



REVISIÓN DE ALCANCE SOBRE EL IMPACTO AMBIENTAL, ECONÓMICO Y DE
SALUD PÚBLICA DEL ARSÉNICO, 2011 A 2021.

LINA DANIELA CORTES CORTES

Investigadora Principal

MARCELA EUGENIA VARONA URIBE

Tutor Metodológico y temático

MAGÍSTER EN SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO

UNIVERSIDAD DEL ROSARIO

Título Otorgado

2022

Año de Publicación

REVISIÓN DE ALCANCE SOBRE EL IMPACTO AMBIENTAL, ECONÓMICO Y DE
SALUD PÚBLICA DEL ARSÉNICO, 2011 A 2021.

LINA DANIELA CORTES CORTES

Investigadora Principal

MARCELA EUGENIA VARONA URIBE

Tutor Metodológico y temático

ESCUELA DE MEDICINA Y CIENCIAS DE LA SALUD
MAESTRIA EN SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO
UNIVERSIDAD DEL ROSARIO

Bogotá, DC

2022

REVISIÓN DE ALCANCE SOBRE EL IMPACTO AMBIENTAL, ECONÓMICO Y DE SALUD PÚBLICA DEL ARSÉNICO, 2011 A 2021.

Nombre de Estudiante:

Lina Daniela Cortés Cortés

Resumen

Introducción: Los metales pesados presentes naturalmente en el suelo, la tierra y el agua han sido investigados, hace años, con el fin de conocer los efectos que generan en la salud de humanos y animales. El Arsénico puede concentrarse en alimentos como los mariscos y hace parte de productos químicos como insecticidas, llegando a través de los alimentos, el agua y el suelo contaminados a la población general, produciendo efectos sobre la salud, la economía y el bienestar público.

Objetivo: Evaluar el impacto ambiental, económico y de salud pública generado por el arsénico a partir de una revisión de alcance de la literatura del 2011 al 2021.

Materiales y métodos: se llevó a cabo una revisión de 206 artículos científicos, haciendo uso de descriptores de la salud utilizando términos MeSH en las bases de datos Springer Nature Journals, ScienceDirect y Scopus, **de los últimos** 10 años desde su publicación, en idioma inglés y español, nacionales e internacionales.

Resultados: el arsénico impacta de forma directa en las propiedades microbianas del suelo, genera ecotoxicidad y es el factor determinante (en suelo contaminado o regado con agua contaminada) para establecer el bajo crecimiento de las plantas y líquenes, así como otro tipo de elementos de consumo humano. Sus efectos en salud se relacionan con hidroarsenicismo crónico, arsenicosis, efectos carcinogénicos e insuficiencia renal crónica y en la población infantil desencadena efectos en el coeficiente intelectual durante el desarrollo.

El problema económico producto de las altas concentraciones de arsénico, por una parte, afecta al agricultor, pues está demostrado que su presencia en cultivos genera menor crecimiento de las plantas y siembras más lentas, pequeñas y de baja calidad que no le permiten al productor recuperar lo invertido; e impacta en salud, al retirar de la fuerza laboral un gran número de personas por la falta de condiciones médicas para trabajar.

Conclusión: se evidencia la necesidad de explorar en Colombia los efectos del arsénico en la economía, el medio ambiente y la salud pública y no solo dirigir esfuerzos a mediciones de concentración que no completan el ciclo investigativo, siendo prioritario evaluar las consecuencias de las altas concentraciones de este metal.

Introducción:

Los niveles o concentraciones de Arsénico en el mundo han sido ampliamente estudiados por la presunción de negatividad ante su aparición, no en vano existen un sin número de investigaciones que abordan el tema científicamente, ampliando su interés hasta los efectos que puede producir en la salud de las personas. Ahora bien, existen estudios que se orientan a su efecto medio ambiental y de salud pública, sin embargo, en Colombia no se han hecho exploraciones sobre dichos efectos y aún menos sobre las consecuencias directa o indirectas que todo el proceso puede causar en la economía del sector agro, el impacto en la salud pública y el medio ambiente generado por diferentes actividades antrópicas.

Las principales fuentes de contaminación del suelo por metales pesados y metaloides incluyen los desechos municipales, los efluentes industriales, los fertilizantes químicos y los plaguicidas. El riego con agua subterránea y de río contaminada también es responsable de la contaminación del suelo. La contaminación por metales pesados y metaloides de las tierras agrícolas y los cultivos puede afectar sustancialmente a la seguridad alimentaria y la salud humana (Islam, Karim, Zheng, y Li, 2018).

El Arsénico puede generar un efecto en tres frentes primordialmente: el medio ambiente, la salud pública y la economía de los agricultores en Colombia.

Respecto a los efectos Medio Ambientales, varios estudios de autores como Teixeira en Brasil y Chakraborty o Shrivastava en Bengala Occidental revelan las cantidades y concentraciones de Arsénico en el suelo, mientras que, en la matriz de agua, Mayorga en España y Reyes en Colombia establecen las altas cantidades del metal pesado en los territorios objeto de su estudio, así como las consecuencias nocivas para los seres vivos. Sin embargo, es necesaria más información sobre los efectos en las matrices naturales de suelo y agua fundamentales en los procesos agrícolas y la cría de especies acuáticas que serán objeto de consumo humano.

El equilibrio natural exige grandes retos, uno de los cuales está relacionado con la habilidad del medio ambiente y todos sus microorganismos de mantener en proporción los ciclos de regeneración del suelo y el agua, esto es posible siempre que se presenten las condiciones normales para el crecimiento de las plantas, el ambiente adecuado para los organismos y las calidades de los sistemas fluviales, patrones alterados por la aparición de altas concentraciones de metales pesados, para el caso de este estudio, la alta aparición de Arsénico en afluentes hídricas y espacios dispuestos para la ganadería, cercanos a centros poblados de actividades industriales.

Alrededor del mundo, tras establecerse la presencia del Arsénico en las mediciones efectuadas sobre el suelo y el agua, países como Brasil se han preocupado por analizar los efectos ambientales toda vez que:

Actividades mineras en Brasil comenzaron con la minería artesanal de diamantes y oro. Millones de toneladas de arsénico se liberaron de esos materiales que contienen arsénico de forma natural y se trasladaron a sedimentos, suelos y aguas superficiales y subterráneas como consecuencia del procesamiento de minerales y la disposición inapropiada de los desechos mineros, durante siglos de actividades mineras intensivas (Teixeira, Caldeira, Fernandes y Chakmeng, 2020)

Lo que ha creado una alerta encaminando esfuerzos a investigar las consecuencias que este aumento en los límites normales de presencia del metal representa, ahondando en los efectos directos de este sobre los suelos y el agua propiamente, sin saltar un eslabón en el proceso investigativo pasando directamente a las secuelas en humanos y animales.

Se ha demostrado que la principal fuente de contaminación resulta de las actividades antrópicas. En Colombia la minería legal está presente en varias zonas del territorio como consecuencia de la gran riqueza natural del suelo, y a pesar que esta goza de regulaciones integrales que propenden por el cuidado de los recursos naturales, el problema principal radica en que en igual proporción de forma alterna se realiza dicha actividad de forma ilegal por parte de grupos poblacionales que viven y dependen de ella y de grupos armados ilegales que lo usan como un medio para mantener sus economías ilícitas, lo que hace de esta actividad un factor altísimo de riesgo para la generación de metales pesados que resultan en las vertientes fluviales y posteriormente por medio de aguas de riego en zonas agrícolas de importancia en el país.

Por otro lado, se presentan acciones que contaminan directamente fuentes hídricas como curtiembres, manufactureras, agroindustrias y licoreras, entre otras actividades industriales; en Colombia se han realizado mediciones que den cuenta de las concentraciones de Arsénico en ciertas partes del territorio, sin embargo, se ha dejado de lado realizar un análisis más profundo de los efectos que dichas concentraciones pueden causar en el suelo y en el agua de forma directa, impactando la estabilidad de los ecosistemas y generando otras consecuencias asociadas que pueden ser objeto de revisión más adelante.

Sobre los efectos en salud pública una de las consecuencias de la presencia de Arsénico en altas concentraciones en las matrices de suelo y agua se traduce, en un país agrícola como Colombia, en un riesgo latente de salud pública, toda vez que el agua de riego y el crecimiento de especies vegetales de consumo humano, así como el alimento y agua de los semovientes está expuesto a contaminación por las altas concentraciones del metal pesado.

La exposición a concentraciones bajas o altas de arsénico (As), ya sea debido al consumo directo de agua potable contaminada con As, o indirectamente a través de la ingesta diaria de alimentos contaminados con As, puede ser fatal para la salud humana. La contaminación por arsénico en el agua potable amenaza a más de 150 millones de personas en todo el mundo (Singh, Singh, Parihar, Singh y Prasad, 2015)

Las cifras exponen una preocupación mundial y los efectos van más allá de las enfermedades, pues su correlación con el traumatismo sobre el sistema de atención sanitaria se convierte en un agravante para la salud pública. Así lo expone un estudio realizado en algunas regiones de Argentina que han logrado demostrar la correlación entre casos de exposición a altas concentraciones de Arsénico y enfermedades graves y de alto costo en la población expuesta:

Los hallazgos indican que los pobladores de todos los sitios examinados están expuestos a riesgo carcinógeno, ya que ingieren agua arsenical que supera el valor de 10^5 mg/l, establecido como máximo aceptable por exposición a sustancias carcinógenas en agua de consumo. [...] dado que esa misma agua se utiliza para riego de cultivos y para bebida de animales, es dable que sea aún mayor la ingesta diaria de As y, con ello, el nivel de riesgo (López y Díaz 2018).

Lo anterior impacta en dos frentes, por un lado, en el bienestar de las personas que se encuentran expuestas a las altas concentraciones de Arsénico producto de la presencia en el suelo que se cultiva u ofrece alimento a los animales de consumo y el agua de riego o ingesta. Y así mismo, un impacto en todo el sistema de salud pública que se relaciona de forma directa con el bienestar de la población, los altos costos asociados a las enfermedades graves y los procesos asociados como menor fuerza laboral y tratamientos extensos que desgastan los sistemas de salud.

Con respecto a los efectos económicos, el impacto monetario que el arsénico genera en las finanzas de agricultores y la fuerza laboral agro en los países es un tema que aún no se ha abordado por completo, al no relacionar la presencia del metal con los efectos que éste causa en la tierra de cultivo y los pastizales para engorde de semovientes, lo que se ha demostrado incide en el crecimiento y desarrollo natural de las especies.

