

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA



EVALUACION DE ARSENICO EN LAS AGUAS DEL LAGO DE ILOPANGO
POR LA TECNICA COLORIMETRICA DE TIRAS REACTIVAS MQUANT®
ARSENIC TEST 1.17917.0001.

TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD TRABAJO DE INVESTIGACION

PRESENTADO POR

JUAN JOSE GUARDADO RIVERA
NORMA TERESA MOLINA MONROY

PARA OPTAR AL GRADO DE
LICENCIADO(A) EN QUIMICA Y FARMACIA

JULIO 2023

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMERICA.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

MAESTRO ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL

MAESTRO FRANCISCO ANTONIO ALARCON SANDOVAL

FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA

DECANA

LICDA. REINA MARIBEL GALDAMEZ

SECRETARIA

LICDA. EUGENIA SORTO LEMUS

DIRECCION DE PROCESOS DE GRADO

DIRECTORA GENERAL

M.Sc. Ena Edith Herrera Salazar

TRIBUNAL EVALUADOR

**ASESORES DE AREA EN INDUSTRIA FARMACEUTICA, COSMETICA Y
VETERINARIOS**

Licda. Corina Ivette Interiano Ramírez

M.Sc. Enrique Posada Granados

DOCENTE ASESOR

Lic. Henry Alfredo Hernández Contreras

AGRADECIMIENTOS

A nuestro asesor Lic. Henry Hernández, por habernos dado la oportunidad de realizar esta investigación, brindarnos su apoyo en esta última etapa.

A mi compañero de tesis Juan José Guardado, que confió en mi para poder realizar esta etapa de nuestra carrera que con mucho sacrificio y dedicación se ha culminado.

A mi compañera de tesis, Norma Molina, por compartir esta experiencia final en nuestra etapa de formación, que luchó y trabajó para poder llevar a cabo este proyecto, que a pesar de todas las dificultades que atravesamos en el desarrollo de esta última etapa, logramos afrontarlas y solucionarlas como equipo y a Héctor, esposo de mi compañera de tesis, quien fue de mucha ayuda para el desarrollo de nuestra investigación.

A RGH El Salvador, por habernos brindado ayuda en la obtención del instrumento que utilizamos en la investigación.

A M.Sc. Enrique Posada Granados y Licda. Corina Ivette Interiano Ramírez por formar parte de nuestro tribunal evaluador y guiarnos para obtener un excelente resultado en este proyecto.

A la Universidad de El Salvador que nos brindó la oportunidad de crecer profesionalmente, a la Facultad de Química y Farmacia junto a los docentes que a lo largo de toda la carrera estuvieron dispuestos a compartir su conocimiento.

Juan José Guardado

Norma Teresa Molina

DEDICATORIA

A Dios por permitirme llegar hasta esta etapa de superación en mi vida, y haberme dado fuerza en cada momento difícil de mi carrera. Sin duda alguna su misericordia y amor me acompañaron durante todo proceso de la universidad.

A mi madre que con su esfuerzo y animo me brindó todo su amor y comprensión en cada momento de mi carrera profesional, enseñándome a ver más allá de los obstáculos y momentos difíciles, con sus palabras de aliento y sabiduría.

A mi familia, principalmente a mis tíos, Rosa Rivas y Joel Rivas, por brindarme su apoyo tanto emocional como económico, durante todo mi proceso de formación, por brindarme la oportunidad de alcanzar este nivel de estudio académico.

A mis hermanos, Guillermo Rivera y Andy Rivera, por estar siempre dispuestos a brindarme su apoyo en el momento que más lo necesité, en todo el proceso de mi carrera.

Por último, a todas las personas que conocí durante todo mi proceso de formación, dentro y fuera de la universidad, quienes me brindaron su apoyo y que con sus palabras me motivaron, de corazón muchas gracias.

Juan José Guardado Rivera

DEDICATORIA

A Dios, por haberme cuidado durante mi carrera, por darme sabiduría para culminar este proceso y sentir siempre su presencia en las situaciones difíciles que se presentaron en el trayecto.

A mis padres Silvia Monroy de Molina y José Edgardo Molina que siempre han estado presentes desde el primer día que decidí estudiar mi carrera profesional apoyándome, brindándome todo su amor y paciencia diciéndome que no me rindiera, sintiéndose orgullosos de mí, de mis logros en cualquier momento, con el gran apoyo que siempre sentí de su parte puedo decir: ¡mami y papi lo logramos!

A mi esposo Héctor Amaya que Dios lo puso en mi vida en el momento indicado, por toda la comprensión que me ha dado a lo largo de estos años y por su amor que cada día me impulsa a seguir mis sueños.

