



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

**ANÁLISIS DE RIESGO PROBABILÍSTICO DE DAÑO A LA SALUD POR
INGESTA DE ARSÉNICO EN POLVOS EN UNA POBLACIÓN DE LA RIVIERA
DEL LAGO DE CUITZEO.**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE INGENIERO QUIMICO

PRESENTA:

P.I.Q. NOÉ GRANO DAMIÁN

ASESOR DE TESIS:

DR. MARCÓ ANTONIO MARTÍNEZ CINCO

MORELIA, MICHOACÁN, SEPTIEMBRE DEL 2020.

AGRADECIMIENTOS

Gradezco los esfuerzos realizados por mis padres, **Francisca Damián Barajas** y **Antonio Grano Pacheco**, que siempre estuvieron en los momentos que mas los necesite y que nunca me dejaron rendirme para cumplir mi meta.

Agradezco a mi hermano **Francisco Grano Damián** por ayudarme en mi formación académica, brindándome apoyo económico y sobre todo motivándome para cumplir mi meta.

Agradezco a mi novia **Erika Esmeralda Reyes Cano** por siempre apoyarme e insistirme en culminar con el presente estudio.

Agradezco al **Dr. Marco Antonio Martínez Cinco** por ayudarme y aceptarme en su grupo de estudio, por brindarme sus conocimientos y siempre estar al pendiente en mis avances.

A mi familia que fue el motor principal para seguir creciendo en mi vida profesional y cada esfuerzo se lo debo a ellos.

Contenido

CAPITULO 1.....	8
INTRODUCCION	8
Metales pesados.....	9
ANTECEDENTES	11
JUSTIFICACION.....	12
OBJETIVOS	13
Objetivo general.	13
Objetivos específicos.	13
HIPOTESIS	14
CAPITULO 2. MARCO TEORICO.....	15
AREA DE ESTUDIO.....	15
Viento	16
DISTRIBUCION DE METALES PESADOS EN ZONAS URBANAS Y SUBURBANAS	17
ESTIMACIÓN DE RIESGO	20
DISTRIBUCIÓN DE METALES PESADOS EN MÉXICO	23
CONTAMINACIÓN DE SUELO	25
CAPITULO 3. METODOLOGIA	28
TECNICA DE MUESTREO	28
Muestreo superficial.....	29
Muestreo vertical	29
Consideraciones para la toma de las muestras de suelo.....	30
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	31
Equipo utilizado para tamizar	32
• Tamices vibratorios	32
Tipos de equipos utilizados en esta técnica	33
• Rejillas	34
• Tambores	34
• Tamices con agitación mecánica.....	34
TAMIZADO	34

FUNDAMENTO TEÓRICO DE LA FLUORESCENCIA DE RAYOS-(WDFRX)	35
Tabla 3.3 Rango de edades y peso corporal promedio, (.obtenidos de ENSANUT, 2016).....	39
Capítulo 5. Conclusión	45
ANEXOS	46
ANEXO 1	47
ANEXO 2	49
ANEXO 3	50
ANEXO 4	52
ANEXO 5	54
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55

RESUMEN

El presente estudio tiene el objetivo de realizar un análisis de riesgo probabilístico de daño a la salud por la ingesta en arsénico y otros metales pesados contenidos en polvos, en una población rural aledaña al Lago de Cuitzeo, llamada Araró, municipio de Zinapecuaro Michoacán.

Para el análisis de los polvos, se tomaron un total de 34 muestras conforme a lo establecido en la norma NMX-AA-132-SCFI-2006, se realizó un mapa para ubicar los puntos de muestra, después de recolectar las muestras se llevaron al laboratorio y se colocaron en un lugar en donde no interactuara con el medio ambiente, se tamizaron cada una de las muestras en el laboratorio hasta llevarla a un diámetro de partícula de 44 μm y se almacenaron en bolsas de polietileno, del tamizado que se obtuvo se realizó un análisis de fluorescencia de rayos X para cuantificar la composición elemental de Pb, As, Hg, Zn, Cu, Co, Fe, Mn, Cr, V y Zr.

Se utilizó la metodología de la EPA para el análisis probabilístico de riesgo a la salud para el cálculo de los cocientes de riesgo (HQ), cocientes de riesgo acumulado (HI) y riesgo de contraer cáncer (R). Los principales resultados que arrojó el presente estudio fueron satisfactorios, donde las concentraciones de los HQ calculados en forma independiente para metales Pb, As, Hg, Zn, Cu, Fe, Mn, Cr y V, resultaron menores a 1, o así para Co y Zr. El Índice de peligro (HI) resultó de 4.7.

Palabras claves

Riesgo cancerígeno, metal pesado, riesgos a la salud, coeficientes de peligro, coeficientes de peligro acumulado.

ABSTRACT

The present study has the objective of carrying out a probabilistic risk analysis of health damage due to the intake of arsenic in powders, in a rural population near Lake Cuitzeo, called Araró, municipality of Zinapécuaro Michoacán.

For the analysis of the powders, a total of 40 samples were taken in accordance with the provisions of standard NMX-AA-132-SCFI-2006, a map was made to locate the sample points, after collecting the samples they were taken to the laboratory and were placed in a place where it did not interact with the environment, each sample was screened in the laboratory and stored in polyethylene bags, the sieve that was obtained was performed an X-ray fluorescence analysis to quantify the elementary composition of Pb, As, Hg, Zn, Cu, Co, Fe, Mn, Cr and V.

The EPA methodology was used for the probabilistic analysis of health risk for the calculation of the hazard ratios (HQ), cumulative hazard ratios (HI), and cancer risk (R).. The main results of the present study were satisfactory, where the concentrations of the metals Pb, As, Hg, Zn, Cu, Co, Fe, Mn, Cr and V, are within the range of acceptance and out of risk to the Health.

Key words

Carcinogenic risk, heavy metal, health risks, danger coefficients, accumulated danger coefficients.

CAPITULO 1

INTRODUCCION

El Arsénico inorgánico es un metaloide tóxico y cancerígeno que ha sido asociado con diversos padecimientos producto de la exposición del humano a este compuesto tóxico. Las principales vías de exposición son la ingesta de agua, polvos o alimento y la inhalación. Se sabe que la ingesta de agua es la fuente de exposición más común, sin embargo, se ha demostrado que la ingesta por polvo también es importante (Celik, y otros, 2008),(GarciaRico, y otros, 2016)

Se ha reconocido por siglos que la exposición al arsénico puede causar toxicidad aguda y por consecuencia la muerte. Su propensión a causar toxicidad crónica y cáncer a través del medio ambiente la exposición en dosis bajas se ha convertido ahora aparente. El arsénico tiene una larga historia de uso como un veneno intencional, en medicinas y pesticidas, y todavía se encuentra en medicinas populares y pesticidas en muchos países. Hasta otras terapias disponibles (a fines de la década de 1940), la sífilis y la psoriasis eran a menudo tratadas con arsenicales. (Organizacion Mundial de la Salud, 2018)

Su toxicidad depende del estado de oxidación, estructura química y solubilidad en el medio biológico. La escala de toxicidad del arsénico decrece en el siguiente orden: arsina > As+3 inorgánico > As+3 orgánico > As+5 inorgánico > As+5 orgánico > compuestos arsenicales y arsénico elemental. La toxicidad del As+3 es 10 veces mayor que la del As+5 y la dosis letal para adultos es de 1-4 mg As/Kg. Para las formas más comunes como AsH₃, As₂O₃, As₂O₅ esta dosis varía en un rango entre 1,5 mg/Kg y 500 mg/kg de masa corporal. (Agencia de Sustancias Toxicas, 2009)

Se ha demostrado que los niños son más sensibles que los adultos a la toxicidad por el arsénico y son los más afectados por el arsenicismo, por problemas de desnutrición y precario saneamiento en las zonas rurales dispersas (pobres). En estas poblaciones, se consume agua sin ningún tratamiento y se desconoce el riesgo al que están expuestos. Se requiere que las autoridades de salud, ambiente y saneamiento planifiquen los servicios de aprovisionamiento de agua y promuevan e intervengan en la ejecución de programas de

prevención y control de riesgos del consumo del agua de bebida con niveles de arsénico superiores a los recomendados. Los programas deben involucrar la participación de las autoridades, comunidad y sistemas locales de salud (Agencia de Sustancias Tóxicas, 2009)

El interés en el arsénico ambiental ha aumentado drásticamente en los últimos años. Esta fuente de contaminación del agua potable y otros medios ambientales en el área geográfica, ahora sufren los efectos de arseniasis crónica, que representa un gran dilema internacional de salud pública. El potencial para el cáncer es una gran preocupación. (Organización Mundial de la Salud, Organización Mundial de la Salud, 2008).

El Consejo Nacional de Investigación de EE. UU. Tiene recientemente concluido, basado en datos en estudios epidemiológicos, que la evidencia es ahora suficiente que incluyen cáncer de pulmón y vejiga, junto con los cánceres de piel, como causados por la ingestión de arsénico inorgánico. Ellos concluyeron que hay alguna indicación de que el arsénico puede inducir cánceres en otros órganos, aunque la evidencia no es tan fuerte. (Galetovic Carabantes & A.G.G de Femicola, 2003)

Las principales rutas de exposición de las personas al arsénico son la ingesta e inhalación. Este elemento es acumulable en el organismo por exposición crónica, y a ciertas concentraciones ocasiona afecciones como: alteraciones de la piel (relajamiento de los capilares cutáneos y la dilatación de los mismos) con efectos secundarios en el sistema nervioso, irritación de los órganos del aparato respiratorio, gastrointestinal, y hematopoyético y acumulación en los huesos, músculos y piel, y en menor grado en hígado y riñones.(Congreso Internacional Ciudad de México, 2006).

Metales pesados

Los metales pesados han sido utilizados por la humanidad desde hace miles de años y la exposición a ellos ha generado efectos en la salud debido a que el hombre los pone accesibles a matrices como agua, suelo, aire y alimentos que llegan al ser humano y bajo exposiciones crónicas, pueden llegar a ocasionar muchas enfermedades principalmente en países en desarrollo los cuales mantienen tasas de contaminación altas comparados con los países desarrollados (Gonzalez, y col., 2009)

Se ha reportado que los centros urbanos son principalmente afectados por la contaminación de metales pesados, debido a las actividades como el tráfico y la industria, sin embargo, la presencia natural de metales pesados en suelos también tiene un origen geoquímico. Estas concentraciones no deben sobrepasar los límites aceptables para la salud humana. En México la norma oficial mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, presenta concentraciones de referencia totales (CR_T) para suelos de uso agrícola, residencial o comercial. El CR_T es la masa del elemento químico regulado por unidad de masa del suelo en estudio, por encima del cual se considera existe un riesgo de que se genere efectos adversos para la salud. Para el caso del arsénico, no debe sobrepasar 22 mg/Kg, mientras que para Cromo Hexavalente, el límite es 280 mg/Kg, para Mercurio 23 mg/Kg, plomo 400 mg/Kg y Vanadio 78 mg/Kg.