El As presente en el suelo agrícola y el agua de riego puede acceder a las plantas a través de sus sistemas de raíces y produce efectos fitotóxicos para algunos cultivos. Las concentraciones de As en las partes comestibles de los cultivos dependen de la biodisponibilidad del As en el suelo. La solubilidad del As en suelo agrícola puede variar enormemente de un lugar a otro en función de las condiciones del suelo (Rosas, Guzmán, Hernández y Hincusa, 2015).

Lo anterior responde a un problema para la economía del agricultor y del país en general, resultando en cultivos con un crecimiento menor al de la media, o con un requerimiento de temporadas más extensas para su desarrollo. El agricultor puede analizar cuánto ha perdido en producción agrícola y el engorde de animales para la venta a causa de la presencia del arsénico en grandes concentraciones.

En la región deltaica de Bengala, el agua subterránea poco profunda mezclada con arsénico se usa con frecuencia para el riego y ha elevado el arsénico en los suelos agrícolas. La concentración de arsénico detectada en el grano de arroz mostró un valor promedio de 1,4 mg / kg en 2013 que ha aumentado a 1,6 en 2014, ambos por encima del límite permisible (1 mg / kg) (Shrivastava, Barla, Singh, Mandraha y Bose, 2017).

Es fundamental establecer el efecto que la presencia del arsénico genera en el suelo que se está aprovisionando como el medio para formar cosechas, y las consecuencias que su aparición en estos espacios pueda producir de manera indirecta en la siembra, producción y recolección de materias primas provenientes de la tierra que resultan ser las más afectadas por la contaminación de metales pesados como el Arsénico, entre estos arroz, leguminosas y papa. Lo que sin duda constituye una contaminación posterior para el semoviente o el humano que se alimente con dichos productos agrícolas y causar una consecución de impactos sobre la economía de quienes crían los animales para la venta y consumo, así como las plantas y tubérculos desde las producciones agrícolas.

Materiales y métodos:

Se realizó una revisión de alcance que sintetiza los resultados de investigaciones en idioma inglés y español, publicadas entre 2011 y 2021 sobre los efectos ambientales, económicos y de salud pública ante la presencia de Arsénico en altas concentraciones en las matrices de suelo y agua.

Para realizar la búsqueda se hizo uso de descriptores en Ciencias de la Salud, términos MeSH: “arsénico y agua”; “arsénico y suelo”; “arsénico y agricultura”, “arsénico y económico”, “salud pública y arsénico”, “salud y arsénico”, “salud ambiental y salud pública”, “arsénico y contaminación ambiental”. Los 206

artículos escogidos cumplen estrictos criterios de selección de la información como reconocimiento por parte de la comunidad académica y estar contenidos en las bases de datos: Springer Nature Journals, ScienceDirect y Scopus, principalmente.

Descripción de variables:

Como medio para el análisis de la información fueron dispuestas tres diferentes variables que permitieron una revisión profunda por categoría de acuerdo con las inquietudes a develar según el comportamiento del metal pesado en las diferentes matrices, así las cosas, la primera variable “Efectos Ambientales” representa las consecuencias de las altas concentraciones de As en las matrices de suelo y agua ante una constante y sostenida exposición al metal pesado.

En segunda instancia, la variable “Efectos Económicos” dispone aquellos datos que evidencian de forma indirecta una menor valoración económica, por cualquier motivo, de productos agrícolas, animales o plantas para el consumo humano, ante la presencia de As en las matrices de suelo y agua en los lugares donde se crían o cultivan.

Por último, la variable “Efectos en la Salud Pública” se establece a través de datos que den cuenta de la detección de manifestaciones clínicas producto de la exposición a As, sin importar el tipo de patología o los patrones asociados a estas.

Búsqueda:

Se realizó una búsqueda de artículos científicos que relacionaran los efectos de la aparición de arsénico en altas concentraciones con su impacto en matrices de suelo y agua, las consecuencias en salud pública, económicas y el medio ambiente. Para determinar la permanencia de los 58 artículos incluidos primero se seleccionó la información tras revisar los resúmenes de 248 documentos, posteriormente se categorizaron según los efectos y por último se excluyeron 42, correspondientes a aquellos que no cumplían con las siguientes características:

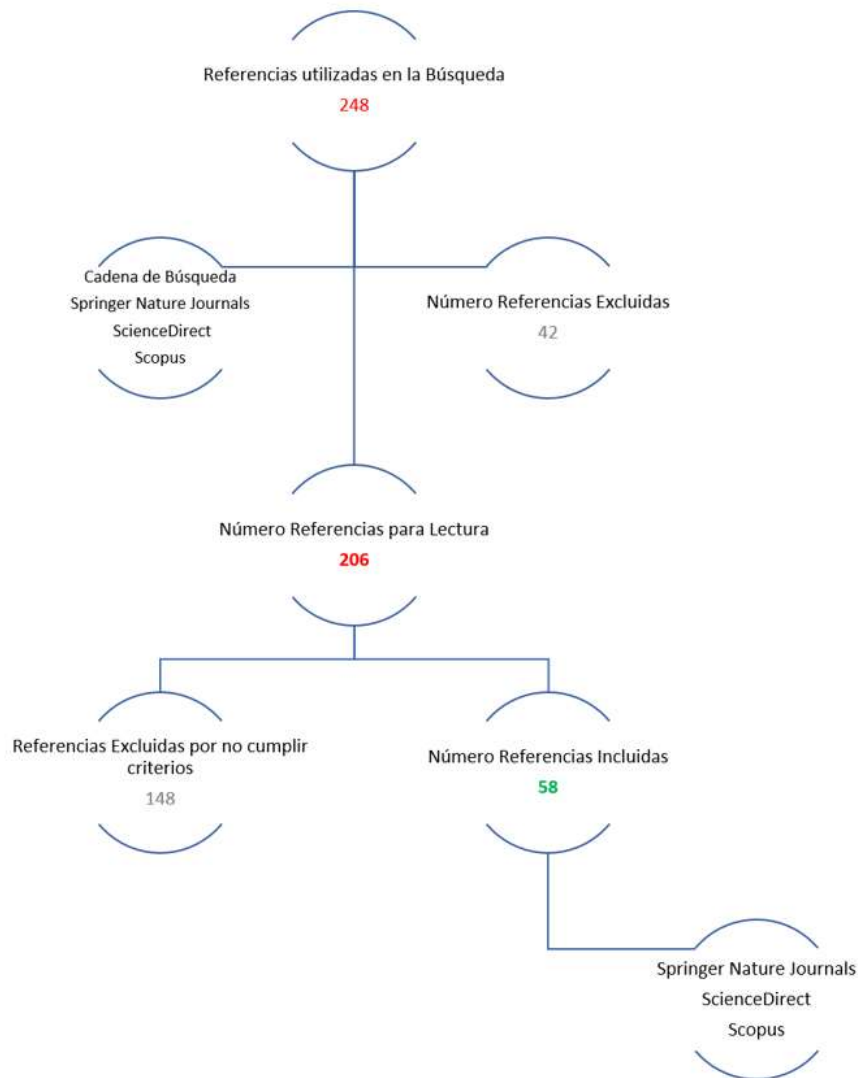
1. Documentos disponibles en texto completo que se encontraran en los idiomas inglés y español.
2. Estudios que estuvieran dentro del rango de año de publicación de 2011 a 2021.

3. Documentos de orden científico contenidos en las bases de datos objeto de revisión.
4. Que en materia medio ambiental analizara efectos o alteraciones en las propiedades físicas, químicas y biológicas de las matrices de suelo y agua.
5. Que en materia de salud pública realizaran un análisis sobre el efecto del arsénico en los humanos, varios de ellos con muestras en personas.
6. Que en materia económica evidenciaran una correlación entre la presencia del metal y sus consecuencias frente a la labor de los cultivadores y el sector agro y piscicultor.

Posteriormente se leyeron completamente los 206 artículos seleccionados, descartando los que según su resumen se limitaban a las concentraciones y otros criterios de exclusión como:

1. Investigaciones fuera del rango de tiempo contemplado (Anteriores a 2011).
2. Investigaciones que no contaran con la categorización de artículos científicos (tesis de grado, artículos periodísticos).
3. Documentos que no gozaran de un carácter público.
4. Artículos que abordaran temáticas alejadas del tema de estudio:
 - Estudios de efectos en animales en el caso de salud pública.
 - Estudios que reportaran únicamente el factor de concentración en el caso del medio ambiente.
 - Estudios que por su naturaleza no abordaran el tema de efectos producidos por la presencia del metal.

Resultando incluidos en esta revisión un total de 58 referencias que dan cuenta de efectos en salud pública, economía y medio ambiente.



Consideraciones éticas

Este análisis surge como un tipo de estudio denominado revisión de alcance de la literatura, tanto nacional como internacional, bajo el principio de conocer el posible efecto del metal pesado arsénico en las matrices de suelo-agua, la salud pública y la economía, tomando como referencia investigaciones que se han llevado a nivel internacional, la Resolución No. 008430 de 1993 del Ministerio de Salud y el tratamiento ético que reza la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial, esta revisión de alcance se clasifica como una investigación sin riesgo.

Resultados:

Durante esta revisión se lograron evidenciar las características de los estudios que se han hecho para Colombia acerca de las concentraciones de arsénico, sin embargo, se destaca que estas se limitan únicamente a medir los niveles y las concentraciones del metal pesado. Por lo anterior, fue necesario revisar la bibliografía existente en otras regiones del mundo que dieran cuenta de los efectos de las altas concentraciones de arsénico, tanto en seres humanos como en el ambiente y las consecuencias que esto en el corto, mediano y largo plazo puedan tener, dejando en evidencia la necesidad de ampliar los estudios en Colombia de los efectos del metal pesado para establecer el tratamiento en política pública que a este debería dársele.

Es indispensable instaurar como punto de partida los datos que entidades como la Organización Mundial de la Salud han dispuesto para realizar las mediciones, a nivel mundial, que dan cuenta de las concentraciones de arsénico y sus límites permitidos:

En los países desarrollados la concentración máxima admisible de As en el agua potable es de 10 $\mu\text{g} / \text{L}$; sin embargo, los países en desarrollo, donde la arsenicosis está más extendida, siguen utilizando el valor de referencia anterior (50 $\mu\text{g} / \text{L}$) debido a la falta de instalaciones para analizar con precisión concentraciones más pequeñas (Arshad, Iqbal, Sajjad, Mehmood y Murtaza, 2014).

Si bien en Colombia se han venido analizando las concentraciones aún no se trasciende a sus efectos, mismos que se desarrollarán en adelante teniendo en cuenta bibliografía internacional y local de investigaciones que han ido más allá, analizando las consecuencias de la exposición para personas, animales, plantas, el ecosistema y hasta la economía.