A mis abuelitos mamá Tere, papá Meme y mamá Melina que ya están en el cielo y mi abuelito Carlos que está con nosotros, gracias por creer en mí y darme siempre ánimos para no rendirme.

A mi hermano Carlos, por apoyarme en todo el proceso de mi carrera.

A mis amigas Ismenia Amaya y Mercedes Aquino, que han sido de las personas más bonitas que me dejó la universidad, por su amistad sincera, por esos ánimos de seguir adelante que me brindaron y por estar presentes en momentos importantes en mi vida. Las quiero mucho.

Finalmente, a todas aquellas personas que conocí a lo largo de este trayecto que me brindaron su apoyo. Muchas gracias.

Norma Teresa Molina Monroy

INDICE GENERAL

	Pág. N°
Resumen	
Capítulo I	
1.0 Introducción	XVII
Capítulo II	
2.0 Objetivos	
Capítulo III	
3.0 Marco teórico	21
3.1 El agua	21
3.2 Propiedades físicas y químicas del agua	21
3.3 Usos del agua	22
3.4 Calidad del agua	23
3.5 Contaminación del agua	23
3.6 Fuentes de contaminación	24
3.7 Materiales pesados	25
3.8 Arsénico [As]	27
3.8.1 Propiedades del arsénico	27
3.8.2 Distribución y usos	28
3.8.2.1 Arsénico elemental	28
3.8.2.2 Compuestos inorgánicos trivalentes	28
3.8.2.3 Compuestos de arsénico orgánico	29
3.8.3 Origen del arsénico	30
3.8.4 Origen antropogénico	31
3.8.5 Efectos en la salud	33
3.8.6 Incidencia de cáncer	36
3.9 Lago de Ilopango	37
3.9.1 Volcán Xilotepec	37
3.9.2 Ubicación del Lago de Ilopango	38

3.10	Análisis colorimétrico para prueba de tiras de ensayo	40
3.10.1	Técnicas colorimétricas	40
3.10.2	Color	40
3.10.3	Propiedades del color	41
3.10.4	Método colorimétrico MQuant® Arsenic Test 1.17917.0001	41
3.10.5	Consejos para un mejor resultado	42
3.10.6	Componentes del KIT	42
3.11	Regulaciones de agua superficiales	43
3.12	Matriz de riesgo	43
3.13	Pasos para realizar matriz de riesgo	44
3.14	Mapa de riesgos	45
Capítulo IV		
4.0	Diseño metodológico	47
4.1	Tipo de estudio	47
4.2	Investigación bibliográfica	47
4.3	Investigación de campo	47
4.4	Parte práctica	47
4.4.1	Selección de los puntos para toma de muestras de agua	47
4.4.2	Procedimiento del muestreo	49
4.4.3	Preparación de solución stock y soluciones estándar para arsénico	50
4.4.4	Procedimiento para el análisis de los estándares	52
4.4.5	Procedimiento para el análisis de las muestras	53
4.5	Especificaciones de los criterios de aceptación	55
Capítulo V		
5.0	Resultados y discusión de resultados	57
5.1	Geolocalización de los puntos de muestreo	57
5.2	Análisis de muestras recolectadas	61
5.3	Resultados de análisis de arsénico	66
5.3.1	Comparación de niveles de arsénico con investigaciones	74

Capítulo VI	
6.0 Conclusiones	77
Capítulo VII	
7.0 Recomendaciones	79
Bibliografía	
Glosario	
Anexos	

INDICE DE CUADROS

Cuadro N°	Pág. N°
1. Puntos seleccionados para muestreo	48

INDICE DE FIGURAS

Figura N°	Pág. N°
1. Fuentes de contaminación difusa y contaminación puntual	25
2. Ciclo del Arsénico en el medio ambiente	32
3. Hiperhidrosis palmar	34
4. Hiperqueratosis epidermolítica	35
5. Melanodermia	35
6. Persona con hepatitis	36
7. Ubicación de lago de Ilopango	40
8. Intervalo de medida de la escala colorimétrica	42
9. Kit MQuant® Arsenic Test	43
10. Ejemplo de matriz de riesgo	44
11. Selección de punto de partida	57
12. Ubicación de recolección de muestras	60
13. Resultados de concentración de arsénico	69
14. Representación colorimétrica de la concentración de [As]	73
15. Concentraciones de arsénico en las aguas del lago de Ilopango por el método de (ICP-AES)	74
16. Concentraciones de arsénico en las aguas del lago de Ilopango por el método colorimétrico MQuant® Arsenic Test	74