ANTECEDENTES

El aumento de la población humana y la alta urbanización, y la tasa de crecimiento industrial en la Ciudad de México lo han convertido en una de las zonas pobladas del mundo. El impacto antropogénico del crecimiento descontrolado afecta seriamente la calidad del medio ambiente urbano y representa un riesgo para el ser humano en la salud. La importancia ecológica de los metales pesados en los suelos está estrechamente relacionada con la salud humana debido a su alta transferencia ecológica potencial. Con frecuencia, la concentración total de metales pesados en los suelos es reportada como un indicador de la calidad ambiental urbana, sin embargo, la gravedad de la contaminación depende no solo de la concentración de los metales pesados del suelo, pero también en la proporción de su fuente y formas biodisponibles (Luy col.2003)

La importancia ecológica de los metales pesados en los suelos tiene una gran atención del gobierno y las autoridades reguladoras preocupados por reducir el riesgo para la salud humana asociado a la contaminación ambiental. Esto ha llevado al desarrollo y establecimiento de regulación legislativa con el propósito de controlar el riesgo asociado con el aumento excesivo de metales pesados en el medio ambiente (Mortony col., 2009)

Las fuentes de polvo urbano comúnmente incluyen polvo derivado de la carretera, el patio de juegos y el suelo. La resuspensión del polvo urbano mejora el transporte y una mayor distribución de los metales, lo que afecta a la calidad del medio ambiente humano urbano y la salud humana.

Los suelos de los patios de recreo son depósitos de metales de diversas fuentes, incluidas las emisiones de vehículos, la combustión y los desechos industriales. (Metales pesados en suelos y polvos, 2016).

Es probable que la exposición al metal proveniente del suelo ocurra en niños a través de los patios de recreo de escuelas en poblaciones urbanas.

Los niños pasan más tiempo en actividades al aire libre; por lo tanto, están más expuestos a los metales por ingestión a través de las vías mano-boca. El polvo en el aire es un importante mecanismo de transporte de metales en zonas áridas.

JUSTIFICACION

La concentración de elementos potencialmente tóxicos puede llegar a ser un problema de salud pública, ya que en concentraciones elevadas alto riesgo a la salud entre ellos la posibilidad de contraer cáncer y a baja dosis no está bien estudiado los efectos adversos a la salud de elementos como el arsénico.

El área de estudio está ubicada en una zona geotérmica en donde existe abundancia de metales o metaloides como el arsénico que sobrepasan la concentración del estándar de salud (10 ppb) en agua. Este estudio trata de evaluar si en otra matriz, como el suelo también tiene concentraciones que excedan la norma de referencia y representen un riesgo para la salud de los pobladores de Araró, Michoacán.

OBJETIVOS

Objetivo general.

Realizar un análisis de riesgo probabilístico a la salud en personas expuestas a arsénico y metales pesados por ingesta de polvos en el poblado de Araró municipio de Zinapécuaro, Michoacán, México.

Objetivos específicos.

- Recolectar y procesar polvos en la zona de Araró Municipio de Zinapécuaro, Michoacán, para su análisis por Fluorescencia de Rayos X.
- Encontrar el posible riesgo de salud al estar en contacto con diferentes tipos elementos potencialmente tóxicos como As, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, V, Zn, Mo y Zr.

HIPOTESIS

El arsénico inorgánico presente en la comunidad de Araro está contenido en los polvos que son ingeridos y su concentración puede ocasionar daño a la salud. De igual manera los metales pesados Pb, Hg, Zn, Cu, Co, Fe, Mn, Cr, V y Zr se encuentran en concentraciones que pueden ocasionar daño a la salud.

CAPITULO 2. MARCO TEORICO

AREA DE ESTUDIO

Araró es un poblado en el estado de Michoacán, México; perteneciendo al municipio de Zinapecuaro. A una distancia de 45km de la capital Morelia; tiempo aproximado de 1 hora, y situado a kilómetro y medio del lago de Cuitzeo. (Lugares que ver, 2019)

Región lacustre rodeada de montes, lagunas y aguas termales, tierra propicia para la agricultura de ciertos vegetales y cereales, extracción de sal muy apreciada desde la antigüedad por su contenido mineral.

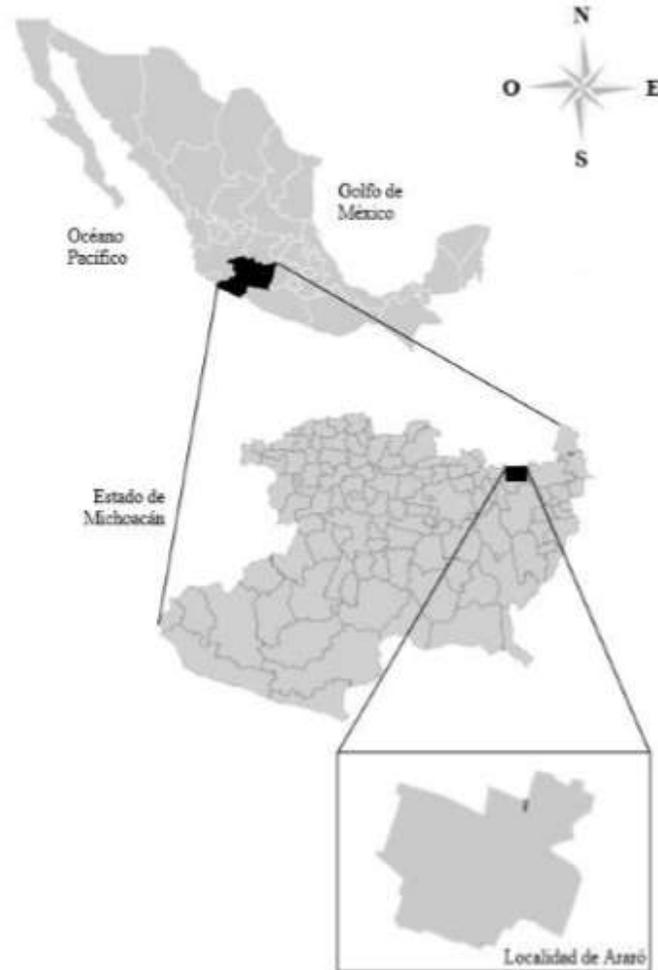


Figura 2.1 Localización de la comunidad de Araró en Michoacán, México. (Elaborado por Damayanti Aguilar)

La temporada de lluvia es nublada, la temporada seca es parcialmente nublada y es caliente durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 5°C a 29°C y rara vez baja menos de 2°C.

El día más despejado del mes es el 1 de mayo, con condiciones despejadas, mayormente despejadas o parcialmente nubladas el 58% del tiempo.

Como referencia, el 3 de septiembre, el día más nublado del año, la probabilidad de cielo nublado o mayormente nublado es 89%, mientras que el 23 de febrero, el día más despejado del año, la probabilidad de cielo despejado, mayormente despejado o parcialmente nublado es 66%.

Un día mojado es un día con por lo menos 1 milímetro de líquido o precipitación equivalente a líquido. En Zinapécuaro, la probabilidad de un día mojado durante el mes de mayo aumenta muy rápidamente, comenzando el mes en 6% y terminando el mes en 31%.

Como referencia, la probabilidad más alta del año de tener un día mojado es el 77% el 15 de julio, y la probabilidad más baja es el 2% el 12 de diciembre.

Para mostrar la variación durante el mes y no sólo el total mensual, mostramos la precipitación de lluvia acumulada durante un periodo móvil de 31 días centrado alrededor de cada día. (Weather, 2018)

Basamos el nivel de comodidad de la humedad en el punto de rocío, ya que éste determina si el sudor se evaporará de la piel enfriando así el cuerpo. Cuando los puntos de rocío son más bajos se siente más seco y cuando son altos se siente más húmedo. A diferencia de la temperatura, que generalmente varía considerablemente entre la noche y el día, el punto de rocío tiende a cambiar más lentamente, así es que aunque la temperatura baje en la noche, en un día húmedo generalmente la noche es húmeda. (Weather, 2018)

Viento

Esta sección trata sobre el vector de viento promedio por hora del área ancha (velocidad y dirección) a 10 metros sobre el suelo. El viento de cierta ubicación depende en gran medida

de la topografía local y de otros factores; y la velocidad instantánea y dirección del viento varían más ampliamente que los promedios por hora.(Weather, 2018)

La velocidad promedio del viento por hora en Zinapécuaro disminuye gradualmente en mayo, con una disminución de 8,5 kilómetros por hora a 7,2 kilómetros por hora en el transcurso del mes.(Weather, 2018)

Como referencia, el 25 de marzo, el día más ventoso del año, la velocidad promedio diaria del viento es 9,4 kilómetros por hora, mientras que el 25 de julio, el día más calmado del año, la velocidad promedio diaria del viento es 6,3 kilómetros por hora (Weather, 2018).

El agua contaminada con arsénico también proporciona una vía para que este elemento entre en la cadena alimentaria a través del riego, así como durante la preparación y cocción de los alimentos (Bhattacharya, y col., 2012) Por lo tanto, la ingestión de agua y alimentos contaminados es una vía de exposición significativa para el arsénico.

Metales pesados y arsénico han sido determinados en agua subterránea del estado de Michoacán (Paez, 2008). El arsénico se encuentra presente en concentraciones superiores a la normatividad mexicana en agua y a las recomendaciones en sedimentos. La contaminación en el lago de Cuitzeo es por fuente natural debido al suelo volcánico (Israde - Alcantara y col, 1999). Los últimos estudios muestran que existe movilidad, disponibilidad y toxicidad del arsénico en el lago (Vazquez, y col., 2015). No existen referencias sobre concentraciones de arsénico en organismos de este lago, por lo tanto se desconoce si existe acumulación en las especies de peces comerciales.

DISTRIBUCION DE METALES PESADOS EN ZONAS URBANAS Y SUBURBANAS

De acuerdo a la actividad geotérmica que se encuentra en la zona, los metales se pueden encontrar en los suelos respirables ubicados en patios, techos, calles y carreteras. Los polvos de la carretera son partículas finas sólidas y se originan a partir de la interacción de constituyentes sólidos, líquidos y gaseosos, que se originan a partir de las diversas fuentes y, finalmente, se acumulan en materiales exteriores e impermeables en entornos urbanos

Hay muchas fuentes diferentes en áreas urbanas y suburbanas, que han contribuido significativamente la contaminación tóxica de metales pesados.

El arsénico inorgánico que se encuentra en las aguas subterráneas es en la mayoría de los casos de origen geológico. Las concentraciones típicas de arsénico en las aguas subterráneas son muy bajas y en la mayoría de los casos inferiores a 10 µg/L. Las concentraciones elevadas de arsénico hasta 5.000 µg/L se encuentran típicamente en áreas con volcanismo activo, aguas geotérmicas, rocas sedimentarias y en suelos con una alta concentración de sulfuros (por ejemplo, arsenopirita). El arsénico también puede ser introducido en las aguas subterráneas por actividades mineras. El arsénico es altamente soluble y móvil en el agua (Organización Mundial de la Salud, Organización Mundial de la Salud, 2004). Por lo tanto, la contaminación del agua subterránea con arsénico está bastante extendida.

La Figura 1 muestra de manera gráfica, el ciclo del arsénico en el medio ambiente considerando el transporte entre los sistemas más comunes como suelo-agua y sedimento-transporte hasta el destino final en forma metilada como ácido monometilarsónico (MMA) y ácido dimetilarsínico (DMA).

