (Figura 5.6A). Los mismos valores se documentan para el polvo y suelo de Mineros de Pilares.

En general, los datos de índice de geoacumulación y factor de enriquecimiento de arsénico son bajos, sugiriendo una leve contribución como resultado de actividad antropogénica en la región, principalmente asociada a actividad agrícola, en conjunto con emisiones de otras actividades en los núcleos poblacionales estudiados.



**Figura 5. 6** Distribución espacial de valores de factor de enriquecimiento (FE) de arsénico en muestras de suelo de campos agrícolas abandonados de La Costa de Hermosillo. A) Concentraciones de arsénico en muestras de suelo, polvo y calle de El Poblado Miguel Alemán, y B) del núcleo poblacional Mineros de Pilares, localizado a 17 kilómetros al suroeste de El Poblado Miguel Alemán.

### **5.3. Evaluación a la exposición**

Se realizó la evaluación de riesgo potencial para estimar probabilidad de sufrir una respuesta adversa a la salud al ser expuesto a arsénico en polvo depositado y suelo superficial de calles, patios de casas y patios de escuela de El Poblado Miguel Alemán. En la etapa de planeamiento previa a la evaluación, se consideró que la población pudiera estar en riesgo por exposición a un factor estresante ambiental debido a los siguientes factores: a) es un asentamiento rodeado de una marcada actividad económica, la agricultura, que se caracteriza por una larga historia de mal uso de recursos hídricos, debido a la sobreexplotación de pozos que conllevó a la intrusión salina y abandono de campos, posiblemente ocasionado por abuso del uso de herbicidas y plaguicidas; b) asentamiento urbano con condiciones precarias de urbanización (escasa pavimentación, en algunos puntos hay falta de sistema de drenaje séptico etc.); c) en un clima árido-semiárido se favorece la resuspensión del suelo debido a que se perturba la estructura, y se elimina la cubierta vegetal.

El enfoque que se tomó para la medición de la exposición fue la estimación indirecta, para ello, dentro del escenario de exposición que se planteó, el agente contaminante medido, o factor estresante en el ambiente fue el arsénico, debido a su probado alto potencial para generar respuesta adversa a la salud, y debido a que es un elemento que se ha relacionado a actividades agrícolas (Litter et al., 2009; Liu et al., 2016). El medio en el que se midió las concentraciones de As fue la fracción fina de suelo superficial (suelo y polvo superficial), ya que los suelos y polvo urbano funcionan como sumideros de contaminantes (Amato et al., 2014). La fuente de contaminación que se plantea los suelos superficiales agrícolas circundantes y de las actividades propias de la urbe. La ruta de

exposición evaluada fue ingestión o involuntaria, considerando la actividad de mano a boca (*pica behavior*) o/y exposición directa a boca, ya que se asume la ingestión como uno de las rutas más efectivas de exposición al arsénico, puede representar el 90% de todo el arsénico que ingresa al cuerpo humano (Ruby y Lowney, 2012). La población receptora estudiada son niños, debido a que la tasa de ingestión de suelo entre los niños es mayor que en adultos, a causa de su comportamiento en el que es frecuente el juego en el suelo y su tendencia a introducirse los objetos y las manos en la boca (Fillol et al., 2013). Además, los niños son más sensibles al envenenamiento por arsénico que los adultos, ya que su metabolismo enzimático se encuentra menos desarrollado y el peso corporal más ligero (Liu et al., 2016). En el presente trabajo se realizó una estimación de tendencia central crónica para calcular la dosis de ingesta potencial, para ello se asumieron un conjunto de supuestos sobre los factores de exposición en la población receptora. En el caso de niños de uno a cinco años se asumió el factor de exposición por ingesta de polvo y suelo en patios y calles en 7 días a la semana por 365 días/año. Para niños de cuatro a cinco años la frecuencia de exposición a polvo y suelo de patios de escuela asumida es de 200 días/año, los cuales representan el total de días durante el ciclo escolar según la Secretaría de Educación Pública de México. La duración de exposición asumida fue la edad de los niños y adultos. Respecto al peso corporal, se calculó el peso promedio de un total de 313 niños con edades oscilando entre uno a cinco años, los cuales estaban adscritos al Programa PROSPERA (Programa de Inclusión Social y Seguro Popular, Gobierno Federal México, (<https://cn.prospera.gob.mx/CREO/home.seam>) en El Poblado Miguel Alemán (Tabla 4.2). La tasa de ingestión media de suelo/polvo al día en niños es de 200 mg y en adultos 100 mg (ATSRD, 2017).