Del total de los artículos en la cadena de búsqueda, 31 se relacionaron con resultados que dan cuenta de los efectos del metal en las matrices de suelo y en las matrices de agua. Por su parte, en el caso de la salud pública fueron abordadas 24 investigaciones teniendo en cuenta que sus resultados no se limitaran a las altas concentraciones, sino que destacaran las consecuencias que para cualquier ser vivo animado o inanimado tiene la exposición al metal pesado, en materia económica a pesar de ser develadas siete investigaciones solo se puede dar cuenta de tres analizadas en esta revisión por factores externos al investigador. para un total de 58 artículos analizados teniendo en cuenta el

impacto medio ambiental, salud y económico causado por la exposición permanente a Arsénico.

Respecto al panorama económico mencionado en esta revisión, no se logró establecer que ningún artículo de un enfoque directo a los impactos monetarios y laborales que puede llegar a producir la presencia del metal por ejemplo para el agricultor de una zona expuesta, sin embargo, es imperativo mencionarlo como un resultado, toda vez que falta hacer la correlación que permita profundizar en dichos estudios de una forma científica a fin de establecer patrones que permitan determinar el verdadero impacto sobre la economía de la presencia del metal pesado en las matrices de suelo y agua y en general de toda la cadena alimenticia.

Para su análisis fueron tomados en cuenta los artículos relacionados con la salud pública toda vez que existen puntos de mixtura que pueden sugerir impactos económicos relacionados ejemplo bajas cosechas o menor calidad en las mismas con la presencia del metal versus aquellas que no han sufrido exposición al mismo.

Los resultados se presentan de acuerdo con cada una de las categorías de análisis, en primer lugar, se habla de las matrices de suelo y agua componiendo el factor de riesgo para el medio ambiente, impacto en la salud pública y por último su posible vestigio sobre la economía. De esta forma serán expuestos los estudios de acuerdo con los autores, el país donde se llevó a cabo el estudio, sus objetivos y resultados más importante de las investigaciones que se destacaron dentro del análisis de los datos.

Resultados relacionados con el Medio Ambiente

En Colombia se destacan seis estudios. Alonso, Latorre, Castillo y Brando (2014) establecieron para el caso de las matrices de suelo, en su investigación que las concentraciones más altas de arsénico están asociadas a regiones mineras (por ejemplo, suelos, hasta 148 mg/kg; sedimentos, hasta 1400 mg/kg) y zonas agrícolas (por ejemplo, hortalizas, hasta 5,40 mg/kg; agua de riego, hasta 255 g/L), y subrayan los riesgos humanos y ambientales potenciales asociados con la presencia de As en el país. Su principal aporte es el llamado a ampliar investigaciones en Colombia para que se establezca la verdadera magnitud de la presencia del metal pesado en sus suelos, especialmente el agrícola.

Gómez, Díaz, Blandón y Martínez (2016) en el sondeo probabilístico realizado en el altiplano cundiboyacense colombiano establecen que tras la toma de las muestras de carbón de frentes de explotación activa, analizadas mediante análisis próximos, petrográficos y por espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), los resultados revelan que las muestras analizadas presentan contenidos promedio de As ($16,05 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) por encima del promedio mundial para carbones del mismo rango y sus concentraciones son mayores a los de la zona norte carbonífera de Colombia, generando preocupación ambiental, toda vez que tienen valores superiores al promedio mundial; infieren además que el As presente en los carbones de Cundinamarca puede ser uno de los elementos más peligrosos contenidos en estos cuando son liberados al ambiente durante el procesamiento y uso, debido a que su valor supera el límite máximo permitido por la EPA de $0,010 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Concluyen con la observación de la importancia de realizar estudios sistemáticos en carbones de las diferentes zonas del país que conduzcan a determinar su distribución multielemental y así establecer metodologías en cada una de las etapas de un proceso minero.

Para el caso de las matrices de agua, Reyes, Vergara, Torres, Díaz y González (2016) presentan en Colombia una descripción sobre las fuentes de contaminación y la exposición de seres vivos al metal así como procesos de incorporación y retención en alimentos y productos de consumo humano, que como resultado establecen el hecho de que el metal está analizado por los estudios en cuanto a las matrices de agua se refiere, sin embargo, no se ha definido su concentración y riesgo en hortalizas, legumbres y cereales para estandarizar los estudios sobre sus efectos tóxicos en la salud de las personas y el ambiente. Por tanto, recomiendan un mayor monitoreo para trazar mapas de concentración que permitan a las autoridades colombianas tomar acción, en especial en el Río Bogotá y el Lago de Tota según lo determinó su investigación.

Hernández y Marrugo (2016) estudiaron municipios de los departamentos de Córdoba y Sucre, en Colombia, en su investigación evaluaron las concentraciones de trihalo-metanos (THMs) y arsénico (As) en el agua de consumo y el riesgo asociado con la ingesta en la población de Chinú y Corozal. Midiendo variables THMs, As, Carbón Orgánico Total (cot), cloro residual, coliformes fecales y turbiedad, entre otras, en agua potable y agua almacenada en épocas de sequía y lluvias mostrando correlación lineal entre

carbono orgánico total y la concentración de Arsénico en las aguas crudas o almacenadas y potables analizadas en la investigación. En las muestras del municipio de Chinú se presentó ($r = 0.61$, $p = 0.00004$) en verano y ($r = 0.47$, $p = 0.0153$) en invierno, y en el municipio de Corozal de ($r = 0.88$, $p = 0.017$) en verano y ($r = 0.78$, $p = 0.036$) en invierno. Debido a que en promedio las concentraciones de arsénico son muy similares tanto en la temporada invernal como en la de verano, se muestra que existe presencia de este elemento extremadamente tóxico para la salud en el agua de consumo debido a las acciones agroquímicas y ganaderas realizadas en la región, por tanto exponen que es normal la preocupación de la OMS respecto a los riesgos de cáncer por agua de consumo, aunque el impacto del arsénico y los trihalometanos sobre la salud pública no es aún, totalmente conocido en cuanto a su magnitud y tiempo de afectación.

Alonso, Pérez, Okio, y Castillo (2020) evaluaron los efectos de la distribución de As en sedimentos de arroyos y muestras de agua superficial del río Suratá, páramo de Santurbán, producto de la influencia del distrito minero de oro Vetas-California, este estudio contó con muestras distribuidas a lo largo de la cuenca del río en áreas próximas y alejadas mineras; destacando en los resultados un alto contenido de As (que alcanza hasta 484 mg / kg) en los sedimentos de arroyos muestreados cerca del distrito minero de oro. Tanto para los sedimentos como para el agua, el contenido relativo de As a lo largo del río Suratá superó el contenido de fondo en 220 y 64,9 veces, respectivamente. En su estudio revelan un alto nivel de movilidad y lixiviación del contenido de As en muestras de agua por cambios de pH y potenciales redox, alrededor de sitios activos de extracción de oro como los municipios de Vetas, California y Matanza con valores de EF de 285, 204 y 133, respectivamente. Además, los valores de I_{geo} (índice de geo-acumulación) sugieren una contaminación de As de moderada a fuerte debido al alto I_{geo} encontrado en los principales puntos de efecto minero.

Por último, en 2020 González, Restrepo, Varela, Quiñones, Sánchez y Sandoval realizan un caso-control con 151 participantes en Colombia que tenía por objetivo evaluar la influencia de las variantes polimórficas As 3MT y GSTs en los metabolitos del arsénico urinario y su posible efecto combinado con los factores demográficos, antropométricos y de estilo de vida; como resultado de la influencia de polimórficos variantes de arsénico-3-metil-transferasa y glutatión-S-transferasa en metabolitos urinarios de arsénico en 22 pozos

de agua subterránea para consumo humano de municipios de Colombia analizados para evaluar la exposición por dosis diaria promedio de por vida (LADD) ($\mu\text{g} / \text{kg pc} / \text{día}$). La mediana de la concentración total de arsénico en el agua subterránea fue de $33,3 \mu\text{g} / \text{L}$ y la mediana de LADD para la dosis de alta exposición fue de $0,33 \mu\text{g} / \text{kg pc} / \text{día}$. Exponiendo como fin último el hecho que las concentraciones de DMA fueron más bajas en los genotipos heterocigotos y / u homocigotos de GSTP1 en comparación al genotipo de tipo salvaje; el consumo contribuye a variar en gran medida la capacidad metabólica individual de arsénico en personas expuestas.

Dentro de los estudios internacionales explorados se determinó que el 100% aborda un análisis sobre las concentraciones de arsénico en el suelo y en diferentes fuentes hídricas; Mayorga, Moyano y García, (2014) establecen, entre otras, las alteraciones de ph, el impacto sobre la actividad microbiana y otras características de la misma naturaleza que dan cuenta de algunas afectaciones sobre las matrices de suelo y agua. Dentro de su investigación desarrollada en España, que tenía por objeto conocer las causas de la contaminación por arsénico de las aguas subterráneas de un sub-sector de la Cuenca Terciaria del Duero y su evolución temporal, así como el impacto en el suelo y plantas, determinaron como resultado principal que en el suelo, al igual que en los acuíferos, el contenido de óxidos de hierro, el pH, el Eh, la materia orgánica, y la actividad microbiana tienen efectos influyentes en la adsorción y la movilidad del As. Describen una buena relación entre el As soluble en agua del suelo y el arsénico en los cultivos.

Así determinaron que las aguas subterráneas presentan concentraciones de As anómalas que superan los $10 \mu\text{g}/\text{l}$. El agua tiene un alto contenido de bicarbonato disuelto que puede movilizar el As por desplazamiento de las superficies minerales. En cuanto al impacto del As sobre suelos y cultivos, la raíz y las hojas de zanahoria mostraron una muy eficiente acumulación de As cuando el contenido medio de As soluble en suelo era de $44 \mu\text{g}/\text{Kg}$, mientras que cuando la concentración era de $130 \mu\text{g}/\text{Kg}$ se observó una menor eficiencia en la acumulación, siendo la afinidad del As por las hojas mayor que el de las raíces.

En su mayoría los estudios de Kobina et.al., Un Lee, et.al., Mondal et. al., Savitov et. al., Tong et. al., Myoung-Soo et. al., Lourdes et. al., Shrivastava et al., George et.al. y

Pariani et. al. desarrollados en Gana, Corea, India, China, Vietnam, Bolivia, India, Perú y Argentina respectivamente, han resultado en similares conclusiones, pues estos proponen afectaciones a diferentes cultivos como el de arroz, papa y maíz entre otros, de acuerdo con la zona y actividades agrícolas que allí se desarrollan, así como contaminación en aguas de riego, hecho que impacta indirectamente los cultivos.