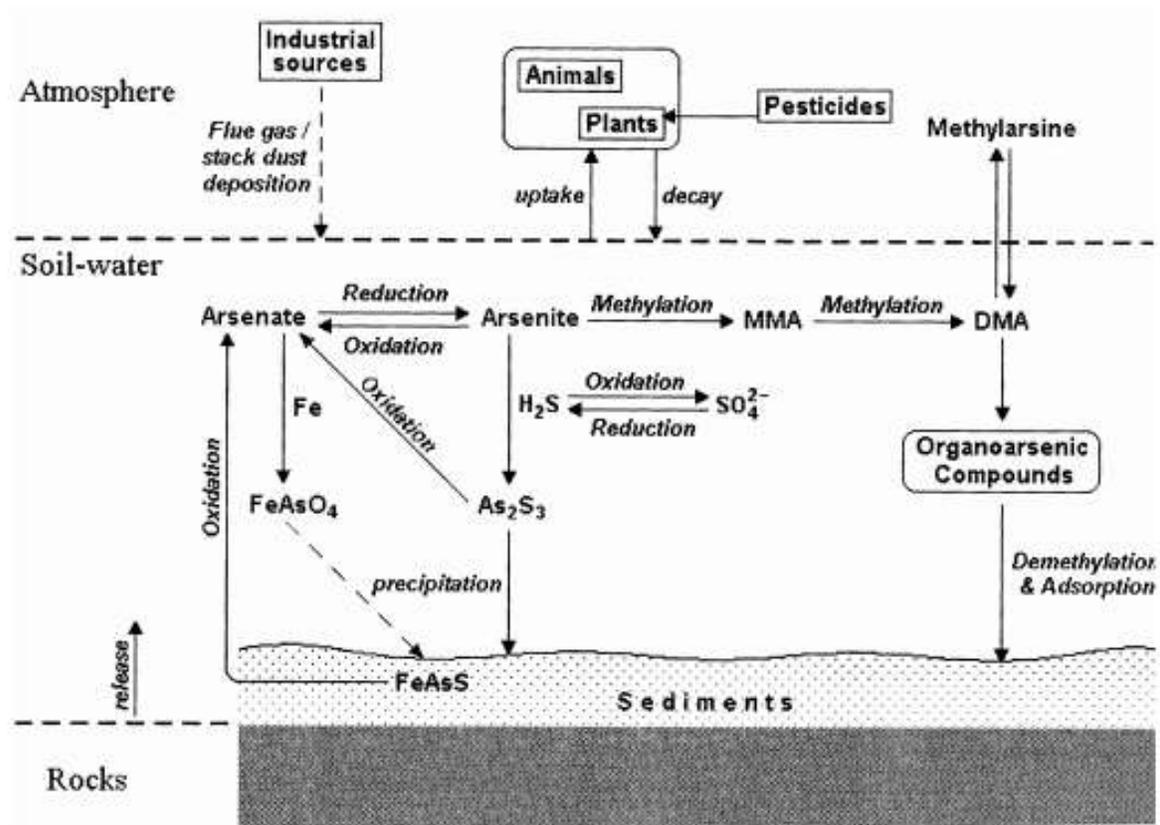


Figura 1. Ciclo de arsénico en el medio ambiente.

Reacciones importantes en los sistemas suelo-agua y sedimento-roca para influir en el transporte, distribución y disponibilidad del arsénico en el medio ambiente. La disponibilidad de oxígeno controla las reacciones redox arseniato-arsenito. La adsorción y precipitación de arseniato y arsenito inmovilizan el arsénico soluble. La liberación lenta de arsénico de las rocas y los sedimentos o la disolución oxidativa de la arsenopirita (FeAsS) de los sedimentos contribuye al flujo de arsénico en el medio ambiente. La metilación de arsenito a ácido monometilarsónico (MMA) o ácido dimetilarsínico (DMA) seguida por otros compuestos organoarsénicos, constituyen las principales reacciones biológicas en el ciclo del arsénico (Roy & Saha, 2002).

TOXICOLOGÍA DE METALES PESADOS

El modelo de evaluación de riesgos para la salud derivado del USEPA (Sistema Integrado de Información de Riesgos) se aplicó para calcular la ingesta de As, Cr, Mn y Pb de polvo para estimar la exposición al riesgo de cáncer no cancerígeno (crónica) y carcinogénica para niños por medio de partículas de polvo (Agencia de Sustancias Tóxicas, 2009)

ESTIMACIÓN DE RIESGO

El arsénico inorgánico es un carcinógeno, el metaloide se encuentra en el suelo y el polvo, y puede representar un riesgo de salud para los humanos. La ingestión es la vía de exposición más importante y puede representar el 90% de todo el arsénico que ingresa al cuerpo humano (Agencia de Sustancias Tóxicas, 2009). Comparado con la ingestión incidental de suelo la tasa de adultos, la tasa entre los niños es mayor; ingesta de niños.

La ingestión crónica de arsénico inorgánico causa efectos adversos multisistémicos para la salud. Enfermedad vascular periférica y cardiopatía isquémica (ISHD), enfermedad renal, efectos neurológicos, enfermedad cardiovascular, enfermedad pulmonar crónica, enfermedad cerebro vascular, efectos reproductivos y cánceres de la piel, pulmones, hígado, riñón y vejiga. El aumento de la exposición al arsénico también está asociado con la diabetes mellitus no insulino dependiente (Rahman y col., 1998)

En México, el As está presente en el Cinturón Volcánico Transmexicano donde se consume las aguas subterráneas provenientes de suelos ricos en As e históricamente se ha utilizado los plaguicidas basados en este metaloide. Los niveles altos de As en agua potable México fueron identificados por primera vez en 1958. Desde entonces concentraciones de As mayores de 50 $\mu\text{g} / \text{L}$ se ha detectado en otras áreas de México, incluyendo Durango, Coahuila, Zacatecas, Morelos, Aguas, Calientes, Chihuahua, Puebla, Nuevo León, Guanajuato, Jalisco, Oaxaca, San Luis Potosí y Sonora (Armienta y Segovia, 2008)

Un estudio en la región de Lagunera encontró que el 64% de los pozos tenían concentraciones de As superiores a 50 $\mu\text{g} / \text{L}$, con un rango de 8-624 $\mu\text{g} / \text{L}$ (Del Razo, y col., 1993). Las aguas subterráneas en las áreas de Zimapan y Guanajuato contenían entre 190 y 650 $\mu\text{g} / \text{L}$ (promedio 380 $\mu\text{g} / \text{L}$) y 280 $\mu\text{g} / \text{L}$ (Armienta y Segovia, 2008).

As representa un riesgo para la salud humana y depende del potencial de As para disolverse en fluido gastrointestinal, llega al compartimento central (sangre) y causar efectos adversos para la salud. Por lo tanto, el As presenta riesgos potenciales para la salud. Puede ser sobreestimado por evaluaciones basadas en concentraciones totales de As en polvo de suelo / interior. Como bioaccesibilidad, definida como la fracción de una dosis administrada que es soluble en el ambiente gastrointestinal y disponible para ser absorbida por el tracto gastrointestinal.

El mecanismo de acción del arsénico inorgánico que conduce al cáncer, sigue sin estar muy claro. No hay evidencia de que las especies de arsénico inorgánico reaccionen covalentemente con carcinógenos orgánicos similares a los del ADN. En un estudio con cultivos de queratinocitos humanos, se demostró que el arsenito aumenta la proliferación celular a través de la producción de factores de crecimiento derivados de estas células; El análisis de la expresión génica en muestras de lesiones cutáneas obtenidas de pacientes expuestos al arsénico a través del agua potable también mostró alteraciones similares en la expresión del factor de crecimiento (Simeonova y col., 2002)

Algunos sugieren que es posible que los cambios ambientales puedan dar lugar a condiciones que puedan provocar liberaciones dramáticas de metales almacenados, el llamado efecto de "bomba de tiempo química". Segundo, son ubicuas en los suelos y surgen tanto de naturales como fuentes antropogénicas, con vías que incluyen la herencia de rocas parentales, desechos de urbanos, deposición atmosférica, fluvial local, de largo alcance de las emisiones de la industria y la minería.

Hay una probabilidad de que esto sea causado por mano inadvertida contaminación bucal mientras el niño juega en una ciudad, calle o en un barrio adyacente a las autopistas). Metales pesados pueden venir de muchas fuentes diferentes en áreas urbanizadas, una de las más importantes son las emisiones de vehículos.

Los individuos expuestos crónicamente al arsénico son susceptibles a arsenicosis y los síntomas son lesiones cutáneas, hiperkeratosis predominantemente en las palmas y plantas de los pies. Las enfermedades más comunes son vasculares, neuropatía periférica y diabetes puede ocurrir mellitus (Smith y col., 2002). La exposición crónica al arsénico

inorgánico se asocia con el desarrollo de enfermedad cardíaca y diabetes (Yoshida y col., 2004), cáncer en diferentes órganos como pulmones, piel, riñón y vejiga (Tseng y col, 2007). En el cuerpo humano el hígado es el principal lugar del metabolismo del arsénico y la ruta renal es la vía más importante de excreción (National Academic Press y col, 1999)

Con la creciente demanda de metales en las industrias y la rápida urbanización en muchas partes del mundo, la contaminación por metales en el medio terrestre ha generalizado en un contexto global, de la creciente contaminación por metales que perturbado gravemente el medio ambiente. Metales pesados en suelos urbanos han sido mostrados por ser muy útiles los trazadores de la contaminación ambiental.

Son los "receptores" de grandes cantidades de metales de diversas fuentes, incluidos desechos industriales, emisiones de vehículos, desechos de combustión de carbón, y otras actividades. En zonas como jardines públicos. Y los parques están expuestos a importantes niveles de contaminación, el polvo del suelo puede tener efectos tóxicos como consecuencia de la inhalación o ingestión por

Los seres humanos, en particular los niños, que plantea mayor riesgo para la salud. Además, cualquier contaminación de los suelos urbanos podría causar a su vez la contaminación del agua subterránea porque los metales de los suelos contaminados tienden a ser más móviles que los de los no contaminados.

El aumento de la población humana, la alta urbanización y la tasa de crecimiento industrial en la Ciudad de México lo ha convertido en uno de las zonas más densamente pobladas del mundo. La Ciudad de México y sus conurbaciones tienen una población de 20 millones en un área de solo 4700 km². El impacto antropogénico del crecimiento descontrolado afecta seriamente calidad del medio ambiente urbano y representa un riesgo de salud para el ser humano. La importancia ecológica de los metales pesados en los suelos está estrechamente relacionada con la salud humana debido a su alta transferencia ecológica potencial. Con frecuencia la concentración total de metales pesados en los suelos es reportado como un indicador de la calidad ambiental urbana, sin embargo, la gravedad de la contaminación no solo depende de la concentración del metal pesado presente en el suelo, como también en la proporción de su fuente y formas biodisponibles (Lu y col, 2005) (Watmough y col, 2005). La

importancia ecológica de los metales pesados en los suelos es muy relevante a la atención del gobierno y las autoridades reguladoras organismos preocupados por reducir el riesgo para la salud humana, asociado a la contaminación ambiental. Esto ha llevado al desarrollo y establecimiento de regulación legislativa con el propósito de controlar el riesgo asociado con el aumento excesivo de metales pesados en el medio ambiente.

Estos metales han estado entrando cada vez más en el entorno urbano durante los últimos años de polvo industrial y combustible quemado.

Las fuentes de metales pesados discriminan las contribuciones naturales y antrópicas, así como las fuentes puntuales y no puntuales de contaminación.

La contaminación por metales pesados es en gran parte atribuible a las actividades de los humanos, especialmente en el área de la minería. extracción y purificación de minerales generan grandes cantidades de residuos sólidos (también llamados relaves de mina) que degradan los suelos y los hacen no aptos para la agricultura. La minería contribuye en gran medida a la degradación del suelo al generar residuos que generalmente ocupan grandes áreas del suelo mismo.