**Tabla 5. 3** Edades y pesos de la población Miguel Alemán Plan PROSPERA y Seguro Popular.

<b>Edad (años)</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4-5</b>
n	79	73	87	74
Desviación estándar	1.6	2.1	1.6	2.3
Promedio (kg)	10.7	13.3	14.3	16.8
Máximo (kg)	15.5	21.9	18.5	24.5
Mínimo (kg)	7.2	10.2	10.4	10.5

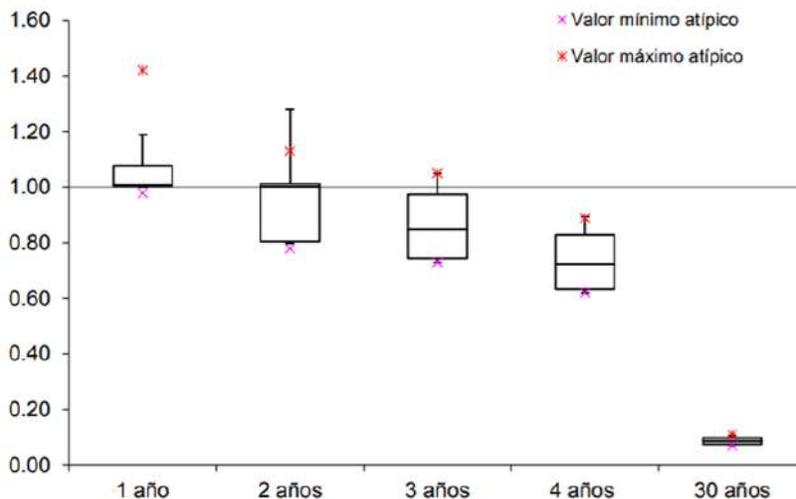
Los promedios de las dosis de exposición diaria (ADD) medidos para ingesta involuntaria de suelo y polvo en muestras de calle, patio de casas y de escuela de El Poblado Miguel Alemán se muestran en la Tabla 5.4.

**Tabla 5. 4** Promedio diario de dosis para ingesta involuntaria de suelo y polvo en muestras de calle, suelo de casas y patios de escuela de El Poblado Miguel Alemán.

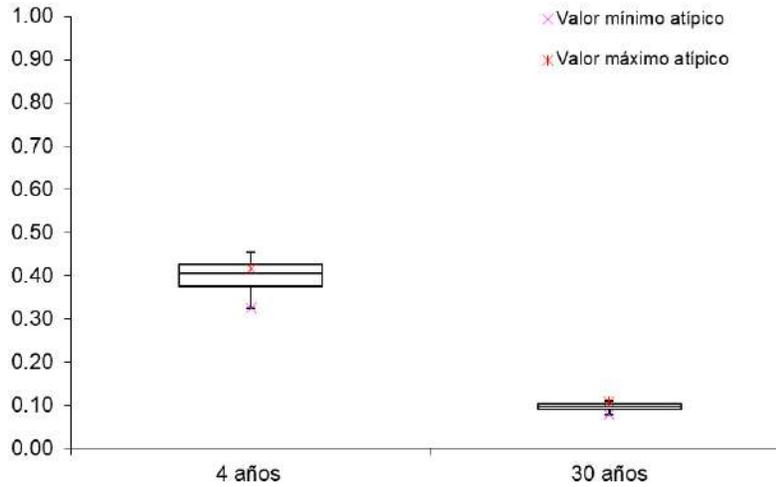
	<b>Calle</b>	<b>Casas</b>	<b>Escuelas</b>
<b>1 año</b>	0.0003	0.0004	-
<b>2 años</b>	0.0003	0.0003	-
<b>3 años</b>	0.0003	0.0003	-
<b>4 años</b>	0.0002	0.0002	0.000119
<b>5-30 años</b>	3E-05	3E-05	2.86E-05