Es el caso de los presentado por Ruiz y Armienta (2012) quienes ubicaron su investigación en Taxco, Guerrero, México, reconocido por ser un sector minero en donde determinaron las concentraciones de As en cuatro sustratos bajo la influencia de los jales mineros de "El Fraile" evaluando su acumulación y efectos en el desarrollo de las plantas de maíz; resultando en que las plantas de maíz sembradas en los sustratos (S3 y S4) con mayores concentraciones de As y metales (metales y metaloides tóxicos, MMTOX), mostraron síntomas visibles de afectación como: necrosis, clorosis, adelgazamiento de las hojas e inhibición del crecimiento. Las concentraciones de los metales y metaloides tóxicos analizadas en los sustratos (suelos y jale) que alcanzaron mayores valores, en mg/kg, fueron [...] As de 28.9 a 3744.3, dejando ver un incremento de estos elementos de acuerdo con la cercanía a los jales "El Fraile", con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre las medias; por lo anterior, los autores concluyen que el As se presentó en concentraciones altas en todas las unidades experimentales, lo que es importante mencionar ya que las plantas de maíz sufrieron afectaciones en su desarrollo normal en altura y biomasa, constituyéndose en un impacto significativo para los pequeños agricultores del área.

Para Pérez, Valladares, Hernández, Oliva, Del Cid y Jayares, (2015, p. 131) los resultados de presencia de As y Hg en el agua superficial del lago de Atitlán y sus afluentes (Guatemala), en concentraciones superiores a los límites recomendados por la norma de agua potable, son un hallazgo muy importante, ya que no se contaba con información sobre niveles de As en el lago, cuya agua es utilizada para consumo humano en varias comunidades. [...] Se estarían contaminando los suelos y cultivos de la zona sur con metales de alta toxicidad en el mediano y largo plazo, por los volúmenes elevados que se esperaba se exportaran, siendo necesario también realizar estudios de retención de As por los suelos de la zona. Para evaluar el riesgo para la salud humana de las concentraciones de

As y Hg, es necesario realizar la especiación de los mismos al existir estados de oxidación de ambos elementos que presentan mayor toxicidad.

Resultados relacionados con la Salud Pública

Las características que logran conjugar los resultados de las investigaciones internacionales analizadas dentro de esta revisión, son los efectos que las altas concentraciones de arsénico generan en la salud de las personas, tras realizar estudios que dieron cuenta de las enfermedades que se ha demostrado han desarrollado los habitantes de diferentes zonas que sufren del impacto del metal pesado por su cercanía, el agua que consumen o simplemente las actividades económicas que se desarrollan en su entorno.

Arshad, Iqbal, Sajjad, Mehmood y Murtaza (2014) revisaron la contaminación por metales pesados en diferentes áreas de Pakistan buscando evaluar las consecuencias en el agua, suelo, sedimentos, material particulado y vegetales. Como resultados de su investigación plantean que tras revisar los datos expuestos por Arain et.al. entre el 30 y el 40% de la población de Bobak tenía problemas de piel y lesiones cutáneas por sobreexposición a arsénico. Así mismo, lograron determinar a través de muestras de sangre, una correlación (Los autores estimaron la ingesta diaria total de As de $343,5 \mu\text{g} / \text{día}$ para adultos a partir de alimentos en el área afectada por As [irrigada con agua de lago], mientras que la ingesta de As del lago y agua subterránea se estimó en el rango de $241-390 \mu\text{g As} / 4 \text{l} / \text{día}$) entre las concentraciones de arsénico en el agua potable y problemas clínicos como dificultades respiratorias, anemia y problemas gastrointestinales entre otros.

Dentro de los estudios más cercanos en el continente se destaca el presentado por Mora, Urbina y Chamizo (2015, p. 105) quienes resaltan que la Escuela de Salud Pública de Boston (EE. UU.) inició investigaciones para determinar las causas de la epidemia de Insuficiencia Renal Crónica. Primero se realizaron 22 estudios, en los que se evaluaron exposiciones a situaciones como el trabajo agrícola (caña de azúcar, algodón, arroz, banano y café), metales pesados en aguas, suelos, plaguicidas y condiciones médicas. Por tanto realizaron este estudio, con el objetivo de analizar la asociación entre el consumo de agua contaminada con As-total superior a $10 \mu\text{g/L}$ y los índices de morbilidad estandarizado (IME) de IRC en los 59 distritos de los 11 cantones de la provincia de Guanacaste que

arrojó como resultado la imposibilidad de correlacionar la presencia o aparición de la enfermedad en mención por las altas concentraciones de As teniendo en cuenta que hay lugares en los que se presentan indicadores altos de la enfermedad en los que los niveles del metal pesado no superan los límites permitidos, sin embargo, los autores recomiendan ahondar en los estudios para establecer en definitiva que no exista ningún tipo de correlación.

Como se mencionó con anterioridad, en Colombia se ha revisado brevemente este tipo de información, pues los estudios se han limitado en su mayoría a establecer los niveles o concentraciones de arsénico en diferentes zonas, dejando un poco de lado las consecuencias, a pesar de que, se ha logrado demostrar en otras regiones del mundo que las enfermedades crónicas graves como el cáncer se presentan con mayor probabilidad en comunidades cercanamente expuestas a la presencia del metal pesado.

Los efectos toxicológicos del As no son bien conocidos y se especula sobre el proceso de transferencia a los seres humanos (D'Ambrosio, 2005). La arsenicosis o hidroarsenicismo crónico es una enfermedad que se presenta por elevadas concentraciones de As inorgánico y presenta diferentes afectaciones en la salud humana tales como problemas respiratorios, enfermedades cardiovasculares, gastrointestinales y efectos cancerígenos (pulmón, vejiga y piel) entre otras (Marruecos et.al, 1993) [...] Los estudios demuestran que la leche de bovinos que pastorean e ingieren agua, pastos o forrajes contaminados por metales pesados (Hg, As, Cd y Pb) influye sobre las concentraciones de dichos elementos en la leche y carne (Reyes, Vergara, Torres, Díaz y González, 2016, p. 4).

Para el caso colombiano Idrovo, Rivero y Amaya C. (2017) en su estudio *Percepción de la contaminación y arsénico en cabello de indígenas viviendo cerca de una mina a cielo abierto de ferroníquel (Córdoba, Colombia): reporte de caso en salud pública* exploraron los niveles de arsénico en cabello de individuos residentes cerca de la mina de Cerro Matoso en 2015 que identificaron la mina de ferroníquel como la principal fuente de contaminación de la zona. Por medio de sesiones de grupos nominales revisaron la piel de 15 individuos buscando manchas sugerentes de hidroarsenicismo y recolectaron muestras de cabello de mujeres, analizadas en The Centre de Toxicologie du Québec, evaluando los segmentos proximal, medio y distal de cada cabello (n=21). Como resultado se determinó

que las concentraciones de arsénico en cabello variaron entre 0.011 y 0.26 $\mu\text{g/g}$., la mayor ocurrió hace tres años aproximadamente en una niña que en ese tiempo tenía 9 años. Lo anterior, confirmó a los investigadores la exposición a arsénico en los alrededores de la mina, aunada a otros metales, dejando como conclusión la importancia de futuros estudios que exploren la ocurrencia de efectos adversos del arsénico como cáncer, dermatosis, hipertensión arterial y trastornos reproductivos y cardiovasculares.

Al respecto, Ale-Mauricio, Villa y Gastañaga, M. (2018) determinaron la concentración de arsénico (As) en pobladores adultos de dos distritos de la región Tacna, Perú, a través de la recolección de muestras de orina lograron establecer que el 100 % (103) de las muestras procedentes de Cairani y el 80,3 % (57) de las muestras de Camilaca superaron los valores referenciales de toxicidad por As. Del mismo modo, los pobladores de Cairani superan en 30 veces, y los de Camilaca en 1,5 veces, los valores de toxicidad para As, lo anterior, se traduce en que la población adulta analizada tienen concentraciones de As urinario superiores a los valores referenciales de toxicidad establecidos por la Organización Mundial de la Salud, lo que la expone de forma crónica a riesgo de cáncer bajo una estadística de 30 a 300 veces más probabilidades que el originado por cualquier otro cancerígeno, solo por estar expuesta a agua de consumo contaminada con As.

En Colombia cabe destacar uno de los resultados presentados en el estudio de Alonso, Latorre, Castillo y Brando (2014), mencionado con anterioridad, quienes determinaron que los niveles de As en las zonas de Colombia estudiadas (Sibaté y Ricarte) son alarmantemente altos: en cabello humano (hasta 2078 g/kg), fresas (0,36 mg/kg), verduras (hasta 5,40 mg/kg), leche (hasta 76 g/L) y carne de bovino (1,58 mg/kg). Por lo tanto, llegaron a la conclusión de que se deben realizar más estudios sobre la presencia de As en las zonas rurales y urbanas en el país.

Según lo manifiestan McClintock, Chen, Bundschuh, Oliver, Navoni, Olmos, Lepori, Ahsan, y Parvez (2012): tras realizar una revisión de más de 84 artículos en los que se relacionaban temas de afectación de salud producto de la presencia en los alimentos de residuos tóxicos relacionados con metales pesados:

En un período de latencia prolongado o discreto, ya sea durante la primera infancia o en el útero, puede provocar cáncer de pulmón y otras enfermedades crónicas relacionadas con el As. La exposición durante estos tiempos también se ha

relacionado con resultados reproductivos adversos en las madres y un desarrollo cognitivo deteriorado en los niños. Estudios recientes han examinado los posibles mecanismos de toxicidad que provocan estos resultados adversos para la salud, incluida la genotoxicidad, el estrés oxidativo y la reparación deteriorada del ADN.