Mucha basura minera aún contiene grandes cantidades de metales pesados que se mueven a través del ambiente en estados redox cambiados. Una vez en los suelos los metales pueden entrar en la cadena trófica a través de la acumulación en plantas, causando problemas de salud, ambiental y animal.

DISTRIBUCIÓN DE METALES PESADOS EN MÉXICO

México es uno de los países más afectados por la contaminación de metales de los suelos, especialmente en el estado de Zacatecas. El productor de plata más importante del país.

Minas de relaves del antiguo distrito minero de Zacatecas (ubicado en el municipio de Guadalupe, Zacatecas) fueron depositados en la Laguna de la Zacatecana desde el inicio del período colonial hasta principios del siglo XIX. Desde 1920 a 2010, procesamiento de relaves para la recuperación del mercurio también ocurrió. Desde entonces esta zona ha sido usada para la agricultura, especialmente para cultivar frijoles y maíz. Pero reportes de

acumulación de arsénico y plomo en tejidos de estas plantas han sido publicadas (A. Covarrubias y col,2018)

La EPA bajo la autorización de la Ley del Aire Limpio, clasifica al arsénico como un contaminante aéreo peligroso, y lo define como una sustancia que puede provocar una mortalidad creciente o enfermedades serias en seres humanos que hayan estado expuestos a nivel significativo de este contaminante (ATSDR) Agency for Toxic Substances and, 2007)

- En el año 1986, la EPA promulgó los Normas Nacionales para la Emisión de Contaminantes Peligrosos en el Aire. Estas normas aplican en 3 categorías de fuentes estacionarias, las cuales se sabe emiten arsénico inorgánico:
 1. fábricas de arsénico,
 2. fundidoras primarias de cobre, y
 3. Las fábricas donde se manufactura vidrio.
- No existe un estándar de aire ambiental (p. ej., no existe un límite general de contaminación aérea) para el arsénico (ATSDR) Agency for Toxic Substances and, 2007)

Tabla 2.3 Normas y regulaciones para el arsénico inorgánico

Organismo	Énfasis	Nivel	Comentarios
ACGIH	Aire – lugar de trabajo	10 microgramos/m ³	Advertencia; TLV/TWA†
NIOSH	Aire – lugar de trabajo	2 microgramos/m ³	Advertencia; límite tope de 15 minutos
OSHA	Aire – ambiente	10 microgramos/m ³	Norma; PEL en una jornada laboral de 8 horas
EPA	Aire – ambiente	NA	NA
	Agua – agua de bebida	10 partes por billón	Norma; nivel máximo de contaminante en los suministros públicos de agua potable
FDA	Alimentos	0.5-2 partes por millón	Norma; aplicable a los animales tratados con medicamentos veterinarios

- ACGIH = Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales

- EPA = Agencia de Protección del Medioambiente de EE. UU.
- FDA = Administración de Alimentos y Drogas de EE. UU.
- NIOSH = Instituto Nacional para la Seguridad y la Salud Ocupacional
- OSHA = Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de EE. UU

TLV/TWA (Valor Umbral Límite/Tiempo promedio ponderado) = concentración en un tiempo promedio ponderado, para una jornada laboral normal de 8 horas, o una semana laboral de 40 horas. Casi todos los trabajadores pueden estar expuestos a estas concentraciones.

PEL (Límite de Exposición Permisible) = Nivel más alto al que puede estar expuesto un trabajador durante una jornada laboral de 8 horas. **(Agencia de Sustancias Tóxicas, 2009)**

CONTAMINACIÓN DE SUELO

La contaminación del suelo es particularmente grave. Una encuesta nacional de calidad del suelo de 2014 reveló que el 16.1% del suelo de China excedió la calidad ambiental de los estándares establecidos **(MEP, 2014)**, siendo los metales pesados los más ampliamente distribuidos componentes de preocupación. En respuesta a lo social y medioambiental la presión asociada con la contaminación del suelo (Hou y col, 2018), el gobierno central chino publicó un "Plan de acción para la prevención de suelo y el control de la contaminación" (Hou y col., 2017)

Los metales pesados son constituyentes característicos de la corteza terrestre. Sin embargo, las actividades humanas han alterado significativamente el equilibrio y los ciclos bioquímicos y geoquímicos de algunos metales pesados esenciales.

La contaminación del suelo es uno de los problemas ambientales significativos. Hoy en día debido a la rápida urbanización. Podrían representar una seria amenaza para la humanidad y el medio ambiente debido a su toxicidad, comportamiento de persistencia y características de bioacumulación y bio-magnificación en los alimentos. La evaluación del suelo contaminado es una preocupación específica para las áreas agrícolas y no agrícolas.

La contaminación del suelo puede ser local o difusa, lo que podría ser un sumidero de metales pesados. La contaminación del suelo local en el área urbana se produce a través de

actividades industriales, emisión de tráfico, eliminación inadecuada de residuos, la combustión de combustible y las actividades mineras.

El suelo urbano es una parte crucial de los entornos urbanos que contribuye directamente o por implicación a la calidad de vida general de la ciudad.

Los residentes también es una parte clave del ciclo biogeoquímico, la filtración de agua, plantas y estructuras de soporte y numerosos ejercicios recreativos. Además, los metales pesados pueden ser transportados a una distancia mayor a través de partículas atmosféricas.

Del mismo modo, una porción de metales atmosféricos se puede intercambiar igualmente a los suelos por deposición atmosférica. De este modo, los suelos urbanos son los sumideros críticos y la fuente de contaminación de los metales pesados.

El metal pesado en suelos urbanos se ha visto como extremadamente indicadores importantes de contaminación ambiental. Un número de las investigaciones han detallado la contaminación mundial de metales pesados en suelos urbanos. Por ejemplo, Pb, Cu, Zn y Cd son algunos de los más contaminantes inorgánicos comúnmente estudiados en suelos urbanos, mientras que recibió menos atención más probablemente debido a limitaciones analíticas, A pesar de su gran preocupación por la salud pública. Así, entendiendo en los niveles de contaminación y la variación regional de los metales pesados en los diversos marcos ecológicos son vitales para el control de la contaminación y el desarrollo urbano.

El polvo doméstico es otro marco ecológico importante que es capaz de adsorber diferentes tipos de contaminantes debido a las grandes superficies. El polvo de la casa urbana sirve tanto como el fregadero como la fuente de contaminación de los metales pesados, que puede mostrar los atributos de distribución y acumulación de metales pesados en condiciones urbanas. Los contaminantes una vez adsorbidos al polvo; se vuelven no degradables o degradar a un ritmo moderadamente más lento que los adsorbidos en el polvo de exteriores.

Las velocidades de deposición de las partículas finas o pequeñas son relativamente más bajas que las de las partículas gruesas, y en consecuencia permanecen suspendidas en el aire por la mayor duración, lo que lleva a problemas de respiración humana. De esta

manera, el polvo del hogar es capaz de recoger diferentes contaminantes incluyendo los metales pesados y otros contaminantes comparativos. Contaminación de metales pesados en polvo doméstico es de especial preocupación ya que los individuos pasan periodos sustanciales de tiempo todos los días en condiciones interiores incluyendo hogares, lugares de trabajo, y escuelas. Por lo tanto, El análisis de metales pesados en polvo doméstico proporciona una información importante para evaluar la exposición crónica de la contaminación interior.

Crecimiento poblacional, deterioro de las condiciones ambientales y limitar los recursos ambientales para manejar las claves ambientales. Los problemas de salud han afectado significativamente el bienestar humano y la salud del medio ambiente.

CAPUTULO 3. METODOLOGIA

TECNICA DE MUESTREO

La Norma Oficial Mexicana NMX-AA-132-SCFI-2006 que marcan los lineamientos para el muestreo de suelos cuyo contenido de metales y metaloides requiere ser identificado y cuantificado en nuestro sitio de estudio, así como los criterios a tomar para un buen muestreo de las concentraciones de los tipos de metaloides en cada punto.

En esta norma se establece el plan de muestreo, especificaciones técnicas para la toma de las muestras, y el procedimiento para el manejo y control de las mismas. En ella se señala consideraciones generales para la preparación de las muestras y los procedimientos para la recepción, registro, secado, cribado, homogeneizado y cuarteo de las muestras así como el almacenamiento de los finos. Además, se establecen recomendaciones para evitar la contaminación de las muestras.

También la norma establece los diferentes tipos de muestreo, así como los métodos para determinar la localización y distribución de los puntos de muestreo. En él se incluyen especificaciones para obtener las muestras de suelo representativas para establecer la distribución horizontal de los metales y metaloides, y valorar su posible migración vertical a través de un muestreo preliminar denominado exploratorio. Asimismo, se establecen especificaciones para el muestreo de detalle, con el cual se deberá delimitar el área y estimar el espesor del suelo contaminado. También establece especificaciones para la toma de muestras de fondo y para realizar el muestreo de comprobación posterior a la remediación. Esta norma mexicana diferencia entre áreas urbanas o no urbanas. Con esta información se podrá determinar la presencia de metales y metaloides en el sitio.

El responsable del muestreo deberá integrar un documento que contenga la información y programación relacionada con cada una de las etapas que conforman el muestreo.

Material y equipo recomendado para la colecta de muestras

- Herramienta para la colecta de muestras de suelo en campo, fácil de limpiar, resistente al desgaste y que no contamine las muestras con impurezas.
- Envases con capacidad para contener al menos 500 g de muestra.
- Plumas, marcadores y etiquetas.
- Cinta métrica o flexómetro
- Cámara fotográfica.
- Libreta de campo.
- Plano, mapa o fotografía aérea de la zona de muestreo, con la
- ubicación tentativa de los puntos de muestreo.
- Instrumento que permita la ubicación de los puntos de muestreo.

Muestreo superficial

El muestreo se debe de realizar con una cuchara o espátula de acero inoxidable o plástico. En la presente campaña se utilizó material de plástico.

Muestreo vertical

El muestreo vertical se realiza a través de pozos que permitan obtener muestras para determinar el perfil del suelo a la profundidad proyectada.

Para el muestreo vertical se pueden utilizar excavaciones, que permitan el acceso de la persona que toma la muestra, o se pueden utilizar perforaciones para el hincado de un muestreador manual o mecánico que obtenga un núcleo que permita muestrear el perfil del suelo. Se debe tener precaución de utilizar perforadoras en buen estado que no provoquen contaminación.

Consideraciones para la toma de las muestras de suelo.

Se debe garantizar que la muestra obtenida sea de un tamaño tal que una vez tamizada contenga por lo menos 250 g de residuo fino para su análisis y que facilite y permita la preparación de muestras compuestas en el muestreo de detalle.

Se debe evitar que el equipo de muestreo provoque contaminación entre las diferentes muestras, para lo cual se deberá limpiar con una brocha o cepillo. En caso de que la limpieza no sea suficiente, será necesario lavar con agua, entre muestra y muestra, el equipo y los instrumentos de muestreo. Cuando se utilicen detergentes, éstos deben estar libres de fosfatos.

En el muestreo vertical, deben identificarse los diferentes horizontes que forman el suelo en función de su aspecto físico (color, textura, grado de compactación, entre otros). Para horizontes con espesor menor a 30 cm, debe tomarse una muestra de canal vertical abarcando todo el espesor del mismo. Para horizontes mayores a 30 cm deben tomarse tantas muestras de 30 cm como sean necesarias para cubrir el espesor total. Para profundidades mayores a 2 m el intervalo de muestreo deberá ser definido con su justificación correspondiente.