La evaluación de riesgos potencial estimada para niños de forma crónica mediante el cálculo del cociente de riesgo (HQ) a partir de ADD (sin tener en cuenta la biodisponibilidad de la dosis por este medio, o dosis aplicada), tomando como referencia la dosis (RfD)  $3 \times 10^{-04}$  mg/kg/día (EPA, 2017). En este estudio se encontró que el 89.4% de las muestras de polvos/suelo de calles y 87% en polvo de patios de casa, para niños menores de 1 año presentan un índice de riesgo (HQ) >1, es decir que es altamente

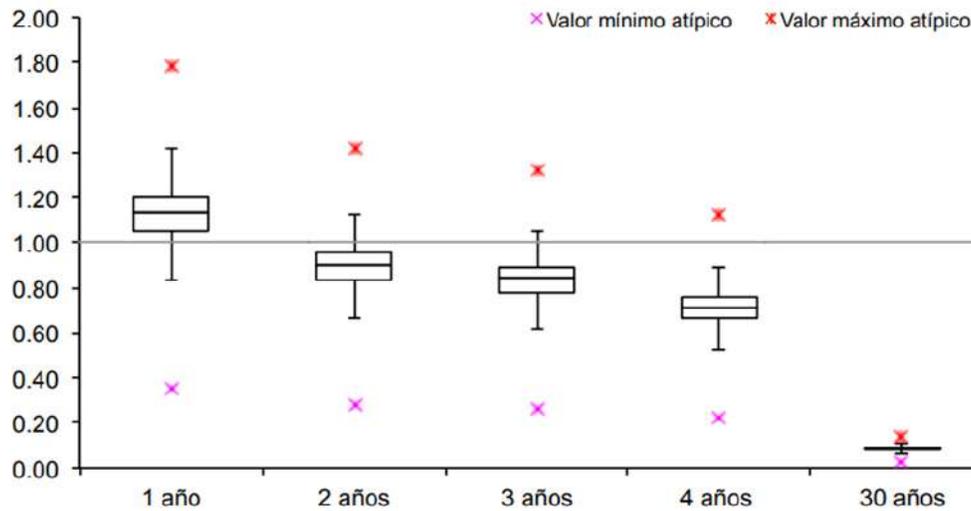
probable que ocurran efectos adversos en la salud (no cancerígenos) para población de niños menores de un año en El Poblado Miguel Alemán. En el caso de la población de niños de uno a dos años, la mitad de muestras de polvoso/suelos de casas presenta  $HQ > 1$ , reduciéndose a 21% en muestras de calle. La población de niño de tres a cuatro años, el porcentaje de muestras de  $HQ$  que sobrepasan 1 disminuye a 12.5% en polvos/suelo patios de casa y 13% en calles. En niños de cuatro a cinco años, y mayor de cinco presentan  $HQ < 1$ , es decir, se encontró que es poco probable que ocurran efectos adversos a la salud no carcinogénicos (ver Figs. 5.7, 5.8, 5.9).



**Figura 5. 7** Diagrama de caja mostrando el coeficiente de riesgo (HQ) potencial por exposición a arsénico, por ingesta involuntaria en muestras de polvo/suelo de patio de casas de El Poblado Miguel Alemán.