Revelli, G., Sbodio, o., y Costa, G. (2016) analizan como un problema de salud pública los acuíferos, destinados para el consumo humano, con niveles de arsénico que sobrepasan los límites recomendados por las agencias ambientales o la legislación. Por tal motivo realizan un análisis en la provincia de Santa Fe y sur de Santiago del Estero, Argentina, en donde detectan la presencia de tóxicos como el arsénico, condicionando el aprovechamiento del agua subterránea. En el territorio del Cluster Lechero Regional, se estudió la concentración de arsénico, con el objetivo de establecer niveles de toxicidad y el potencial desarrollo de enfermedades crónicas. Los resultados muestran una concentración media de arsénico en la zona de 0,203 mg/L. lo que supone para los investigadores al menos 500 casos de cáncer atribuibles a la exposición de una población de riesgo estimada de 57.436 habitantes que no tienen acceso a sistemas de agua de red. En el caso de los niños (3.690) de la región entre los 0 y los 2 años, estos podrían desarrollar lesiones dérmicas y efectos neurológicos de distinta magnitud

Monroy y Espinoza (2018, p. 8) sostienen que: La inseguridad alimentaria contribuye a una mayor exposición a los efectos al As, sobre todo en la población de niños y jóvenes (FAO, 1996; OMS, 2000), lo cual es grave, ya que existen datos estadísticos que demuestran que por cada incremento del 50 % en la concentración de As podría haber una disminución aproximada de 0.5 puntos en el coeficiente intelectual de jóvenes entre 5 a 15 años.

Ahora bien, este no es el único estudio presentado en esta materia, pues en el año 2017 ya se había explorado la relación entre pérdidas de habilidades cognitivas relacionadas con la absorción de arsénico. Para el caso de Manju, Hegde, Parlees y Keshan (2017):

Durante las últimas dos décadas, varios informes epidemiológicos han demostrado que la exposición al arsénico puede alterar la función cognitiva, particularmente el aprendizaje y la memoria durante la infancia. Un metaanálisis publicado recientemente se centró en el impacto de la exposición al arsénico en la inteligencia

medida por pruebas de coeficiente intelectual. Los investigadores concluyeron que la exposición al arsénico se asoció con una disminución de 0,4 en el coeficiente intelectual en los niños expuestos.

Investigaciones como la presentada por Rangel, Montañez, Luévanos y Balagurusamy N. (2015) dan cuenta del trabajo que se viene realizando en el mundo frente a la exploración de este fenómeno y las posibles maneras de mitigarlos, es el caso del estudio realizado en la Comarca Lagunera en México con el objetivo de establecer nuevas estrategias para la remoción del As, entre las cuales, la biorremediación microbiana cobra importancia como una alternativa amigable con el ambiente en la solución de este problema; para tal fin realizaron un proceso biológico que permitió llegar a disminuir la toxicidad del arsénico en el agua tras un proceso oxidativo para la transformación de la forma más tóxica de As (III) a la forma menos tóxica de As (V); como conclusión los autores plantean que el impacto negativo en la salud humana se incrementa debido a la toxicidad del arsénico que resulta en las actividades antropogénicas por tanto, transformar el metal es fundamental para la descontaminación de los suelos y las aguas residuales, a través del empleo de microorganismos.

Lo anterior, es evidencia de los efectos ya demostrados que genera el arsénico en la salud de las personas, mismos que podrían asociarse en un futuro con otras consecuencias directas o indirectas que impacten su proceder natural en la sociedad.

Resultados relacionados con los efectos Económicos

En esta materia los resultados tanto nacionales como internacionales han sido escasos, sin embargo, tras el análisis de la información documentada se ha podido establecer que como una consecuencia directa de los efectos en las matrices de suelo y agua, los cultivos se afectan en el mediano plazo generando plantas que no crecen como aquellas que se desarrollan en tierra sana sin presencia de metales, tierra para cultivo que se agota por el impacto que con el tiempo va generando la presencia del arsénico, convirtiendo la zona en menos fértil. Esto incide en la economía del agricultor, hecho correlacionado por tres de los estudios analizados en esta revisión.

Para Flanagan, Johnston y Zheng (2012) las exposiciones de arsénico a concentraciones $>50 \mu\text{g} / \text{L}$ y $10\text{-}50 \mu\text{g} / \text{L}$ representan un total anual de entre 19.000 y

24.000 muertes de adultos en el país. Para el caso en cuestión los decesos relacionados con el arsénico representan 1 de cada 16 muertes de adultos lo que bien podría traducirse en una carga económica de 13 mil millones de dólares estadounidenses solo en pérdida de productividad durante los próximos 20 años. Lo anterior tras realizar una encuesta nacional en Bangladesh que les permitió concluir que mitigar dicho problema es posible siempre que se presenten dos condiciones o enfoques: 1. suministro de agua potable a aproximadamente 5 millones de personas expuestas a $> 200 \mu\text{g} / \text{L}$ de arsénico, y 2. desarrollar la capacidad local de análisis de arsénico, lo que según estiman respondería a miles de millones de dólares pero se traduciría en más productividad y mejor calidad de vida de los habitantes en cuestión.

Sin embargo, como se ha venido mencionando el efecto económico no solo está relacionado con la productividad del país y su relación con la mano de obra capacitada para trabajar que sufre los efectos del arsénico, pues en otra medida, durante años el pequeño agricultor se ha enfrentado a las consecuencias de la contaminación que impacta su economía a una escala menor, así lo exponen Alam, Shahe e Islam (2011) en su estudio “Assessing The Effect Of Arsenic Contamination On Modern Rice Production: Evidences From A Farm Level Study” que tenía por objeto de comprender los efectos negativos del arsénico en la producción de cultivos, para tal fin se tomaron tres subdistritos de Bangladesh de referencia (Kachua, Bhanga y Faridpur) contaminados con arsénico, como resultado los investigadores evidenciaron que la participación de los ingresos agrícolas fue mayor para las granjas de Bhanga (48%) en comparación con la de Kachua (46%). Más del 70% de los hogares de la muestra enfrentaron varios problemas relacionados con el arsénico en la producción de arroz. Dicha contaminación resultó en menos macollos, plantas más cortas, crecimiento desigual de las plantas y, finalmente, menor rendimiento. Como consecuencia también establecieron que el costo de la producción moderna de arroz Boro en las parcelas más contaminadas con arsénico fue un 5% más alto en comparación con las parcelas menos contaminadas, lo que resultó en un rendimiento bruto y una rentabilidad más bajos. Los investigadores generaron una alerta, tras el estudio, sobre la degradación de la tierra debido al uso continuo de riego contaminado con arsénico. Por último, y teniendo en cuenta una visión más general de los efectos e impactos en la economía del ciudadano del común Haq, Hanif, Hasnain y Durez (2012) realizaron una

encuesta sobre indicadores socioeconómicos básicos en Pakistán (distrito de Basti Rasul Pur, Rahim Yar Khan) que arrojó como resultado que la contaminación por arsénico de las aguas subterráneas en la parte sur del país ha puesto en peligro exponencialmente la vida humana traducido en que el 50% de las personas con síntomas de arsenicosis invirtieron el 60% de sus ingresos en gastos de hospitalización. Dentro de su estudio se destaca la cifra que da cuenta de que el 77% de las muestras de agua se encontraron con contaminación por arsénico, por lo anterior, concluyen los autores, existe una gran necesidad de instalar tecnologías sostenibles de mitigación de arsénico para el suministro de agua potable a la comunidad afectada.

La tabla 1 muestra los resultados de los estudios más relevantes encontrados en esta revisión:

Tabla 1. Resultados de los estudios más relevantes

Autores/ año	País	Año	Tipo estudio	Tamaño muestra	Objetivo	Características Población/ Región	Resultados
Karimi, N. y cols.	Irán	2016	Estudio analítico de muestreo exploratorio	Se recolectaron 20 muestras de agua, suelo y plantas de diferentes zonas	Determinar las concentraciones de arsénico (As) en agua, suelo y hojas de plantas que crecen en áreas contaminadas y evaluar el riesgo potencial de arsénico	N.A.	Los valores de dureza y contaminación de As eran altos. Todos los pozos poco profundos muestreados en este estudio tenían concentraciones de As más altas que el estándar de agua potable de la OMS de 10 µg / L. Además, la concentración de As de los pozos poco profundos de Babagorgor era muy alta (1233,01 µg / L), casi 120 veces mayor que el estándar de agua potable de la OMS (10 µg / L). Con relación a la textura del suelo: no hubo diferencias significativas entre los limos y el P total en los tres sitios de muestreo (p <0.05). De las 13 especies de plantas muestreadas en el área A, 7 especies tenían más de 10 mg / kg de AS en sus hojas, con Typha latifolia como mejor acumulador de As (76,70 mg / kg).
Ruíz-Huerta, EA y cols	México	2017	Estudio analítico de muestreo exploratorio	Se recolectaron muestras de suelo, agua de riego y maíz de tres campos.	Medir las concentraciones de As en suelos irrigados, investigar los controles geoquímicos de As disponible y medir la bioacumulación de As en el maíz.	Las áreas agrícolas muestreadas están ubicadas en la Sierra Madre Oriental de México. Estas áreas tienen predominantemente un clima seco semiárido y templado seco. La precipitación es escasa en el área, que varía de 300 a 500 mm / año	Se observó que las concentraciones de As excedieron el valor de referencia en el agua de riego en México, que es de 0.1 a 0.4 mg / L, lo que destaca un riesgo potencial de contaminación para el suelo y el cultivo de maíz. Once de las 13 muestras excedieron el valor de referencia mexicano de 22 mg / kg de As en suelo agrícola, lo que genera un riesgo potencial de contaminación para el cultivo de maíz. El As soluble en agua alcanzó hasta 50 mg / L con las concentraciones más altas de As extraíble en agua que se libera de los suelos más contaminados. Las concentraciones de As total en raíces variaron de 10,19 a 217,67 mg / kg, mientras que las concentraciones de As total en tallos alcanzaron hasta 28,43 mg / kg. Las concentraciones en hojas variaron de 0.10 a 13.36 mg / kg.
Shrivastava A. y cols.	India	2015	Revisión	N.A.	Revisión de las características físicas del As, factores que afectan la disponibilidad, movilidad y transformación y efectos en la salud humana y en los animales.	El depósito de sedimentos en estas regiones está influenciada por la vegetación regional y el clima. Las fuentes y distribución de As en estas llanuras están controladas en gran medida por la distribución de materia orgánica, condiciones oxicas-anóxicas, y flora microbiana autóctona.	Los efectos del arsénico en las plantas incluyen la inhibición de la germinación de semillas, disminución de la altura de la planta, labranza deprimida, reducción en el crecimiento de la raíz, necrosis, disminución del crecimiento del brote, y menor rendimiento de frutas y granos y a veces conducen a la muerte raíces descoloridas y atrofiadas, hojas marchitas y amarillas, y reducciones en el contenido de clorofila y proteína, y en capacidad fotosintética. Los efectos en la salud humana son melanosis, queratosis y leucomelanosis. El As también es un comprobado agente carcinógeno causando cánceres de piel, pulmón, vejiga, hígado y riñón. Otras manifestaciones incluyen la aterosclerosis en carótida, cardiopatía isquémica y deterioro de las capacidades cognitivas y las funciones motoras.
Haque, M. y cols	Bangladesh	2015	Estudio analítico observacional	En 14 variedades de patatas se hizo análisis químico para ver la	Estudiar el efecto de As en la reducción del rendimiento en variedades populares de	El suelo del sitio experimental era franco limo en textura, con un pH de 6,4, 0,68% de	La producción de biomasa y el rendimiento de las variedades de cultivo se reducen significativamente a concentraciones de As elevadas. Una aplicación de sólo 50 mg kg-