Se recolectaron un total de 34 muestras tomando en base las consideraciones descritas en la Norma Mexicana NMX-AA-132-SCFI-2006, cada muestra recolectada fue colocada en bolsas de polietileno, para que no interactuara con el medio ambiente al momento del traslado a laboratorio y que esta se viera afectada por otro factor externo al estudio. El equipo que se utilizó se verificó que no presentara alguna anomalía significativa al presente estudio, la cantidad recolectada de muestra fue a la consideración a tamizar. Cada muestra se tamizó diferentes tipos de malla hasta llegar a un diámetro de 43 μm .

Las muestras fueron etiquetadas de acuerdo al lugar que se tomaron las muestras y anotando sus coordenadas para asegurar la muestra y no tener interferencia con el resto de las muestras, las muestras fueron colocadas en un recipiente limpio y seco a temperatura ambiente después del etiquetado.

La Figura 3.1 muestra la localización de los puntos de muestreo en la comunidad de Araró, Michoacán.

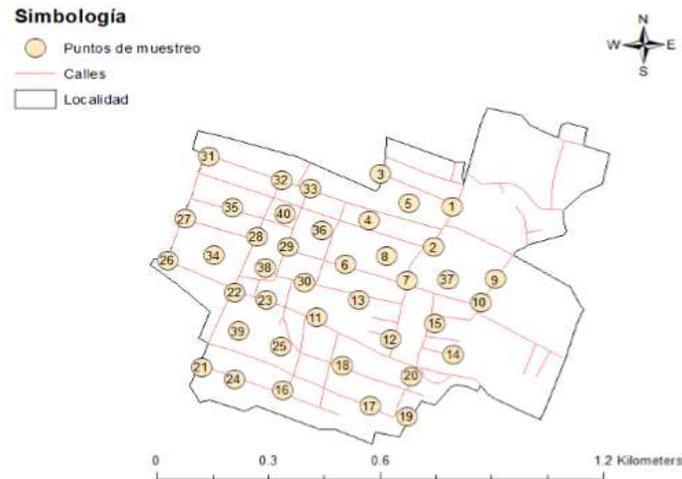


Figura 3.1 Puntos de muestreo en la localidad de Araró. (Figura elaborada por Alejandra Damayanti Aguilar Espinosa)

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

De los métodos existentes para realizar el análisis granulométrico, el más utilizado sea la tamización con tamices acoplados en cascada. Para realizarlo se coloca un juego de tamices en cascada, es decir, ordenados de arriba abajo por orden decreciente de luz o abertura de malla. El producto a analizar se añade sobre el primer tamiz, es decir aquel de abertura de malla mayor y se somete el conjunto a un movimiento vibratorio. (M. Safiur y col., 2018)

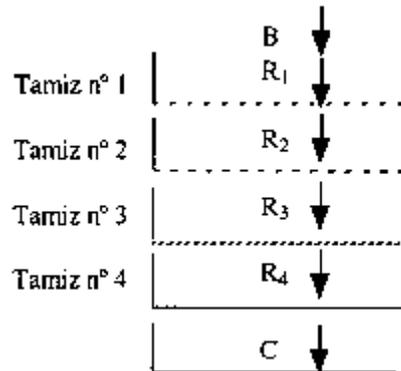
El producto a analizar o producto bruto, B, queda distribuido en diferentes fracciones según el tamaño de partícula denominándose:

- **RECHAZO:** Producto que queda sobre el tamiz.
- **CERNIDO:** Producto que atraviesa el tamiz.

En una tamización en cascada el cernido de un tamiz constituye la alimentación del siguiente, por tanto se obtienen tantos rechazos como tamices constituyan la cascada y un

solo cernido, constituido por el producto que atraviesa las mallas del último tamiz o tamiz de abertura de malla más pequeña.

Figura 3.2 Diagrama del método de tamizado



Teóricamente se debe cumplir que $B = C + R$, siendo B la cantidad a analizar o producto bruto, C el cernido y R la suma de todos los rechazos.

Equipo utilizado para tamizar

- **Tamices vibratorios**

Imprimen al proceso de tamizado mayor velocidad y ofrecen mayor rendimiento en la selección de partículas por tamaños. Hay tamices con vibración mecánica y otros con vibración eléctrica.

Existen una gran variedad de tamices: de rotación horizontal o vertical, tamices de movimiento oscilantes, de vibración electromagnética, cernidores centrífugos, entre otros.



Figura 3.3 Equipo para tamizar (Rotap)

Tipos de equipos utilizados en esta técnica

Los equipos con los cuales se realiza el procedimiento del tamizado son variados; incluyen rejillas, tambores, tamices con agitación mecánica, vibratorios y oscilantes.

Los instrumentos, máquinas o equipos pueden clasificarse dependiendo de si la superficie del tamiz presenta o no movimiento. Con base a este criterio, los equipos pueden ser fijos o móviles.

Entre los fijos están los equipos cuya superficie tamizadora se encuentra quieta, estática. Entre estos hay tamices de parrillas inclinadas, barras estacionarias y los formados por telas generalmente metálicas también estacionarias, entre otros.

Dentro de los clasificados como móviles están los tamices que presentan movimientos de vaivén, movimientos oscilatorios, rotativos y vibratorios.

El tamizado puede ser único, doble o múltiple. Existen diversos sistemas de tamizado: en paralelo o en línea, en serie o cascada.

A continuación, se realiza una breve descripción de algunos de los equipos o máquinas de tamiz o cribado empleadas con frecuencia.

- **Rejillas**

Formadas por barras de acero con espacios entre sí predeterminados, utilizadas para el tamizado de rocas o minerales antes de ser triturados.

Las rejillas pueden ser estacionarias, es decir, permanecen quietas y no necesitan de ningún mecanismo que las haga mover; o vibratorias, las cuales realizan el proceso de cribado con un movimiento hacia adelante y hacia atrás o circular, y necesitan por tanto de una fuerza mecánica.

- **Tambores**

Formados por un marco cilíndrico abierto en los extremos, rodean una tela de alambre o placas con orificios de determinado diámetro. Existen tambores de uso manual, otros que a nivel industrial pueden ser giratorios.

- **Tamices con agitación mecánica**

Formado generalmente por un marco rectangular que sostiene una tela, malla de alambre o placa perforada. Este tamiz se encuentra ligeramente inclinado, con un soporte de resortes flexibles que permiten la agitación.

Al terminar con los tamizados fueron colocados en bolsas de polietileno y con un sello más seguro, para que se enviaran analizar a Hermosillo y que cada muestra no se viera contaminada en el traslado.

TAMIZADO

El tamizado es un método de separación de partículas que se basa solamente en la diferencia de tamaño. En el tamizado industrial se vierten los sólidos sobre una superficie

perforada o tamiz, que deja pasar las partículas pequeñas, o “finos “, y retiene las de tamaños superiores, o “rechazos “. Un tamiz puede efectuar solamente una separación en dos fracciones. Estas fracciones de tamaño no especificado debido a que se conoce el límite superior o inferior del tamaño de las partículas que contiene, se desconocen su tamaño real.



Figura 3.3 Tamices

FUNDAMENTO TEÓRICO DE LA FLUORESCENCIA DE RAYOS-(WDFRX)

El fundamento de la Fluorescencia de rayos-X radica en la existencia de un sistema atómico con distintos niveles de energía y las posibles transiciones electrónicas entre ellos. La base de la técnica analítica de la Fluorescencia de rayos-X por dispersión en longitud de onda (WDFRX) es la medida de la energía de la radiación emitida en estas transiciones energéticas y es conocida como fluorescencia de rayos-X.

El fenómeno de fluorescencia de rayos-X se puede describir en dos etapas:

- **Excitación**
- **Emisión.**

Excitación: Si se considera un sistema en su estado fundamental, es decir de menor energía, al aplicarse una energía de una magnitud suficiente, ésta puede ser absorbida por el sistema, pasando éste a un estado de mayor energía o estado excitado debido a la salida de

electrones del átomo. A la excitación producida por rayos X que provienen del tubo de rayos-X, se le llama radiación primaria o fotones de rayos-X primarios.

Emisión: Los estados excitados son inestables, y el átomo tiende a volver a su estado fundamental, para lo cual se producen saltos de electrones desde los niveles más externos hacia los niveles más internos, para ocupar los huecos producidos. Este proceso produce desprendimiento de energía en forma de radiación de rayos-X secundaria llamada fluorescencia de rayos-X.

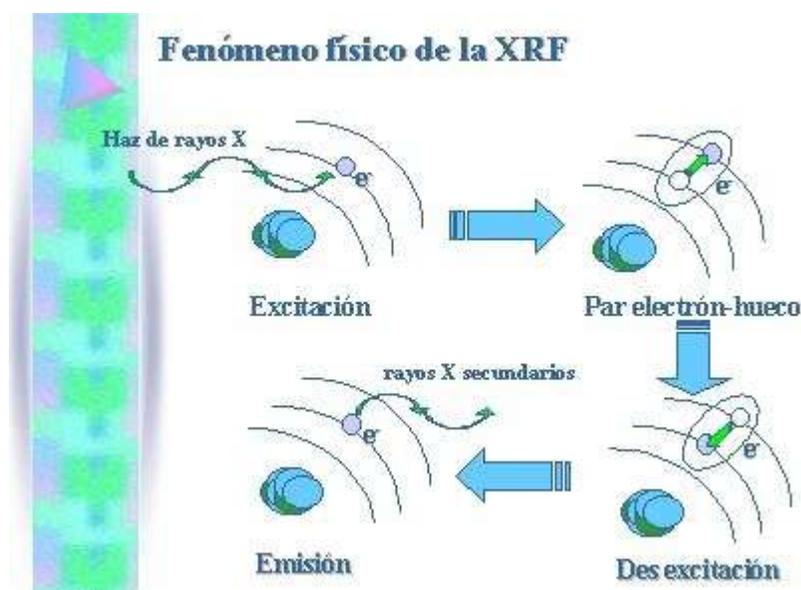


Figura 3.4 Ilustración de funcionamiento de la fluorescencia de rayos X.

Las muestras de suelo se analizarán con un Analizador Portátil de Fluorescencia de Rayos X, marcaNiton XL3t Analyzer, ThermoScientific,Inc., MA, USA, conforme al método 6200 de la Agencia del Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés).

El equipo arroja la concentración elemental, en unidades de $\mu\text{g/g}$ de muestra (ppm) de los siguientes elementos: Mo, Zr, Sr, SR, U, Rb, Th, Pb, As, Hg, Zn, W, Cu, Co, Fe, Mg, Cr, V, Ti, Sc, Ca, K, S, Sb, Cd, Ag, Nb e Y.

Modelo de Evaluación de RiesgoProbabilístico por ingesta de Polvos (EPA)

El modelo de evaluación de riesgos para la salud derivado del USEPA (Sistema Integrado de Información de Riesgos) se aplicó para calcular la ingesta de As, Cr, Mn y Pb de polvo para estimar la exposición al riesgo de cáncer no cancerígeno (crónica) y carcinogénica para niños por medio de partículas de polvo (Fracción de 44 μm (Agencia de Sustancias Tóxicas y el Registro de Enf, 2009) como sigue:

$$CDI_{ingestion} = [C \times IngR \times EF \times ED] / [BW \times AT] 10^{-6} \text{ ----- EC. (1)}$$

El potencial cociente de riesgo no carcinogénico (HQ) y los riesgos carcinogénicos se calcularon mediante las siguientes ecuaciones:

$$HQ_{ingestion} = \frac{CDI_{ingestion}}{RfD} \text{ ----- EC. (2)}$$

$$Carcino\ genic\ risk = CDI \times SF_0 \text{ ----- EC. (3)}$$

Donde HQ es una estimación de la exposición diaria a la población humana que probablemente no tendrá un riesgo apreciable de efectos perjudiciales durante toda la vida.