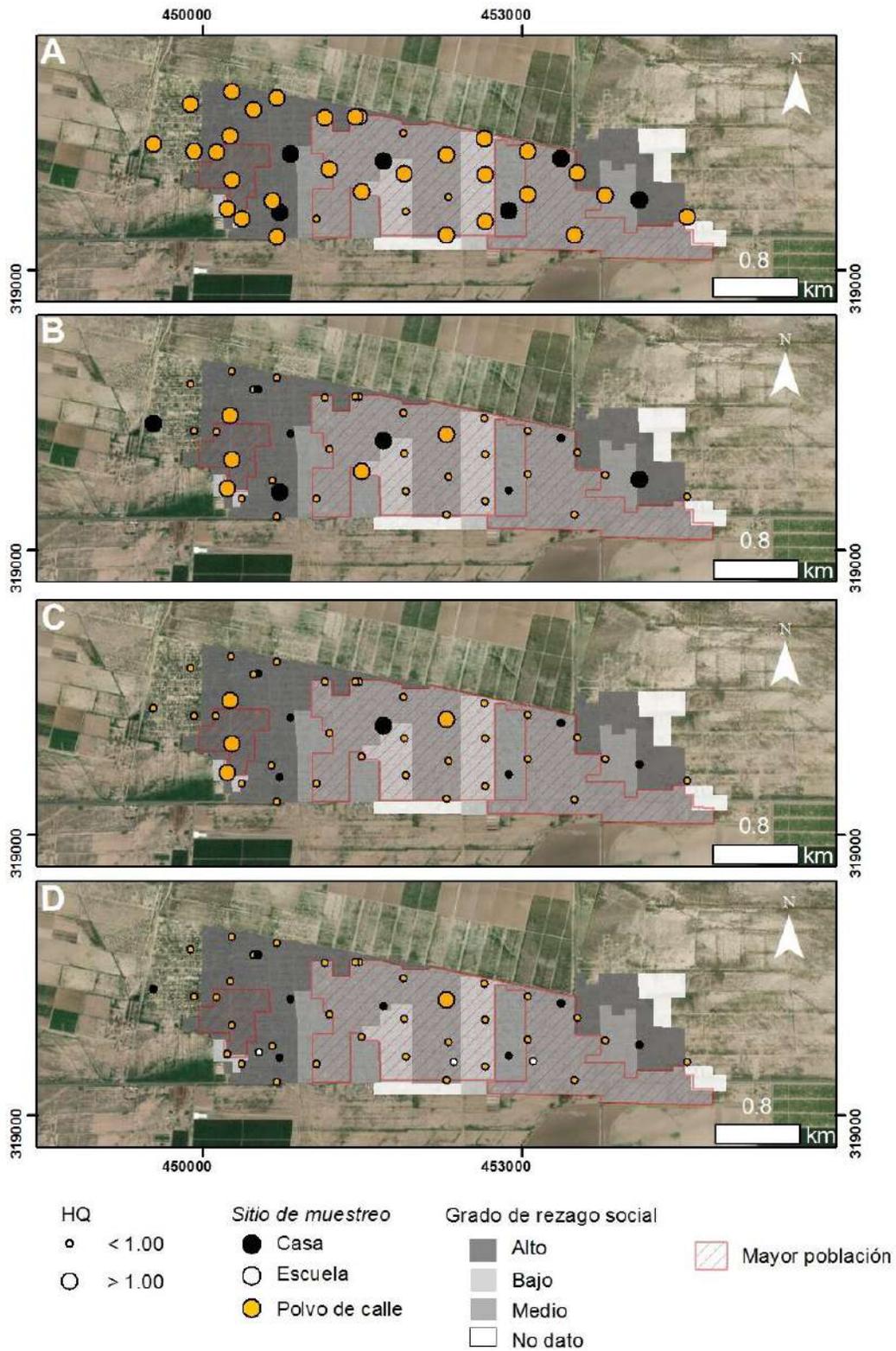


**Figura 5. 8** Diagrama de caja mostrando el coeficiente de riesgo (HQ) potencial por exposición a arsénico, por ingesta involuntaria en muestras de polvo/suelo de escuelas de El Poblado Miguel Alemán.



**Figura 5. 9** Diagrama de caja mostrando el coeficiente de riesgo (HQ) potencial por exposición a arsénico, por ingesta involuntaria en muestras de polvo/suelo de calle de El Poblado Miguel Alemán.

La distribución espacial  $HQ > 1$  en polvo/suelo de calle y casa para niños de un año es prácticamente homogénea a lo largo del poblado. Sin embargo, a partir de los dos años hasta cuatro años,  $HQ > 1$  en polvo/suelo de calle y casas se centra en las zonas de alto rezago social y mayor densidad de población (Fig. 5.10).



**Figura 5. 10** Distribución espacial mostrando el coeficiente de riesgo (HQ) potencial por exposición a arsénico en diferentes escenarios (polvo de calle, suelo de casa y escuela) de El Poblado Miguel Alemán, para edades de A) un año, B) dos años, C) tres años, D) cuatro años.