				capacidad de absorción del As.	patata y su acumulación	carbono orgánico, 800 mg kg-1 de nitrógeno total, 10,99 mg kg-1 de fósforo disponible, 19,5 mg kg-1 de potasio disponible y 10,5 mg de kg-1 de azufre disponible.	En suelo de As, disminuyó significativamente los rendimientos de cebada y hierba de centeno. Se encontró pérdida de rendimiento y en la producción de fruta y se vieron cambios morfológicos cuando las plantas se cultivaban en suelos de As tratados. Se encontró que en los frijoles (<i>Phaseolus vulgaris</i>), el rendimiento mostró una reducción mayor del 84% en comparación con los controles cuando el As estaba presente. La mayor acumulación en las cáscaras de tubérculo (5.997 mg kg-1) se registró con el 50 mg kg-1 en suelo tratado con As.
Khan, I. y cols	India	2018	Estudio analítico descriptivo	Se tomaron un total de 27 muestras representativas de agua subterráneas	Evaluar el impacto potencial de la eliminación de cenizas volantes de carbón en la calidad del suelo y las aguas subterráneas	El área de estudio está ubicada en una zona de clima subtropical húmedo que está marcada por temporadas de invierno y verano calurosos	Los valores más altos de CE en las muestras de agua conducen a la formación de suelo salino. Estos pueden ser excelentes (EC = <250); Buenos (250–750); Permisible (750–2250); Dudoso (2250–5000) e Inadecuado (> 5000). En el área de estudio, ninguna muestra cae dentro de la clase excelente y solo el 15% de las muestras tienen una buena clase de agua, mientras que más del 80% de las muestras están en el rango de límites permisibles y el 4% de las muestras está en la clase dudosa para fines de riego. Toda la población de la muestra tiene TDS > 500 (promedio 792) mg / L que corresponde a TDS más alto que los límites deseables de los estándares de agua potable.
Akhtar, S., y cols	Pakistán	2014	Caso Control / Experimental	Siembra de 10 semillas esterilizadas por maceta.	Evaluar la influencia tóxica de diferentes concentraciones de As (V) en germinación de semillas, crecimiento de plántulas y acumulación de metales	Agua subterránea de 32 distritos de Punjab contaminada con As.	Los diferentes tratamientos de As (V) en el suelo dieron como resultado una reducción significativa en la tasa de germinación, (G%), índice de germinación (GI) y tasa de germinación relativa (RGR), mientras que aumentó en el índice de respuesta al arsénico (ARI). El crecimiento y la biomasa se redujeron significativamente en un 40-90%, y el de las raíces se redujo en un 50-99%. Los síntomas morfológicos como el amarillamiento de los márgenes de las hojas, raíces y tallos atrofiados se observaron en dosis (0.05 mg) de As (V) en plántula de 4 semanas. Se concluyó que As (V) tiene potencial para reducir drásticamente el crecimiento de semillas y plántulas de trigo, acumulándose en los tejidos vegetales.
Idrovo A., y cols	Colombia	2015	Reporte de caso	5 hombres y 5 mujeres	Explorar la percepción sobre fuentes de polución, efectos adversos en salud y niveles de arsénico en cabello en individuos residentes cerca de una mina	San José de Uré es un municipio colombiano de Córdoba donde se concentra el 0,64% de la población total del departamento. Los habitantes no tienen agua potable ni sistema de alcantarillado.	Las concentraciones de arsénico en cabello variaron entre 0.011 y 0.26 µg/g. Se confirma la exposición a arsénico en los alrededores de la mina de ferroniquel, que se suma a la de NiO, mercurio y otros metales. Futuros estudios podrán explorar la ocurrencia de efectos adversos del arsénico como cáncer, dermatosis, hipertensión arterial y trastornos reproductivos y cardiovasculares.
Shi, G. y cols.	China	2013	Estudio Analítico Comparativo (caso-control)	Se seleccionaron alrededor de 75 sitios de muestreo para el estudio	Determinar los niveles de contaminación de As, Cu y Zn en el suelo y el trigo como resultado de la minería del carbón, estimar la migración de metales pesados / metaloides del suelo al trigo y granos, y evaluar el riesgo	El yacimiento de carbón de Huaibei es una de las minas de carbón más grandes de la provincia de Anhui, en el este de China. Se seleccionaron dos áreas de estudio (A y B) teniendo en cuenta la	Se detectaron concentraciones significativamente más altas (p <0.05) de metales / metaloides en las muestras de suelo del área B que en las del área A. En promedio, las concentraciones totales de As, Cu y Zn en las muestras de suelo del área B fueron 53.5, 90.4, y un 38,2% más alto que en el área A. La concentración de arsénico

					potencial para la salud de los habitantes	cercanía a la mina de carbón	en una muestra del área B estaba por encima del valor MAC de China (20 mg kg ⁻¹ para As). Las concentraciones de arsénico en aproximadamente el 94 y el 21% de las muestras de grano de trigo estuvieron por encima de los niveles de 24,1 y 38,9 µg kg ⁻¹ , por lo tanto, la contaminación alrededor de la mina de carbón representa un riesgo potencial para la salud de los habitantes locales, particularmente para las poblaciones rurales, debido al consumo de granos de trigo integral.
Flanagan, SV y cols	India	2012	Analítico Observacional Retrospectivo / Revisión	Encuesta nacional sobre la calidad del agua potable y estimación de la exposición crónica al arsénico en Bangladesh	Proporcionar evidencia sobre la exposición crónica al arsénico y las pérdidas económicas resultantes de la carga de mortalidad relacionada con el arsénico.	N.A.	Según estimaciones por el Fondo Monetario Internacional, el PIB per cápita de Bangladesh en 2009 fue 1465 de poder adquisitivo en dólares, con una economía en constante crecimiento y una pérdida promedio de 10 años de productividad por arsénico atribuible muerte, durante los próximos 20 años la mortalidad relacionada con el arsénico en Bangladesh (1 de cada 18 muertes) podría conducir a una pérdida de US\$ 12,5 mil millones. Debido a que la pérdida en el PIB atribuible a las muertes no tiene en cuenta los costos en salud u otros costos para la sociedad, probablemente subestima el impacto económico total. Se puede esperar que esta carga crece a medida que el país se desarrolla y se aumenta la expectativa de vida.
Islam ul Haq, LC y cols	Pakistán	2012	Descriptivo	El tamaño de la muestra se tomó como aquella casa donde la concentración de arsénico era ≥ 100 ppb	Analizar los indicadores socioeconómicos básicos y sus impactos en el estado de salud de las personas y estudiar los impactos en la salud del consumo de agua contaminada con arsénico	El estudio de investigación se llevó a cabo en Rasulpur tehsil de Sadiqabad está ubicada cerca del río Indo en el distrito de Rahim Yar Khan. Las personas que viven en esta zona son generalmente pobres, tienen pequeñas parcelas de tierra y la mayoría trabaja en el campo. Los pozos tubulares profundos son la única fuente de agua para uso doméstico y agrícola	La encuesta sobre los efectos nocivos en la salud humana debido a la contaminación por arsénico reveló que los hombres de los hogares rurales son generalmente más susceptibles a la arsenicosis que las mujeres. La encuesta también indicó que los aldeanos con ingresos anuales más bajos tienen más probabilidades de sufrir arsenicosis. El 77 % de las muestras de agua se encontraron con contaminación por arsénico, el 50 % de las personas se encontraron con síntomas de arsenicosis y el 60% de sus ingresos se gastaba en hospitalización. La población desconocía los impactos adversos de la contaminación por arsénico del agua potable.

Discusión:

Las actividades industriales y en general el actuar natural del ser humano genera desechos que producen altas cantidades de metales pesados como el Arsénico en Colombia, un país agrícola por excelencia, infortunadamente dichos residuos resultan en cercanías a las actividades de cría de animales para consumo, riego para vegetales y tubérculos de la canasta alimentaria y riesgos laborales y de salud por su proximidad a fuentes hídricas contaminadas o

por intoxicación de acuerdo con la labor que desempeñan dentro de sus quehaceres profesionales.

Tras esta revisión se destaca la presencia en matrices de suelo y agua, de niveles de Arsénico por encima de lo permitido por entidades como la Organización Mundial de la Salud OMS, hecho que sin duda genera unos efectos en el equilibrio del ecosistema en que se presentan dichas alteraciones que conllevan a consecuencias de tipo económicas, de salubridad y sobre la misma naturaleza.

La contaminación del suelo y el agua con arsénico (As) representa una grave amenaza para la salud humana y el ganado en todo el mundo. [...] Las actividades agrícolas se están practicando en tierras contaminadas con As, sabiendo el hecho de que un alto nivel de As en el suelo aumenta el riesgo de contaminación de la cadena alimentaria y la inutilidad del suelo (Chakraborty, Bhakat e Islam, 2017).

Lo anterior, no solo expone las consecuencias que sobre la naturaleza del suelo pueden presentarse ante dichos índices sobre los niveles permitidos de Arsénico, pues en segunda medida expone parte de la discusión planteada en esta revisión, esto puede derivar en efectos sobre la economía de los agricultores del país, toda vez que si la inutilidad del suelo es una consecuencia, el agricultor que riega sus cosechas con agua contaminada o realiza sus siembras en zonas con altos niveles de Arsénico corre el riesgo de que su proceso productivo tenga fecha de caducidad o sea un recurso finito.

Es entonces cuando se hace necesario profundizar en elementos que den cuenta de más características que posteriormente se logren correlacionar con factores económicos. Es el caso del estudio realizado en México que establece consecuencias en el desarrollo cognitivo de la población infantil por exposición al metal pesado. Si ello se traduce en un futuro a importantes diferencias o debilidades en un ambiente laboral, podrían empezarse a vislumbrar un efecto económico directo de la presencia del arsénico en la dieta de los pobladores de una región.

Ahora bien, las altas concentraciones de Arsénico en los suelos se relacionan con los procesos económicos y productivos, y para el caso colombiano podría estar representando también un problema de salud pública que si bien no ha sido estudiado ampliamente en el territorio, el hecho de investigarlo podría ser una necesidad en tanto se han medido los niveles de concentración y efectos en la salud de las personas dejando de lado las investigaciones

posteriores que estarían correlacionadas con efectos y consecuencias en otras esferas como la medio ambiental y económica.