Se han notificado efectos respiratorios no cancerosos en poblaciones expuestas al arsénico en el agua potable (NCBI, 2001)

Donde:

CDI: representa la ingesta química diaria ($\text{mg kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$);

C: es la concentración media de metal (mg kg^{-1}) en las muestras de polvo, estimaciones conservadoras de la ingestión de polvo;

IngR: la ingestión de polvo para niños se eligieron en función de una tendencia central recomendada de 200 mg día^{-1} para la edad grupo de 6 a \ 21 años incluyendo suelo y asentamiento al aire libre polvo (USEPA 2009);

EF: frecuencia de exposición fue 255 días año⁻¹ suponiendo que el número promedio de días asistiendo a la escuela para niños en México;

ED: Tiempo de exposición (9 años) correspondiente a la edad promedio de estudiantes de tercer grado en México;

BW: peso corporal promedio de 15 kg para niños se supuso (USEPA 2009,2013);

AT: tiempo promedio se estimó como el ED 9 365 días para no carcinógenos y 70 9 365 días para carcinógenos.

Datos utilizados en el presente estudio.

Para el presente estudio se usaron datos conservadores de las tasas de ingestión de polvo (IngR) para los niños se seleccionaron según una tendencia central recomendada de 200 mg día⁻¹ (Garcia Rico, y col., 2016) para el grupo de edad de 6 a 21 años, incluido el suelo y el polvo asentado en exteriores. La frecuencia de exposición (FE) fue de 255 días año⁻¹, suponiendo que la cantidad promedio de días asistiendo a la escuela para niños en México. ED es la duración de la exposición (9 años) correspondiente a la edad promedio de los estudiantes de tercer grado en México. Se asumió un peso corporal promedio (BW) de 28.9 kg para niños(ENSANUT, 2016). El tiempo promedio (AT) se estimó como el ED 9 años de 365 días para los no carcinógenos.

Tabla 3.1. Factor de pendiente oral y dosis de referencia oral. (Aguilar Espinosa, 2019)

Analito	SFo (mg/kg-día) ⁻¹	RfD _o (mg/kg-día)
As	1.5E+00	3.0E-04
Co	-	3.0E-04
Cr	5.0E-01	3.0E-03
Cu	-	4.0E-02
Fe	-	7.0E-01
Hg (Cloruro de Mercurio)	-	3.0E-04
Mn	-	1.4E-01
Pb (Acetato de Plomo)	8.5E-03	-
V	-	5.0E-03
Zn	-	3.0E-01

En la Tabla 3.2 se presentan las concentraciones de referencia totales (CRT) de los elementos potencialmente tóxicos en estudio que se manejan en la Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, para suelos de uso agrícola, residencial o comercial. El CRT es la masa del elemento químico regulado por unidad de masa del suelo en estudio, por encima del cual se considera existe un riesgo de que se generen efectos adversos para la salud.

Tabla 3.2. Concentraciones de referencia totales para suelo de uso agrícola/residencial/comercial. (Aguilar Espinosa, 2019)

Contaminante	CR_T (mg kg⁻¹)
Arsénico	22
Cromo Hexavalente	280
Mercurio	23
Plomo	400
Vanadio	78

La Tabla 3.3 muestra los rangos de edades y el peso corporal en kilogramos obtenidos de la encuesta nacional de salud y nutrición del 2016. La población de estudio que se consideró fue los escolares de 6 a menores a 12 años.

Tabla 3.3 Rango de edades y peso corporal promedio (obtenidos de ENSANUT, 2016)

	Rango de edades (Años)	Peso corporal promedio (Kg)
Preescolares	1 – 5	12.716
Escolares	6 – 12	28.934
Adolescentes	13- 21	57.237
Adultos	22- 69	69.97

Capítulo 4: Resultados.

La Tabla 4.1 muestra los datos empleados para la evaluación de riesgo probabilístico, considerando una exposición.

Tabla 4.1 Resumen de datos empleados para la evaluación de riesgo

Frecuencia de exposición (días/año) Efr	365
Duración total de la exposición EDtot (años)	9
Ingestión de polvos (mg/kg)	200
Concentración de metal por porción MCS (µg/gr)	14
Dosis de referencial oral RfDo (mg, kg/día)	0.0003
Peso corporal, adulto niño BWa (kg)	28.934
Tiempo promedio de exposición a no carcinógenos (ATn *EDtot) (días)	3285

Los resultados del análisis elemental por FRX de los metales Pb, As, Hg, Zn, Cu, Co, Fe, Mn, Cr, V y Zr se muestran en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Concentración de los elementos potencialmente tóxicos en los 34 sitios de muestreo en la comunidad de Araró, Mich. En mg/Kg.

Sitio	Concentración del elemento potencialmente tóxico en mg/Kg										
	Ar	Co	Cr	Cu	Fe	Mo	Zr	Mn	Pb	V	Zn
1	6.74	185.30	94.16	941.47	33080.80	3.97	393.74	594.14	44.84	112.26	381.90
2	42.53	168.28	79.25	159.79	33843.63	2.78	320.39	727.94	0.00	102.58	119.27
3	9.37	163.00	79.37	491.70	32822.51	3.89	354.96	678.94	0.00	109.67	248.49
4	11.36	184.38	87.78	404.14	34948.69	5.85	321.44	668.92	0.00	105.55	214.37
5	9.96	227.34	66.91	97.42	42481.12	4.48	363.89	619.61	61.29	111.66	219.20
6	14.75	184.49	89.27	136.28	38549.97	5.85	423.05	827.79	91.52	101.85	147.11
7	15.07	190.81	63.26	373.54	34549.44	4.61	294.03	549.10	69.83	109.13	326.37
8	5.94	187.97	64.35	137.85	39399.40	3.12	275.50	590.29	82.22	108.87	190.55
9	10.90	109.39	67.95	166.25	19490.59	5.80	301.33	267.43	49.41	86.59	100.44
10	12.98	186.29	84.51	351.73	38439.23	3.38	450.71	797.72	44.82	130.62	236.97
11	24.77	149.91	76.84	603.74	31270.44	5.68	310.07	507.64	161.68	88.66	1021.67
12	12.33	158.66	73.48	105.10	30663.39	3.95	294.04	695.13	38.01	98.95	155.89
13	19.48	126.31	66.77	237.30	25486.09	4.95	233.83	405.49	59.86	84.24	189.16
14	19.26	154.98	83.98	155.72	33540.82	4.06	253.70	497.27	42.83	103.42	153.80
15	24.58	134.60	67.53	405.82	23668.11	9.42	190.87	326.68	140.50	64.15	261.85
16	14.15	0.00	58.29	310.06	20770.37	7.47	192.21	256.17	84.58	55.17	199.82
17	6.68	127.93	67.31	308.31	23117.60	3.27	279.68	283.04	36.86	78.12	138.17
18	21.57	201.09	76.62	312.81	33839.08	5.69	306.04	699.82	41.70	92.62	178.43

19	28.2 5	168.1 7	80.5 0	512.62	34387.3 2	7.9 2	271.6 0	587.42	119.0 9	87.82	562.25
20	18.3 9	110.0 8	33.0 0	195.55	21748.7 1	2.6 6	191.3 0	359.96	0.00	81.00	184.93
21	18.5 6	120.1 3	50.6 5	853.09	23554.0 4	3.4 9	264.4 1	411.63	43.45	77.89	352.89
22	9.28	180.5 1	64.3 4	65.18	33976.2 5	2.7 6	320.0 6	634.61	0.00	115.5 0	137.10
23	8.59	116.5 8	65.2 8	300.55	21732.3 4	3.0 7	241.1 2	399.19	68.64	65.30	331.77
24	9.87	160.8 7	74.9 5	218.09	29681.2 2	3.7 9	421.3 7	616.34		91.40	158.36
25	11.8 6	140.7 9	71.4 0	1101.3 6	29130.2 7	4.4 0	287.9 5	635.08	54.54	96.59	457.49
26	14.1 8	130.7 9	62.1 2	389.37	24805.2 6	3.9 4	283.2 4	488.39	49.36	87.84	275.12
27	16.1 0	144.9 2	76.3 0	79.88	29852.6 5	3.3 2	326.4 0	563.56	41.41	102.4 4	155.50
28	17.1 4	176.1 3	55.1 8	69.39	31226.9 3	3.4 6	257.1 1	726.98		99.60	117.26
29	15.3 2	199.1 3	73.6 5	76.67	43252.7 6	4.8 7	263.4 8	984.78	43.18	114.9 6	276.43
30	38.0 0	203.6 6	95.7 7	164.66	38994.1 1	3.9 8	259.6 2	1188.5 3	0.00	127.7 6	151.60
31	10.2 4	173.6 0	83.8 3	206.38	31505.2 8	5.2 6	404.4 5	739.04	0.00	107.7 0	158.45
32	11.2 1	119.4 0	53.5 8	566.26	22044.7 4	2.9 1	227.2 6	398.98	64.69	72.20	345.07
33	10.6 5	152.1 0	79.6 7	533.60	32436.6 6		386.2 8	619.19	0.00	98.50	229.83
34	10.2 8	203.4 9	79.5 5	212.66	40682.1 6		316.0 8	661.65	0.00	131.3 2	166.17
Promedio	15.6 0	157.0 9	71.9 8	330.72	31146.2 3	4.5 0	302.3 9	588.48	47.95	97.12	251.29
Desviación estándar	8.27	41.47	13.0 9	253.40	6602.44	1.5 9	66.97	200.10	41.59	18.36	170.77
Mínimo	5.94	0.00	33.0 0	65.18	19490.5 9	2.6 6	190.8 7	256.17	0.00	55.17	100.44
Máximo	42.5 3	227.3 4	95.7 7	1101.3 6	43252.7 6	9.4 2	450.7 1	1188.5 3	161.6 8	131.3 2	1021.6 7

En el caso de arsénico, el promedio encontrado coincide con el trabajo de García-Rico y colaboradores en el 2016, quienes muestrearon suelo de lugares de juego para niños y calles en la ciudad de Hermosillo Sonora, quienes reportaron concentraciones promedio de 16.4 mg/Kg. En el mismo trabajo se reportan concentraciones para Cr, Mn y Pb de 161.6, 586.8, 55.9 mg/Kg respectivamente.

E 15% de los valores medidos para arsénico en los 34 sitios exceden la Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Por otro lado el 85% de mediciones para plomo exceden la norma. Cromo y Manganeso no excedieron la norma en ninguno de los sitios.

Una vez realizado el análisis de riesgo mediante la metodología propuesta en el capítulo 3, los resultados se muestran en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4 Resumen de resultados. Concentración del metal promedio (C, mg/Kg), Toma Crónica Diaria (DCI, mg kg⁻¹ día⁻¹), Cociente de riesgo (HQ, adimensional) y Riesgo de cáncer (R, adimensional).