## 6. Conclusiones

Las concentraciones de arsénico en la fracción fina ( $<20\ \mu\text{m}$ ) de muestras de suelos agrícolas abandonados ( $16.2\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), suelos de patio de casas ( $18.5\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) y escuelas ( $18.2\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), así como polvo de calle ( $17.9\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) y el depositado en techos de escuelas ( $16.7\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), presentan una relativa similitud. Sin embargo, se observaron diferencias referentes a la distribución espacial. Los campos agrícolas de la parte central de Las Costa de Hermosillo, se caracteriza por ser campos más antiguos y tener mayores concentraciones de As, si se comparan con la zona norte, que se caracteriza por ser campos relativamente más jóvenes. Las concentraciones de As en la mancha urbana de El Poblado Miguel Alemán tienden a concentrarse mayormente hacia los extremos oeste y este. Sin embargo, existen variaciones en los tipos de muestras estudiadas (polvo de techo, calle y suelo de patio de casas). El índice de geoacumulación sugieren que los valores de El Poblado Miguel Alemán y del núcleo poblacional Mineros de Pilares, tienen valores similares a los encontrados en los suelos agrícolas abandonados de la parte central de los campos de La Costa de Hermosillo, indicando que las muestras están sin contaminar a moderadamente contaminadas. El factor de enriquecimiento indica que el suelo y polvo de techo de escuela se caracterizan por tener un enriquecimiento moderado, mientras que las muestras de suelo de patio de casa y polvo de calle, presentan un enriquecimiento menor. Además de las muestras estudiadas, se encontró que el 11% de muestras de polvo de calle, 6% de suelo de patio de casa, 36% de suelo agrícola, exceden los límites máximos permisibles según la NOM 147. La evaluación al riesgo a la salud (HQ) no cancerígena por ingesta involuntaria indica que los niños de un año de edad el valor de  $\text{HQ}>1$  es relativamente homogéneo a lo largo del poblado; sin embargo, se observó una variación a

partir de los dos años donde el valor de  $HQ > 1$  se centra en las zonas de alto rezago social y mayor densidad de población, mientras que los valores de  $HQ < 1$  indican poca probabilidad de presentar efectos adversos a la salud no cancerígenos.

## Referencias

- Amato, F., Cassee, F. R., Van der Gon, H. A. D., Gehrig, R., Gustafsson, M., Hafner, W., Harrison, R. M., Jozwicka, M., Kelly, F. J., Moreno, T., Prevot, A. S. H., Schaap, M., Sunyer, J. Querol, X. (2014). Urban air quality: The challenge of traffic non-exhaust emissions. *Journal of Hazardous Materials*, 275, 31-36.
- ATDRS. (2005) Public Health Assessment Guidance Manual; Calculating Exposure Dose, a partir de <https://www.atsdr.cdc.gov/hac/phamanual/appg.html#FG4>.
- ATDRS. (2007) Public Health Service: Toxicological profile for arsenic, a partir de: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp.asp?id=22&tid=3>.
- Birth, G., 2003. A scheme for assessing human impacts on coastal aquatic environments using sediments. *Coastal GIS*, 14.
- Bissen, M., & Frimmel, F. H. (2003). Arsenic—a review. Part I: occurrence, toxicity, speciation, mobility. *CLEAN—Soil, Air, Water*, 31(1), 9-18.
- Bonnell, M.A., Zidek, A., Griffiths, A., Gutzman, D., 2018. Fate and exposure modeling in regulatory chemical evaluation: new directions from retrospection. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 20, 20-31.
- Cerdá, A. (2003): “Tierras marginales, abandono del campo y erosión”, *Mètode: Revista de Difusió de la Investigació de la Universitat de Valencia*, núm. 1, pp. 176-179.
- Çevik, F., Göksu, M.Z.L., Derici, O.B., Fındık, Ö., 2009. An assessment of metal pollution in surface sediments of Seyhan dam by using enrichment factor, geoaccumulation

index and statistical analyses. *Environmental Monitoring and Assessment*, 152, 309-317.

Chester, R., Stoner, J.H., 1973. Pb in particulates from the lower atmosphere of the eastern Atlantic. *Nature*, 245(5419), 27-28.