En términos de salud, el mayor riesgo para los residentes es la inhalación de partículas de polvo derivadas del suelo, la ingestión de partículas del suelo y el consumo de alimentos contaminados. Los niños pequeños son más vulnerables debido a su bajo peso corporal y una mayor cantidad de tierra ingerida debido al estilo de vida influenciado por el clima y las circunstancias sociales. [...] Otra fuente de ingesta de elementos potencialmente tóxicos puede ser el consumo de frutas y verduras contaminadas. Hasheela y col. (2014), por ejemplo, muestran altos contenidos de metales en la mayoría de frutas y verduras (frutos de marula, calabazas, chile y tomate) que se cultivan en el distrito norte de la localidad de Tsumeb. [...] Se ha demostrado que la intoxicación crónica por arsénico puede provocar enfermedades de la piel (eccema, hiperqueratosis, ulceración, cáncer de piel), hipotensión, alteraciones de la sangre (anemia, leucemia), insuficiencia renal y neuropatología (Křibek, et. al., 2016).

Así se establece la correlación inminente entre la presencia del metal pesado y sus efectos en la salud de las personas, a pesar de la falta de exploración en nuestro país este artículo da cuenta que ya se han ido interesando algunas organizaciones por indagar en estos temas, así es posible que de acuerdo con lo evidenciado este se convierta en un tema de interés para las entidades del orden nacional en Colombia. Más aún si se tiene en cuenta que su efecto en salud posteriormente puede verse reflejado en otros panoramas de la vida como la economía, como bien se ha expuesto en este análisis.

También es indispensable analizar, en Colombia, así como en otros países, investigaciones que den cuenta de los costos del tratamiento de las enfermedades que se puedan asociar directamente con la presencia del arsénico en el suelo que sirve para el cultivo en el país, así como el agua de los ríos que alimentan los animales que posteriormente son consumidos por humanos, lo que genera una correlación entre la presencia del metal pesado arsénico y sus efectos negativos en la salud de las personas, estudios alrededor del mundo han dejado por sentado en sus conclusiones y recomendaciones las implicaciones de la presencia del metal, desde la gestación hasta la edad adulta; ahora bien, las exploraciones al respecto a pesar de ser concluyentes no develan lo que sucede en Colombia, pues en su gran mayoría están relacionadas con

población en otros países y muestras exploratorias que si bien cuentan con características similares al contexto colombiano no es posible generalizar.

Lo anterior, hace inminente la necesidad de realizar investigaciones más profundas sobre los efectos que trae para la salud pública en el país la presencia de grandes concentraciones de arsénico, ya sea por exposición o consumo, y sobre todo la exploración sobre qué lugares corresponden a aquellos con un riesgo inminente de ofrecer características críticas de concentración que alteren otras esferas de la vida.

Si bien ya está demostrado la indudable afectación en la salud de las poblaciones expuestas a la exposición constante en altas concentraciones del metal, continua siendo insuficiente la información que se rescata sobre las matrices de suelo y agua, así como en la economía de las personas (en este caso particular, especialmente en los agricultores, que viven de recursos extraídos del suelo y en inversión hospitalaria y en salud de las personas que se ven afectadas de enfermedades crónicas de alto costo asociadas a dichos altos niveles de Arsénico) lo que es importante discutir más ampliamente a fin de que las entidades responsables de su control profundicen en investigaciones que permitan adoptar las medidas necesarias para mitigar riesgos relacionados con las cantidades de Arsénico, en otras esferas de la vida.

Cabe resaltar que los artículos explorados gozan de dos características que para el caso de esta revisión pueden generar una limitación, el primero de ellos, corresponde al hecho que en Colombia se han explorado las concentraciones del metal arsénico, pero no sus efectos directos sobre el suelo, el agua, la salud pública, la economía y otros factores, quedándose solo en datos de niveles que no generan un impacto sobre las políticas públicas que se abordan al respecto, allí es donde vale la pena exponer el contexto que se presenta a continuación, que no es otro que aquel al que se ve enfrentada la región en materia de investigaciones sobre el metal pesado.

En Latinoamérica, se estima que por lo menos 4,5 millones de personas beben en forma permanente agua con niveles de arsénico que ponen en riesgo su salud. La cantidad de arsénico en el agua, especialmente en el agua subterránea, llega en algunos casos a superar la concentración de 1 000 $\mu\text{g/L}$. [...] Se estima que en Latinoamérica los alimentos contribuyen hasta con 50% de la ingesta de AsT19. El monitoreo de productos alimenticios indica que el arsénico está presente en todos los alimentos (Medina, Robles, Mendoza y Torres, 2018).

A pesar de la limitación de información en nuestro país, datos como el mencionado anteriormente dan cuenta que el problema ya es tema de discusión en América Latina, lo que no dista de lo manifestado en esta revisión, toda vez que hace cada vez más necesario rescatar el valor de traducir en conocimiento los datos de concentraciones de Arsénico, evitando mantenerlos únicamente en mediciones que distan de valor para establecer sus consecuencias en la salud humana, animal, los efectos ambientales y ocupacionales e incluso hasta sus impactos económicos en el pequeño agricultor.

Muy poco se ha abordado el impacto directo sobre las matrices de suelo y agua de la presencia del metal pesado en altas concentraciones, a pesar de ser Colombia un país agrícola y contar no solamente con grandes afluentes hídricos que son al fin y al cabo los que riegan las cosechas de los campesinos y alimentan los animales que posteriormente se convierten en proteínas para la canasta familiar, así como las frutas, los vegetales y las legumbres. Así las cosas, es indispensable ampliar los estudios en este ámbito.

Al respecto, es de anotar que su simple análisis hace insuficiente lo que se puede lograr respecto a una mejor cultura del manejo de residuos, el tratamiento de los recursos naturales o simplemente la preservación y el cuidado del medio ambiente, en tanto que el valor numérico no representa por sí mismo sino un dato, por el contrario a través de esta revisión se ha hecho cada vez más evidente la necesidad de ampliar las investigaciones a información que dé cuenta de los efectos en toda esfera de la vida de la presencia de altos indicadores de contaminación por arsénico en las matrices de suelo, agua, en materia medio ambiental, para la salud pública, en la esfera económica e incluso en otras tantas situaciones de la vida cotidiana.

Conclusiones:

Se ha establecido que, según lo dispuesto por investigaciones en otros países del mundo, e incluso en casos de estudio dentro del continente, es aceptable asegurar que los altos niveles de arsénico están directamente relacionados con un desequilibrio natural en las matrices de suelo y agua (en las zonas objeto de exploración) generando efectos en sus características naturales como el ph, la actividad microbacteriana y otras. Esto no es diferente que un resultado directo de la presencia del metal pesado arsénico en

concentraciones por encima de los límites “permitidos” o aceptados por organizaciones como la OMS, lo que trasciende generando otras consecuencias asociadas susceptibles de ser exploradas a medida que se generan o avanzan las investigaciones al respecto, en Colombia.

Por otra parte, tras la revisión se lograron evidenciar consecuencias en la salud pública que van más allá de afecciones a la salud por exposición o consumo de agua, pues tras revisar diferentes casos, las comunidades seriamente expuestas son aquellas que se alimentan del agro; no solamente la absorción del metal pesado se da por consumo de agua contaminada, o exposición a herbicidas, pues el agua de riego y que alimenta los animales que posteriormente son bienes de consumo de la canasta familiar están seriamente expuestos a tener altos índices de contaminación por arsénico. Así mismo, dentro de los procesos productivos como la industria y la minería legal que son parte de las actividades económicas del país, presentan casos de exposición al metal que puede considerarse relacionada con su ocupación.

Todo lo anterior, desata efectos como altos costos asociados con el tratamiento de las enfermedades graves, como las resaltadas durante la revisión, y las pérdidas de empleo y habilidades productivas en razón a los inconvenientes producidos por las patologías graves que se asocian a las altas concentraciones de arsénico, bien sea por su consumo o su exposición.

En tercera medida se presenta un factor que hasta ahora no se ha correlacionado, este responde a los impactos económicos que la presencia del metal pesado en las zonas de cultivo puede representar para el agricultor, este se deriva en dos aspectos: por un lado, el crecimiento de los cultivos, se ha establecido, se ve afectado por la presencia del metal pesado en altas concentraciones, generando con el tiempo y la exposición inutilidad e infertilidad de los suelos para la actividad agropecuaria y tras la revisión es posible que con futuras investigaciones en el país se pueda llegar a establecer efectos en los animales de engorde como pérdidas de peso, enfermedades o incluso la muerte.

Por otro lado, podrían causar pérdidas económicas en el agricultor de demostrarse que la alimentación proveniente de los suelos agrícolas del país por estar expuesta a contaminación por arsénico pueden generar enfermedades de alto costo en aquellos que de forma regular consumen sus productos o animales terrestres y acuáticos, lo que no solo

abriría la ventana a una revisión de las fuentes alimentarias en general en el país, sino que se convertiría en un medio de investigación y discusión incluso para en el futuro mitigar la presencia o aparición de enfermedades de alto costo que presionan el sistema de salud del país.

Por último, se da cuenta de la falta de estudios en Colombia relacionado con las consecuencias de las altas concentraciones de arsénico en el país, y por consiguiente, la falta de exploración sobre todos los efectos asociados en diferentes esferas (salud, medio ambiente y economía), capaces de determinar antecedentes y rutas de acción para mitigar las posibles secuelas en la vida cotidiana de los habitantes, en caso de establecerse en el país una correlación entre las variables. O, por el contrario, determinar la calidad alimentaria de los productos de consumo humano por la no presencia de metales pesados en concentraciones por encima de los límites permitidos en los suelos y ríos de Colombia. Según los datos sean arrojados por investigaciones que en la actualidad no existen pero que están cobrando gran relevancia.

Recomendaciones

Principalmente se recomienda la ampliación de estudios en Colombia que trasciendan a las meras mediciones de las concentraciones de Arsénico presentes en matrices de suelo y agua o muestras de cabello y sangre de comunidades, mismas que por su naturaleza limitan la información a simplemente un dato numérico que carece de sentido sin un análisis más profundo.

Se confía que tras esta revisión las entidades encargadas de los procesos de revisión y cuidado del orden gubernamental que se encargan de cuidar la salud de las personas, los intereses medioambientales y la economía nacional, adopten medidas que mitiguen la aparición de altas concentraciones de arsénico en el país, a través de la generación de políticas públicas que sean más cuidadosas y focalizadas sobre el manejo de residuos en industrias, alteraciones al medio ambiente por parte de grupos delincuenciales o en labores mineras, de cualquier naturaleza, aprobadas por las entidades territoriales y otras derivadas de las actividades antrópicas.