Metal o Metaloide	C (mg/Kg)	CDI (mg kg ⁻¹ día ⁻¹)	HQ	R
As	15.59784314	0.000107817	0.359389026	1.61725x10 ⁻⁴
Co	157.0898039	0.001085849	3.619497337	N/A
Cr	71.98254902	0.000497564	0.165854586	2.48782x10 ⁻⁴
Cu	330.7161765	0.002286004	0.057150096	N/A
Fe	31146.23441	0.215291591	0.307559415	N/A
Mn	588.4845098	0.004067772	0.029055511	N/A
Pb	47.9478125	0.000311933	N/A	2.65143x10 ⁻⁶
V	97.11509804	0.000671287	0.134257411	N/A
Zn	251.2851961	0.001736954	0.005789848	N/A

Mo	4.571673669	2.98451E-05	0.005969022	N/A
Zr	300.2209537	0.002075212	25.94015291	N/A

Los únicos metales pesados que resultaron con $HQ > 1$ fueron el Cobalto y el Zirconio. Esto indica que la ingesta de polvos puede ocasionar daño a la salud por estos dos metales, aunque no está reportado el desarrollo de cáncer. El valor de HQ del Zirconio es alto, aunque la literatura lo ubica como un metal de baja toxicidad.(Lenntech Water Treatment solutions, 2020).

El resto de los metales presentaron $HQ < 1$ en lo individual, aunque en efecto combinado, el peligro acumulado HI toma valores de 4.7. (Excluyendo al Zr). En cuanto al riesgo de contraer cáncer, hay que prestar atención en el arsénico y el cromo, debido a que valores en el orden de 10^{-4} amerita estudios epidemiológicos en la zona de estudio.

Cabe mencionar que el HQ calculado es únicamente el correspondiente a la ingesta de polvos, se sabe que la ingesta de agua, para el caso de arsénico, es la ruta con mayor riesgo a la salud, por lo que falta complementar este estudio con un análisis de riesgo probabilístico a la salud, incluyendo la ingesta de agua (García Rico y col., 2016)

Capítulo 5. Conclusión

Este es el primer estudio reportado en la zona de estudio para exposición de arsénico y metales pesados contenidos en polvos en la zona de estudio. Los resultados muestran niveles aceptables de riesgo, excepto para Cobalto y Zirconio. El arsénico mostró valores de $HQ < 1$ pero con valor de 0.36, el cual tiene que complementarse con la ingesta de arsénico en agua repostada en la zona de estudio.

En cuanto al riesgo de contraer cáncer, los resultados indican que es necesario realizar estudios epidemiológicos en el Arsénico y el Cromo, en la zona de estudio para relacionar la causa-efecto de diversos tipos de cáncer.

ANEXOS

ANEXO 1

Tabla A.1 Coordenadas de los puntos de muestreo

1	1954'47.73"N	10049'17.45"O
2	1954'43.69"N	10049'19.12"O
3	1954'50.89"N	10049'24.14"O
4	1954'46.27"N	10049'25.17"O
5	1954'48.00"N	10049'21.53"O
6	1954'41.92"N	10049'27.27"O
7	1954'40.37"N	10049'21.59"O
8	1954'42.78"N	10049'23.52"O
9	1954'40.63"N	10049'13.42"O
10	1954'38.33"N	10049'14.75"O
11	1954'36.65"N	10049'29.95"O
12	1954'34.60"N	10049'23.00"O
13	1954'38.40"N	10049'26.06"O
14	1954'33.18"N	10049'17.19"O
15	1954'36.15"N	10049'18.94"O
16	1954'29.52"N	10049'32.92"O
17	1954'28.00"N	10049'24.84"O
18	1954'31.99"N	10049'27.47"O
19	1954'27.03"N	10049'21.40"O
20	1954'30.98"N	10049'21.08"O

21	1954'31.66"N	10049'40.49"O
22	1954'39.02"N	10049'37.51"O
23	1954'38.36"N	10049'34.56"O
24	1954'30.47"N	10049'37.45"O
25	1954'33.82"N	10049'33.16"O
26	1954'42.08"N	10049'43.76"O
27	1954'46.24"N	10049'42.19"O
28	1954'44.57"N	10049'35.46"O
29	1954'43.61"N	10049'32.60"O
30	1954'40.13"N	10049'31.05"O
31	1954'52.42"N	10049'40.10"O
32	1954'50.18"N	10049'33.29"O
33	1954'49.34"N	10049'30.59"O
34	1954'42.71"N	10049'39.44"O
35	1954'47.39"N	10049'37.81"O
36	1954'45.22"N	10049'29.52"O
37	1954'40.51"N	10049'17.79"O
38	1954'41.52"N	10049'34.74"O
39	1954'35.27"N	10049'37.11"O
40	1954'46.78"N	10049'32.94"O

ANEXO 2

Tabla A.2 Concentración de metales pesados en distintos lugares

Lugar	Pb	As	Hg	Zn	Cu	Mn	Cr	Co	Fe	V
Morelia	(66.71, 54.54, 33.5941), (34.91, 5944.4)	(15.5978, 13.565, 8.2691), (5.17, 1794.54)	(6.8675, 6.8675, 1.0320), (5.32, 35.68)	(251.2851, 195.183, 170.7679), (95.77, 4537.86)	(330.7161, 268.921, 253.4023), (61.44, 3849.98)	(588.4845, 605.241, 200.1044), (252.32, 2229.92)	(71.9825, 73.566, 13.0854), (26.73, 100.23)	(161.8501, 163, 31.2913), (95.85, 269.29)	(31146.2344, 31970.9667, 6602.4373), (19466.36, 48863.31)	(97.1150, 99.276, 18.3622), (12.09, 145.05)
Nepal	(ND, 137, 59.8), (59.8, 294)	(ND, 4.5, 5.7), (1.5, 27.7)		(ND, 1020, 812), (606, 4260)	(ND, 277, 163), (132, 1010)	(ND, 1870, 683), (606, 3360)	(ND, 309, 55.2), (135, 393)	(ND, 46, 9.3), (19.5, 59.4)	(ND, 1190, 275), (19.5, 59.4)	
Beijing	(33.58, 27.48, 40.39), (12.28, 326.3)	(15.55, 15.53, 2.24), (10.73, 20.73)			(43.41, 40.59, 17.61), (21.29, 155.3)	(600, 588.7, 112), (425.7, 1084)	(54.69, 53.38, 12.18), (32.18, 105)	(12.61, 12.20, 2.62), (7.60, 21.60)	(27738, 26780, 4604), (18640, 46380)	(110.7, 106.9, 16.30), (85.15, 192.9)
Dhaka, Bangladesh	(18.99, 16.19, 8.97), (9.07, 43.19)	(8.09, 8.21, 1.75), (5.16, 11.74)		(239.16, 196.89, 143.92), (107.56, 683.23)	(49.68, 49.72, 12.61), (30.23, 74.44)	(8.09, 8.21, 1.75), (5.16, 11.74)	(144.34, 138, 26.14), (108.09, 199.42)			
Mexico City	(ND, 82, ND), (5, 452)			(ND, 219, ND), (36, 1641)	(ND, 54, ND), (15, 398)		(ND, 116, ND), (50, 265)			(ND, 97, ND), (50, 179)
Hong Kong	(88.1, 70.6, 62), (ND)			(103, 78.1, 91.3), (ND)	(16.2, 10.4, 22.6), (ND)		(17.8, 16.8, 5.92), (ND)			
Delta region, Egypt	(307, ND, 184), (174, 710)	(6.53, ND, 1.2), (5.09, 8.85)		(1839, ND, 2866), (236, 8153)	(102, ND, 64.6), (56.0, 242)	(503, ND, 56.7), (398, 568)	(85.7, ND, 29.7), (58.8, 149)		(32050, ND, 7009), (21531, 38540)	(71.7, ND, 23.6), (38.9, 102)
Greater Toronto Area in Canada	(182.8, ND, ND), (32.5, 378.7)			(232.8, ND, ND), (39.3, 1367.8)	(162.2, ND, ND), (53.9, 392.1)	(1407.2, ND, ND), (100, 3125)	(197.9, ND, ND), (57.3, 558)		(48234.5, ND, ND), (1474, 70050)	
Shiraz, Irán	(115.71, 103.9, 56.26), (36.8, 234.29)	(6.58, 6.50, 0.81), (5.3, 8.6)	(1.05, 0.61, 1.21), (0.004, 4.504)	(403.46, 394.7, 180.55), (160.9, 778.3)	(136.34, 136.07, 51), (49.81, 232.5)	(438.5, 434.5, 73.23), (245, 652)	(67.16, 66.8, 12.86), (31.6, 105.9)		(20254.6, 19700, 2636.3), (16300, 24900)	
Hermosillo, Sonora	(36.15, ND, ND), (ND)			(387.98, ND, ND), (ND)	(26.34, ND, ND), (ND)		(11.15, ND, ND), (ND)	(2.21, ND, ND), (ND)		(6.87, ND, ND), (ND)
Chenzhou City, Southern China										

ANEXO 3**Tabla A.3** Muestras tamizadas con la malla 35 y 60.

Numero de muestra tamizada	Numero de muestra/ malla 35	Numero de muestra/ malla 60
1	0.008	0.021
2	0.025	0.017
3	0.005	0.01
4	0.016	0.027
7	0.005	0.015
8	0.012	0.025
9	0.002	0.011
10	0.004	0.018
12	0.016	0.026
14	0.005	0.017
15	0.014	0.025
16	0.02	0.026
17	0.013	0.023
18	0.015	0.022
19	0.015	0.022
20	0.017	0.025
21	0.023	0.024
22	0.021	0.026
23	0.012	0.019

24	0.012	0.024
25	0.013	0.021
27	0.008	0.012
28	0.012	0.019
29	0.01	0.022
30	0.01	0.02
32	0.028	0.038
33	0.009	0.019
34	0.009	0.023
35	0.013	0.022
36	0.026	0.026
37	0.011	0.017
38	0.02	0.029
39	0.026	0.035
40	0.014	0.036

ANEXO 4

Tabla A.4 Muestras tamizadas con la malla 325 parte superior y parte inferior.