Cramer, V., Hobbs, R., & Standish, R. (2008). What's new about old fields? Land abandonment and ecosystem assembly. *trends ecol*, 23, 104-112.

Csavina, J., Field, J., Taylor, M. P., Gao, S. L., Betterton, E. A., & Sáez, A. E. (2012). A review on the importance of metals and metalloids in atmospheric dust and aerosol from mining operations. *Science of the Total Environment*.(433), 58- 73.

Csérna, Z.de., 1989. An outline of the geology of Mexico. In: Bally, A.W.,Palmer, A.R. (Eds.), *The Geology of North America, an Overview*. Geological Society of America, Boulder, pp. 33–264.

Ellison, W. (1953): *Marginal Land in Britain*. London: Geoffrey Bles.

EPA (1989). *Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I Human Health Evaluation Manual (Part A)*. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/540/1-89/002.

EPA., U.S., 2001. *Risk Assessment Guidance for Superfund: Volume III Part A, Process for Conducting Probabilistic Risk Assessment*. US Environmental Protection Agency, Washington, D.C., EPA 540-R-02-002, a partir de: [https://19january2017snapshot.epa.gov/expobox/exposure-assessment-tools-approaches-indirect-estimation-scenario-evaluation\\_.html](https://19january2017snapshot.epa.gov/expobox/exposure-assessment-tools-approaches-indirect-estimation-scenario-evaluation_.html)

- EPA., U.S., 2017. Risk Assessment. US Environmental Protection Agency, Washington, D.C., EPA 540-R-02-002, a partir de: <https://www.epa.gov/risk>.
- Fillol, C., Dor, F., Denys, S., Tack, K., Labat, L., Seta, N., 2013. Arsenic urinary concentrations in children living in a naturally arsenic contaminated area. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 23 (2), 145–150.
- IMPLAN (2015) Programa de desarrollo urbano del centro de población Miguel Alemán Hermosillo Sonora, versión consulta 2015, p. 14, 17, 19, 23, 41
- INEGI (2007) Instituta nacional de estadística y Geografía. Conjunto de datos vectorial Edafológico, Esc. 1: 250,000 Serie. Cartas H12-8 y H12-11.
- Jara-Marini, M.E. and García-Rico, L., 2006. Distribution of arsenic in three geochemical fractions of surface sediments from coastal sites of Sonora, Gulf of California, Mexico. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 76(4), 677-683.
- Kalinina, O., Krause, S.E., Goryachkin, S.V., Karavaeva, N.A., Lyuri, D.I., Giani, L., 2011. Selfrestoration of post-agrogenic chernozems of Russia: soil development, carbon stocks, and dynamics of carbon pools. *Geoderma* 162, 196–206.
- Kumaresan, M., and P. Riyazuddin. "Overview of speciation chemistry of arsenic." *Current Science* (2001): 837-846.
- Lee, H., Lee, K., Park, J.Y., Min, S.G., 2017. Korean Ministry of Environment's web-based visual consumer product exposure and risk assessment system (COPER). *Environmental Science and Pollution Research*, 24,13142-13148.

- Litter, M., Armienta, M., & Farías, S. (2009). Metodologías analíticas para la determinación y especiación de arsénico en aguas y suelos. Argentina: CYTED, p.19,20, 22, 25.
- M. Bissen, F. H. Frimmel Arsenic-a review. Part II: oxidacion of arsenic and its removal in water treatment Acta Hydrochim. Hydroboil, 31 (2) (2003), pp. 97-107.
- Medina, M. R., Monreal, R., Morales, M., & Gurrola, J. C. (2004). Estimation of the vulnerability to saline intrusion of the coast of Hermosillo aquifer, Sonora, Mexico. *Geofísica Internacional*, 43(4), 611-621.
- Middleton, N. (2016). Desert dust hazards: A global review. Elsevier,P. 5-63.
- Moreira JC, Jacob SC; Peres F, Lima J, Meyer A, Oliveira-Silva J et al. 2002. Avaliação integrada do impacto do uso de agrotóxicos sobre a saúde humana em uma comunidad e agrícola de Nova Friburgo/RJ. *Ciência e Saúde Coletiva*. 7(2):299-311.
- Müller, G., 1979. Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins-Veränderungen seit 1971. *Umschau* 79, 778-783.
- Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT-2004, que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio diario oficial de la federación, 11 de noviembre de 2005.
- Nriagu, J., & Pacyna, J. (1988). Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. *Nature*, 333, 134-139.