INDICE DE TABLAS

Tabla N°	Pág. N°
1. Límites permisibles de arsénico en agua	55
2. Sitios y coordenadas de toma de muestras	58
3. Resultados de los análisis del estándar de arsénico	61
4. Resultados del análisis	62
5. Análisis estadístico de concentraciones obtenidas por el método colorimétrico MQuant® Arsenic Test	64
6. Resultados obtenidos de muestra de 21 puntos seleccionados	66
7. Evaluación estadística de resultados	69
8. Prueba F para varianzas de dos métodos iguales	70
9. Prueba F para varianzas de dos métodos desiguales	71
10. Resultados obtenidos y especificaciones de organizaciones	72

INDICE DE ANEXOS

Anexo N°

1. Preparación del equipo para la realización de la toma de muestra
2. Viñeta utilizada para la identificación de las muestras
3. Resultados del análisis de estándar de arsénico (0.02 ppm, 1 ppm, 3ppm)
4. Equipo kit MQuant® Arsenic Test 1.17917.0001 para proceder al análisis de las muestras
5. Escala colorimétrica del kit MQuant® Arsenic Test 1.17917.0001
6. Procedimiento realizado para el análisis
7. Resultados de los análisis de las muestras
8. Criterio de aceptación de concentración de arsénico de EPA
9. Criterio de aceptación de concentración de arsénico de NSO 13.49.01:09
10. Criterio de aceptación de concentración de arsénico de OMS
11. Criterio de aceptación de concentración de arsénico de EPA
12. Certificado de análisis de método MQuant® Arsenic Test 1.17917.0001

RESUMEN

El Arsénico [As] es un metal pesado perteneciente al grupo de los metaloides, el cual en muchas ocasiones suele encontrarse en los cuerpos de agua contaminándolos y volviéndolos no aptos para el consumo humano, esta contaminación puede darse de manera natural, así como de manera antropogénica. El arsénico en agua es un contaminante muy tóxico para el ser humano, provocando desde efectos gastrointestinales, daño a los principales órganos y hasta diversos tipos de cánceres. Las aguas de los lagos de origen volcánico suelen presentar niveles de arsénico por encima de los valores permisibles, siendo este el caso del Lago de Ilopango que se encuentra ubicado en la caldera de un volcán, situado entre los departamentos de San Salvador, Cuscatlán y La Paz.

En esta investigación realizada en el mes de agosto de 2022, se determinó la concentración de Arsénico de manera in situ, se recolectaron 21 muestras de agua distribuidas en las zonas con mayor presencia de habitantes, en las aguas de la periferia del lago de Ilopango, con una distancia de alrededor de 15 metros de la playa a una profundidad de 8 metros y para el análisis se utilizó el método semicuantitativo colorimétrico MQuant® Arsenic Test 1.17917.0001 en agua.

Los resultados de la investigación fueron comparados mediante un análisis estadístico con los resultados obtenidos en la investigación por el método espectrofotométrico de absorción atómica Shimadzu realizado en el año 2000, los cuales se encuentran en el rango de concentración de arsénico de 0.29 mg/L a 0.77 mg/L, asumiendo que ambos métodos proporcionan datos con distribución normal para aplicar la prueba F de Fisher, la cual se utilizó para verificar si poseen varianzas iguales o diferentes, indicando estadísticamente que la media de arsénico por el método colorimétrico MQuant® Arsenic Test 1.17917.0001 presenta valores diferentes al método espectrofotométrico de absorción atómica Shimadzu a una significancia de ± 0.05 , los resultados obtenidos de ambos

métodos son diferentes por lo cual una de las razones puede ser que la concentración de arsénico ha aumentado a través de los años.

Los niveles de arsénico permitidos en agua por las normas de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), Organización Mundial de la Salud (OMS) y Norma Salvadoreña NSO 13.07.01.08 son de 0.01 mg/L, encontrando en esta investigación valores desde 0.1 mg/L como en el Rio del valle cantón de Apulo; 1.00 mg/L en el Turicentro Apulo, y valores elevados como los obtenidos en el Vivero de Tilapias, Playa la Hacienda, Cantón Joya Grande, Cantón la Joya, Caserío San Antonio Candelaria, Cantón Palo Blanco y Playa la Tronconera obteniendo valores de 1.7 mg/L. Por lo que se determinó que las aguas superficiales del lago de Ilopango se encuentran altamente contaminadas de arsénico, encontrando valores que sobrepasan con los establecidos en las normas reguladoras.