Numero de muestra/ malla 325 (parte superior)	Numero de muestra/ malla 325 (parte inferior)
0.047	0.003
0.029	0.007
0.025	0.006
0.031	0.001
0.058	0.005
0.041	0.003
0.059	0.01
0.054	0.008
0.034	0.005
0.078	0.019
0.065	0.009
0.045	0.016
0.058	0.015
0.052	0.019
0.043	0.01
0.055	0.012
0.049	0.013
0.045	0.017

0.059	0.013
0.058	0.019
0.046	0.014
0.076	0.019
0.058	0.024
0.072	0.009
0.059	0.018
0.036	0.008
0.064	0.018
0.061	0.015
0.057	0.019
0.042	0.014
0.063	0.018
0.049	0.011
0.037	0.01
0.116	0.0038

ANEXO 5



Figura A.1 Ubicación de la localidad de Araró con respecto a la carretera Guadalajara - Atacomulco.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (ATSDR) Agency for Toxic Substances and. (2007). *(ATSDR) Agency for Toxic Substances and Disease Registry*. Recuperado el 20 de Julio de 2020, de Toxicological Profile for Arsenic: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp2.html>.
- A. Covarrubias, S., Flores de la torre, J. A., Maldonado Vega, M., Avelar Gonzalez, F. J., & Peña Cabriales, J. J. (2018). Spatial Variability of Heavy Metals in Soils and Sediments of " La Zacatecana "Lagoon, Mexico. *Hindawi*, 8.
- Agencia de Sustancias Toxicas. (1 de Octubre de 2009). *Agencia de Sustancias Toxicas y el Registro de Enfermedades*. Recuperado el 21 de Julio de 2018, de Agencia de Sustancias Toxicas y el Registro de Enfermedades: https://www.atsdr.cdc.gov/es/csem/arsenic/docs/arsenic_csem_spanish.pdf
- Agencia de Sustancias Toxicas y el Registro de Enf. (2009 йил 1-October). *Agencia de Sustancias Toxicas y el Registro de Enfermedades*. Retrieved 2018 йил 21-Julio from Agencia de Sustancias Toxicas y el Registro de Enfermedades: https://www.atsdr.cdc.gov/es/csem/arsenic/docs/arsenic_csem_spanish.pdf
- Agencia para sustancias toxicas y el registro de enfermedades (ATSDR)*. (2019 йил 11-Abril). Retrieved 2020 йил 22-Enero from Agencia para sustancias toxicas y el registro de enfermedades (ATSDR): https://www.atsdr.cdc.gov/es/training/toxicology_curriculum/modules/3/es_lecturenotes.html
- Agencia para sustancias toxicas y el registro de enfermedades*. (2007 йил 13-October). Retrieved 2020 йил 22-Enero from https://www.atsdr.cdc.gov/es/csem/arsenic/docs/arsenic_csem_spanish.pdf
- Aguilar Espinosa, A. D. (2019). *ANÁLISIS DE FUENTES DE METALES PESADOS EN SUELOS DE UNA COMUNIDAD RURAL ALEDAÑA AL LAGO DE CUITZEO, USANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y ESTADÍSTICA MULTIVARIADA*. Morelia, Michoacán: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Armienta, M., & Segovia, N. (2008). Arsenic and Fluoride in the groundwater of Mexico. *Environmental Geochemistry and Health*, 345 - 353.
- Bhattachavaya, S., Gupta, K., Debnath, S., Ghosh, U., Chattopadhyay, D., & Mukhopadhyay. (2012). Arsenic Bioaccumulation in rice and edible plants and subsequent transmission through food chain in Bengal basin: a review of the prespective for environmental health. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 429 - 441.
- C. Reyes, y., Vergara, I., E. Torres, O., Diaz, M., & E. Gonzalez, E. (Julio). Heavy metals contamination: implications for health and food safety. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 66 - 77.
- Celik, I., Gallicchio, L., Boyd, K., Lam, T. K., Matanoski, G., Tao, X., . . . Alberg, A. J. (Mayo de 2008). Arsenic in drinking water and lung cancer: A systematic review. *Environmental Research*, 48-55.

- Del Razo, L., Corona, J., García-Vargas, G., Albores, A., & Cebrián, M. (1993). Fluoride levels in well-water from a chronic arsenicism area of Northern Mexico. *Environmental Pollution*, 91-94.
- depa.fquim.unam.mx. (2018 йил 2-Febrero). Retrieved 2018 йил 21-Julio from depa.fquim.unam.mx: <http://depa.fquim.unam.mx/procesos/PDF/ProcesosI.pdf>
- ENSANUT. (2016). <https://ensanut.insp.mx/>. Obtenido de Encuesta Nacional de Salud y Nutrición.
- Galetovic Carabantes, A., & A.G.G de Fernicola, N. (2003). Arsénico en el agua de bebida: un problema de salud pública. *Revista Brasileira de ciencias farmaceuticas*, 39, 4.
- Garcia Rico, L., Meza Figueroa, D., Jay Gandolfi, A., Del Rio-Salas, R., M. Romero, F., & Meza-Montenegro, M. M. (2016). Dust–Metal Sources in an Urbanized Arid Zone: Implications. *Arch Environ Contam Toxicol*, 70, 522 - 533.
- Gonzalez, R., Mendez, P., A., C., Guitierrez, R., D, A., & Garcia, P. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 29 - 44.
- Health Effects of Arsenic; Arsenic in Drinking Water, National Academic Press. (1999). *Washington DC.*, pp. 83 - 149.
- Hou, D., Li, G., & Nathanail, P. (2018). An Emerging Market for Ground Water Remediation in china, Policies, Statistics and Future Outlook. *Front Environ, Sci Eng 12*;
- Hou, D., O'Connor, D., Nathanail, P., Tian, L., & Ma, Y. (2017). Integrated GIS and Multivariate Statical Analysis for Regional Scale Assessment of Heave Metal Soil Contamination a Critical Review. *Environ. Pollut 231*;, 1188 - 1200.
- <http://fluorescentes.net/fluorescencia-rayos-x/>. (2020). <http://fluorescentes.net/fluorescencia-rayos-x/>. Obtenido de <http://fluorescentes.net/fluorescencia-rayos-x/>
- <https://www.cmic.org.mx/>. (2006). <https://www.cmic.org.mx/>. Recuperado el 23 de Julio de 2019, de <https://www.cmic.org.mx/>: https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/medioambiente/Varios/Leyes_y_Normas_SEMARNAT/NMX/Contaminaci%C3%B3n%20del%20Suelo/2.2006.pdf
- International Congress Mexico City, 2.-2. J. (2006). *International Congress Mexico City, 20-24 June 2006 Natural Arsenic in Groundwaters of Latin America*. MEXICO: Natural Arsenic in Groundwaters of Latin America.
- Israde - Alcantara, I., & Garduño-Morroy, V. (1999). La caustrine record in a volcanic intra-arcsetting. The evolution of the late Neogene Cuitzeo basin systeme (Centro wester Michoacan, Mexico). (209-227).
- Lenntech Water Treatment solutions. (2020). *Lenntech Water Treatment solutions*. Obtenido de <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/zr.htm>
- Lu, Y., Zhang, G., Gong, Z., & Burghard, T. (2003). Concentrations and Chemical Speciations of Cu, Zn, Pb and Cr of Urban Soils in Nanjing,China. *Geoderma 115*,, 101-111.

- Lu, Y., Zhang, G., Gong, Z., & Burghardt, w. (2003). Concentrations and chemical speciations of Cu, Zn, Pb and Cr of urban soils in Namjing, China. *Geoderma 115*, 101 - 111.
- Lugares que ver. (2019 йил 1-Новiembre). *Lugares que ver*. Retrieved 2018 йил 21-Julio from Lugares que ver: <https://lugaresquever.com/araro>
- M. Safiur, R., M.D.H, K., Y.N., J., J., K., S., A., & A., S. (2018). Assessing risk to human health for heavy metal contamination through. *ELSEVIER*, 1 - 13.
- MEP, 2. (2014). National Soil Contamination Suruey Report. *Ministry of Environmetal protection, Beijing, China*.
- Metales pesados en suelos y polvos. (1 de Noviembre de 2016). *Metales pesados en suelos y polvos en ambientes urbanos, rurales y mineros*. Recuperado el 21 de Julio de 2018, de Metales pesados en suelos y polvos en ambientes urbanos, rurales y mineros.: <https://www.ugm.org.mx/publicaciones/geos/pdf/geos16-1/sesionesespeciales/SE05-36-1.pdf>
- Morton - Bermea, O., Hernandez - Alvarez, E., Gonzalez - Hernandez, G., Romero, F., Lozano, R., & Beramendi - Orosco, L. (2009). Assessment of heavy metal pollution in urban topsoils from the metropolitan area of Mexico City. *Journal of Geochemical Exploration 101.*, 218 - 224.
- NCBI. (2001). Recuperado el 29 de Marzo de 2020, de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK223678/>
- NCBI. (2001). Retrieved 2020 йил 29-Marzo from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK223678/>
- Organización Mundial de la Salud. (2004). *Organización Mundial de la Salud*. Recuperado el 20 de Julio de 2019, de Organización Mundial de la Salud: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3/en/
- Organización Mundial de la Salud. (2008 йил 15-Febrero). *Organización Mundial de la Salud*. Retrieved 2018 йил 3-Julio from www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic
- Organizacion Mundial de la Salud. (2018 йил 15-Febrero). *Organizacion Mundial de la Salud*. Retrieved 2018 йил Marzo-Julio from [Organizacion Mundial de la Salud: https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic)
- Paez, S. (2008). " Evaluacion de la concentracion de As y calidad del agua subterranea en funcion de su manejo en la cuencca de cuitzeo, Michoacan". *Tesis de licenciatura, Facultad de biologia, Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo, Morelia, Michoacan, Mexico.*, 74.
- Rahman, M., Tondel, M., Ahmad, S., & Axelson, O. (1998). Diabetes Mellitus associated with arsenic exposure in Bangladesh. *American Journal of Epidemiology*, 198 - 203.
- Revista ciencia. (1 de Abril de 2010). *Revista ciencia*. Recuperado el 21 de Julio de 2018, de [Revista ciencia: https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/61_2/PDF/EnergiaGeotermica.pdf](https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/61_2/PDF/EnergiaGeotermica.pdf)

- Roy, P., & Saha, A. (2002). Metabolism and toxicity of arsenic. *A human carcinogen current science*, 38 - 45.
- Santos, I., Silva-Filho, E., Schaefer, E., Albuquerque - Filho, M., Lucia, S., & Campos, L. (2005). Heavy Metal Contamination in Coastal Sediments and Soils Near the Brazilian Antarctic Station, King George Island. *Marine Pollution Bulletin* 50., 185-194.
- Simeonova, P., Wang, S., Hulderman, T., & Luster, M. (2002). Dependent Activation of the Epidermal Growth Factor Receptor and Mitogenactivated Protein Kinase Pathway by Arsenic Role in Carcinogenesis. *Journal of Biological Chemistry*, 2945 - 2950.
- Smith, A., Bates, M., Lopipero, P., & Steinmaus, C. (2002). Public Health - Arsenic Epidemiology and Drinking Water Standards. *Science* 296(5576), 2145 - 2146.
- studylib.es. (n.d.). Retrieved 2019 йил 23-Юли from <https://studylib.es/doc/6298892/fundamento-te%C3%B3rico-de-la-fluorescencia-de-rayos-x---ier-unam>
- Tseng, C. (2007). Arsenic Methylation urinary Arsenic Metabolites and Human Diseases:. *Environ Sci Health Part c* 25 (1):, 1 - 22.
- Vazquez Vazquez, M. d., Cortez Martinez, R., & Cuevas Villanueva, R. A. (2015). Arsenic occurrence and water quality in recreational thermal springs at Araro, Mexico. *International Journal of Science and Technology*, 5, 1-5.
- Vazquez Vazquez, M. d., Cortez Martinez, R., & Cuevas Villanueva, R. A. (2015). Arsenic occurrence and water quality in recreational thermal springs at Araro, Mexico. *International Journal of science and Technology*, 5, 1.
- Watmough, S., Dillon, P., Ekaterina, N., & Epova, E. (2005). Metal Partitioning and Uptake in Central Ontario Forests. *Environmental Pollution* 134;, 493-502.
- Weather Spark. (2018 йил 25-Май). *Weather Spark*. Retrieved 2018 йил 21-Юли from Weather Spark: <https://es.weatherspark.com/y/4858/Clima-promedio-en-Zinap%C3%A9cuaro-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Yoshida, T., Yamauchi, H., & Fan Sun, G. (2004). Chronic Health Effects in People Exposed to Arsenic Via the Drinking Water: Dose response relationships in review. *Toxicol Appl Pharmacol* 198:, 243 - 252.