OMS., 2016. Arsénico recuperado el 5 de marzo del 2017 a partir:

<https://outlook.live.com/owa/?path=/mail/inbox/rp>.

Ordóñez, E. (1941). Las provincias fisiográficas de México. *Revista Geográfica*, 1(2/3), 133-181.

Peres, F., Costa, J., Meneses, K., Lerner, R., & Claudio, L. (2007). El uso de pesticidas en la agricultura y la salud del trabajador rural en Brasil. *Revista Ciencia y Trabajo*, 9(26).

Ramankutty, N., 2006. Global land-cover change: recent progress, remaining challenges. In: Lambin, E.F., Geist, H.J. (Eds.), *Land-use and Land-cover Change*. Springer, Berlin, pp. 9–41.

Ruby, M.V., Lowney, Y.W., (2012). Selective soil particle adherence to hands: implications for understanding oral exposure to soil contaminants. *Environ. Sci. Technol.* 46 (23), 12759–12771.

Rudnick, R.L., Gao, S., 2003. Composition of the continental crust. *Treatise on geochemistry*, 3, p.659.

SGM (1999) Servicio Geológico Mexicano. Carta Geológico-Minera Hermosillo, H12-8 Sonora, Esc. 1: 250,000 Edición 2 a partir de: [http://www.sgm.gob.mx/cartas/Cartas\\_Ed.jsp](http://www.sgm.gob.mx/cartas/Cartas_Ed.jsp).

SGM (2000) Servicio Geológico Mexicano. Carta Geológico-Minera Sierra Libra, H12-11 Sonora, Esc. 1: 250,000 Edición 2 a partir de: [http://www.sgm.gob.mx/cartas/Cartas\\_Ed.jsp](http://www.sgm.gob.mx/cartas/Cartas_Ed.jsp).

Szynkiewicz, A., Medina, M.R., Modelska, M., Monreal, R. and Pratt, L.M., 2008. Sulfur isotopic study of sulfate in the aquifer of Costa de Hermosillo (Sonora, Mexico) in

- relation to upward intrusion of saline groundwater, irrigation pumping and land cultivation. *Applied Geochemistry*, 23, 2539-2558.
- Taylor, S.R., McLennan, S.M., 1995. The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews of Geophysics*, 33(2), 241-265.
- Tomlinson, D.L., Wilson, J.G., Harris, C.R., Jeffrey, D.W., 1980. Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, 33, p.566.
- Wei, B., Yang, L., 2010. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. *Microchemical Journal*, 94(2), 99-107.
- WHO (2004) World Health Organization. *IPCS Risk Assessment Terminology*. World Health Organization.
- Wu, J., Teng, Y., Lu, S., Wang, Y. and Jiao, X., 2014. Evaluation of soil contamination indices in a mining area of Jiangxi, China. *PloS one*, 9(11), p.e112917.
- Yessi, A., Kjellström, T., & Guidotti, T. D. (2002). *Salud Ambiental Básica*. México.: Red de Formación Ambiental Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Zhai, Y., Zhao, X., Teng, Y., Li, X., Zhang, J., Wu, J., & Zuo, R. (2017). Groundwater nitrate pollution and human health risk assessment by using HHRA model in an agricultural area, NE China. *Ecotoxicology and environmental safety*, 137, 130-142.

Zhang, H. y Shan, B., 2008. Historical records of heavy metal accumulation in sediments and the relationship with agricultural intensification in the Yangtze–Huaihe region, China. *Science of the Total Environment*, 399, 113-120.

Zhang, H., Chen, J., Zhu, L., Yang, G. and Li, D., 2014. Anthropogenic mercury enrichment factors and contributions in soils of Guangdong Province, South China. *Journal of Geochemical Exploration*, 144, 312-319.

Zoller, W.H., Gladney, E.S., Duce, R.A. 1974. Atmospheric concentrations and sources of trace metals at the South Pole. *Science*, 183, 199-201.