CAPITULO I
INTRODUCCION

INTRODUCCION

El Salvador es un país que se encuentra en el cinturón de fuego del pacifico caracterizado por concentrar las regiones volcánicas más importantes del mundo, sus aguas de origen volcánico pueden contener altas concentraciones de arsénico inorgánico, por lo que adquiere una mayor trascendencia en las regiones con una importante actividad agrícola y pesca.

La contaminación de las aguas por arsénico [As] ha producido un gran interés medioambiental en los últimos años, generando inquietud en las aguas de lagos que tiene un origen volcánico por la contaminación natural que representan, debido a las consecuencias que este metal puede producir por exposición directa o indirecta en los seres vivos a través del consumo de aguas sin tratamiento previo y alimentos contaminados generando daños a la salud irreversibles para el ser humano.

El Lago de Ilopango se encuentra localizado en El Salvador entre los departamentos de San Salvador, Cuscatlán y La Paz. Este Lago al ser de origen volcánico su concentración de arsénico [As] ha sido estudiada a través de los años por diversas técnicas analíticas, obteniéndose como resultado niveles elevados de arsénico. Es por ello, que, la investigación se enfocó en evaluar la concentración de arsénico en las aguas de la periferia del Lago de Ilopango a través de una prueba rápida con tiras de ensayo utilizando el método colorimétrico MQuant® Arsenic Test 1.17917.0001, esta determinación es semicuantitativa ya que mediante comparación visual de una tira reactiva se determina la concentración de arsénico, además, fue posible contrastar la información obtenida en este estudio con estudios similares.

CAPITULO II

OBJETIVOS

OBJETIVOS

2.1 Objetivo general:

Evaluar arsénico en las aguas del lago de Ilopango por la técnica colorimétrica de tiras reactivas Mquant® Arsenic test 1.17917.0001.

2.2 Objetivos específicos:

2.2.1 Geolocalizar los puntos en los que se tomaran las muestras dentro del Lago de Ilopango.

2.2.2 Realizar análisis de muestras recolectadas por el método colorimétrico MQuant® Arsenic Test 1.17917.0001.

2.2.3 Comparar los resultados obtenidos con investigaciones anteriores y especificaciones de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), Organización Mundial para la Salud (OMS) y Norma Salvadoreña NSO 13.07.01.08. para aguas superficiales.

CAPITULO III
MARCO TEORICO

MARCO TEORICO

3.1 El agua. ⁽¹⁾

El agua es un componente químico que tiene como fórmula molecular H_2O . Representándose en tres estados de la materia líquido, sólido y gaseoso. La mayor reserva de agua se encuentra en los océanos, que contienen el 97% del agua que existe en la Tierra. Se trata de agua salada, que sólo permite la vida de la flora y fauna marina. El resto es agua dulce, pero no toda está disponible: gran parte permanece siempre helada, formando los casquetes polares y los glaciales.

Los lagos son grandes masas de agua que permanecen estacionadas en una depresión del terreno. Generalmente tienen un sistema de ríos o glaciares que los alimentan. La mayoría vierte el exceso de agua a través de otros ríos. Según la profundidad, en el interior de un lago existen variaciones en la temperatura del agua y en la cantidad de luz solar que llega. Estas variaciones condicionan las posibilidades de vida de las diversas especies vegetales y animales. En cada profundidad, sólo se encuentran las especies que logrado modificarse para adaptarse a ella.

3.2 Propiedades físicas y químicas del agua. ⁽¹⁾

El agua tiene algunas propiedades físicas y químicas importantes para los ecosistemas:

- El hielo, es decir, el agua en estado sólido es menos pesado que el agua en estado líquido. Por esta razón, el hielo flota en la superficie de los lagos y mares. Durante el invierno, esta capa de hielo aísla al agua más profunda, que se mantiene líquida y a una temperatura aproximada de 4 grados. A esta temperatura pueden sobrevivir ranas y peces, que son animales que no tienen mecanismos para regular su calor corporal. Los

peces, además, respiran a través de sus branquias el aire disuelto en el agua en estado líquido.

- Las grandes masas de agua, como los océanos, almacenan el calor que reciben del sol y lo liberan lentamente. Por dicha razón, las tierras cercanas tienen un clima con menos variaciones de temperatura entre el día y la noche y entre el invierno y el verano.
- El agua disuelve muchas sustancias y las retiene, aunque varíe la temperatura. Su capacidad de disolver los nutrientes del suelo es fundamental para que las plantas puedan absorberlos por sus raíces. Además, la propiedad de disolver sustancias y mantenerlas, aunque varíe la temperatura permite que algunos procesos metabólicos de los organismos vivos se mantengan estables a pesar de las oscilaciones térmicas.
- Plantas y animales equilibran su temperatura mediante la transpiración, es decir, utilizando la propiedad del agua de transformarse en vapor absorbiendo calor.