Bibliografía

Alam, M. Shahe y Islam, M., (2011). "Assessing The Effect Of Arsenic Contamination On Modern Rice Production: Evidences From A Farm Level Study," Bangladesh Journal of Agricultural Economics, Bangladesh Agricultural University, vol. 34 DOI: 10.22004/ag.econ.199331

Ale-Mauricio, D., Villa G., y Gastañaga, M. (2018). Concentraciones de arsénico urinario en pobladores de dos distritos de la región Tacna, Perú, Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica, <https://dx.doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3693>

Alonso, Latorre, Castillo y Brandão (2014) Environmental occurrence of arsenic in Colombia: A review, Environmental Pollution. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.12.009>.

Alonso, D., Pérez, R., Okio, C., y Castillo, E. (2020) Assessment of mining activity on arsenic contamination in surface water and sediments in southwestern area of Santurbán paramo, Colombia. Journal of Environmental Management, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110478>.

Arshad, J., Iqbal, F., Sajjad, A., Mehmood, Z. y Murtaza, G. (2014) Pollution Status of Pakistan: A Retrospective Review on Heavy Metal Contamination of Water, Soil, and Vegetables. BioMed Research International. <https://doi.org/10.1155/2014/813206>

Chakraborty, A., Bhakat, K. y Islam, E. (2017). Arsenic Contamination in Agricultural Soil Reduces Metabolic Activity of Total and Free-Living Nitrogen-Fixing Bacteria as Revealed by Real-Time qPCR. Soil and Sediment Contamination: An International Journal. https://www.researchgate.net/publication/321893643_Arsenic_Contamination_in_Agricultural_Soil_Reduces_Metabolic_Activity_of_Total_and_Free-Living_Nitrogen-Fixing_Bacteria_as_Revealed_by_Real-Time_qPCR

Cho Y., Seo, S., Choi, S., Lee, S., Kim, K., Kim, H., Choi, J. (2012) Association of arsenic levels in soil and water with urinary arsenic concentration of residents in the vicinity of closed metal mines, International Journal of Hygiene and Environmental Health <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S143846391200065X?via%3Dihub>

Flanagan SV, Johnston RB, Zheng Y. (2012) Arsenic in tube well water in Bangladesh: health and economic impacts and implications for arsenic mitigation. Bull World Health Organ doi: [10.2471/BLT.11.101253](https://doi.org/10.2471/BLT.11.101253). Epub 2012 Sep 14. PMID: 23226896; PMCID: PMC3506399.

George, C., Sima, L., Arias, M., Mihalic, J., Cabrera, L., Danz, D., Checkley, W., y Gilman, R. (2014). Arsenic exposure in drinking water: an unrecognized health threat in Peru. Bulletin of the World Health Organization, <https://doi.org/10.2471/BLT.13.128496>

Gómez, O., Díaz, A., Blandón S. y Martínez A. (2016) Presencia de elementos contaminantes como Cd, As, Pb, Se y Hg en carbones de la zona Cundiboyacense, Colombia. Rev.investig.desarro.innov, 7(1), 141-150. doi: 10.19053/20278306.v7.n1.2016.56041411

González F., Sánchez D., Varela N., Sandoval, C., Quiñones L. y Johnson B. (2020) As3MT and GST polymorphisms influencing arsenic metabolism in human Exposure to drinking groundwater <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/177222>

Haq L., Hanif, W., Hasnain G, y Durez S. (2012) Socio-economic Impacts on Human Life in Arsenic Affected Area of Basti Rasul Pur, Rahim Yar Khan, Pakistan. Sustainable Agriculture Research Archives Vol. 1, No. 2 DOI:10.5539/sar.v1n2p100

Hernández y Marrugo J. (2016). Trihalometanos y arsénico en el agua de consumo en los municipios de Chinúy Corozal de Colombia: evaluación del riesgo a la salud. Ingeniería y Desarrollo, <https://doi.org/10.14482/inde.33.2.6368>

Idrovo, A., Rivero C., y Amaya C. (2017). Perception of pollution and arsenic in hair of indigenous living near a ferronickel open-pit mine (Córdoba, Colombia): Public health case report. Revista de la Universidad Industrial de Santander. <https://doi.org/10.18273/revsal.v49n1-2017011>

Islam, M., Karim, R., Zheng, X. y Li, X. (2018). *Heavy Metal and Metalloid Pollution of Soil, Water and Foods in Bangladesh: A Critical Review*. International journal of environmental research and public health. <https://doi.org/10.3390/ijerph15122825>

Křibek, B., Majer, V., Knésl, I., Keder, J., Mapani, B., Kamona, F., Mihaljevič, M., Ettler, V., Penížek, V., Vaněk, A., y Sracek, O. (2016) *Contamination of soil and grass in the Tsumeb smelter area, Namibia: Modeling of contaminants dispersion and ground geochemical verification*, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0883292715300111>

Kobina, Marschner, Shaheen, Wang, Wang y Rinklebe, (2020) Arsenic contamination in abandoned and active gold mine spoils in Ghana: Geochemical fractionation, speciation, and assessment of the potential human health risk, Environmental Pollution, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114116.L>

Lourdes J., Orsag, V. y Niura, A. (2012). Evaluacion de la presencia de metales pesados y arsénico en suelos agrícolas y cultivos en tres micro-cuencas del municipio de poopó. Revista Boliviana de Química, <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=426339677012>

Mayorga, P., Moyano A., y García A. (2014) Arsénico en Aguas Subterráneas de Castilla y León y Su Impacto en Suelos y Cultivos de Zanahoria. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal* <https://www.redalyc.org/pdf/3236/323632128002.pdf>

Manju R, Hegde AM, Parlees P, Keshan A. (2017) Environmental Arsenic Contamination and Its Effect on Intelligence Quotient of School Children in a Historic Gold Mining Area Hutti, North Karnataka, India: A Pilot Study. *J Neurosci Rural Pract*10.4103/jnrp.jnrp_501_16. PMID: 28694614; PMCID: PMC5488555.

McClintock, T., Chen, Y., Bundschuh, J., Oliver, J, Navoni, J., Olmos, V., Lepori, E., Ahsan, H., y Parvez, F. (2012). Arsenic exposure in Latin America: biomarkers, risk assessments and related health effects. *The Science of the total environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.08.051>

Medina, M., Robles, P., Mendoza, M., y Torres, C., (2018) Ingesta de arsénico: el impacto en la alimentación y la salud humana. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública* <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.351.3604>

Monroy, R., y Espinoza, A., (2018) Factores que intensifican el riesgo toxicológico en comunidades expuestas al arsénico en agua. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=441955208012>

Mora, D., Urbina A., y Chamizo, H. (2015) Estudio ecológico sobre insuficiencia renal crónica y arsénico en las aguas para consumo humano por distritos en Guanacaste. *Revista Tecnología en Marcha*. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/2337/2126

López, L. y Diaz S. (2018) Estimación de riesgo carcinógeno por exposición crónica al arsénico a través del agua de consumo en la Puna, Jujuy. *Rev. argent. salud pública* vol.9 no.37. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-810X2018000400003&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Pariani, A., Perea M., Castaldo, A., García R., Giorgis, A., Angón E., Lamela G., y Hecker, F. (2017). Concentración de flúor y arsénico en el agua de red de General Pico (Argentina) durante el periodo 2007-2013. *Ciencia Veterinaria*, <https://doi.org/10.19137/cienvet20141618>

Pérez, F., Valladares, B., Hernández, E., Oliva, B., Del Cid, M., y Jayares, P. (2015) Determinación de arsénico y mercurio en agua superficial del lago de Atitlán. *Revista Ciencia, Tecnología y Salud*. <file:///C:/Users/User/Downloads/58-641-2-PB.pdf>

Ramírez, A. (Septiembre de 2013) *Scielo Perú*. Exposición ocupacional y ambiental al arsénico. Actualización bibliográfica para investigación científica. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-55832013000300014

Rangel E., Montañez L., Luévanos M., y Balagurusamy N. (2015). Impacto del arsénico en el ambiente y su transformación por microorganismos. *Terra Latinoamericana*, http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792015000200103&lng=es&tlng=es.

Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., González, E., (2016) Contaminación por Metales Pesados: Implicaciones en Salud, Ambiente y Seguridad Alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*. https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/article/view/5447/4518

Revelli, G., Sbodio, o., y Costa, G. (2016). Estudio epidemiológico de arsénico en agua subterránea para consumo humano en el territorio del Cluster Lechero Regional, Argentina. <http://biologiadelcelular.webs.fcm.unc.edu.ar/files/2012/03/Material-TP1-2017-Mesa-D.pdf>

Rosas, J., Guzmán, J., Hernández, M. y Hinojosa, L. (2015) Evaluación de la transferencia y especialización de Arsénico en cultivos de maíz (*Zea mays*) <https://1library.co/document/nzw4517q-evaluacion-transferencia-especiacion-arsenico-cultivos-maiz-zea-mays.html>

Ruiz E., de la Garza A., Gómez J., Castillo, F., Avalos M., SenGupta, B., y Martínez N. (2017). Arsenic contamination in irrigation water, agricultural soil and maize crop from an abandoned smelter site in Matehuala, Mexico. *Journal of Hazardous Materials*. <https://doi-org.ez.urosario.edu.co/10.1016/j.jhazmat.2017.06.041>

Ruiz E., y Armienta M. (2012). Acumulación de arsénico y metales pesados en maíz en suelos cercanos a jales o residuos mineros. *Revista internacional de contaminación Ambiental*. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992012000200001&lng=es&tlng=es.

Shrivastava A, Barla A, Singh S, Mandraha S y Bose S. (2017) Arsenic contamination in agricultural soils of Bengal deltaic region of West Bengal and its higher assimilation in monsoon rice. 10.1016/j.jhazmat.2016.11.022.

Singh R, Singh S, Parihar P, Singh VP, Prasad SM. (2015) Arsenic contamination, consequences and remediation techniques: a review. 10.1016/j.ecoenv.2014.10.009.

Teixeira, M., Caldeira A., Fernandes, C., Chakmeng J. (2020) *Arsenic contamination assessment in Brazil – Past, present and future concerns: A historical and*

critical review, Science of The Total Environment.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720317307>

Tong J, Guo H, Wei C. (2014) Arsenic contamination of the soil-wheat system irrigated with high arsenic groundwater in the Hetao Basin, Inner Mongolia, China. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.07.073.