3.3 Usos del agua. ⁽¹⁾

El agua es indispensable para la vida, porque ningún organismo sobrevive sin ella. Es un constituyente esencial de la materia viva y la fuente de hidrógeno para los organismos. También influye en ellos a través de la atmósfera y el clima. Es el medio en el que se desarrolla la abundante y variada flora y fauna acuática.

Los seres vivos están formados en su mayor parte por agua. En el caso de algunos animales marinos el porcentaje de agua puede superar el 95%. Las semillas secas, que conservan sólo rastros de humedad, no pueden germinar sin absorber grandes cantidades de agua.

El agua interviene en todas las funciones vitales de plantas:

- Las plantas verdes realizan la fotosíntesis a partir de agua y dióxido de carbono. Sus raíces captan los nutrientes cuando están disueltos en agua.

La savia, una solución, distribuye la sustancia orgánica en el interior de las plantas.

3.4 Calidad del agua. ^{(2) (3) (4)}

La calidad de cualquier masa de agua, superficial o subterránea depende tanto de factores naturales como de la acción humana.

Sin la acción humana, la calidad del agua vendría determinada por la erosión del substrato mineral, los procesos atmosféricos de evapotranspiración y sedimentación de lodos y sales, la lixiviación natural de la materia orgánica y los nutrientes del suelo por los factores hidrológicos, y los procesos biológicos en el medio acuático que pueden alterar la composición física y química del agua.

Por lo general, la calidad del agua se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra de agua con unas directrices de calidad del agua o estándares. En el caso del agua potable, estas normas se establecen para asegurar un suministro de agua limpia y saludable para el consumo humano y, de este modo, proteger la salud de las personas. Estas normas se basan normalmente en unos niveles de toxicidad científicamente aceptables tanto para los humanos como para los organismos acuáticos.

El deterioro de la calidad del agua se ha convertido en motivo de preocupación a nivel mundial con el crecimiento de la población humana, la expansión de la actividad industrial y agrícola y la amenaza del cambio climático como causa de importantes alteraciones en el ciclo hidrológico.

3.5 Contaminación del agua. ⁽¹⁾

La contaminación se produce cuando el agua contiene demasiada materia orgánica, o sustancias tóxicas no orgánicas. La materia orgánica presente en el agua es destruida por organismos descomponedores (bacterias), que necesitan oxígeno para actuar. Cuando el agua de lagos y ríos está sobrecargada de desechos orgánicos, escasea el oxígeno y las plantas y animales pueden morir.

Otro peligro es el aumento de los fosfatos y nitratos que se liberan durante la descomposición de los desechos orgánicos. Estas sustancias son nutrientes para los vegetales y favorecen la proliferación de plantas en la superficie, como algas o jacintos de agua. Esta masa densa obstaculiza el paso de la luz solar y el intercambio de gases con la atmósfera, pudiendo destruir otras formas de vida vegetal y animal existentes. Además, las plantas realizan la fotosíntesis y respiran durante el día. Por la noche respiran solamente, consumiendo el oxígeno disuelto en el agua. De esta manera, las grandes masas de algas compiten con los peces por el oxígeno existente.

Los desechos orgánicos de origen animal pueden contener parásitos, bacterias y virus que transmiten enfermedades. Entre éstas podemos mencionar el cólera, diarreas, tifus, hepatitis, parásitos intestinales, todas de consecuencias graves para la salud. Como medio de prevenir el contagio, cuando no estamos seguros de la calidad del agua es conveniente hervir durante diez minutos la que consumimos para la alimentación humana.

La contaminación no orgánica se produce cuando el agua lleva disueltas sustancias tóxicas, producidas por las industrias, minas y el uso de pesticidas en la agricultura. Estas sustancias son liberadas sin purificar en los ríos y lagos, causando daño a los seres vivos que los habitan y también a las personas que se alimentan de los peces extraídos de ellos.

La contaminación no orgánica tiene graves consecuencias para la agricultura y la ganadería de la zona: el agua no puede utilizarse para el riego de los cultivos ni para dar de beber a los animales.

3.6 Fuentes de contaminación. ⁽⁵⁾

Hay dos clases de fuentes de contaminación, fuentes puntuales y fuentes difusas:

- Las fuentes puntuales se localizan a través de canales regulares como sistemas de alcantarillados, los efluentes industriales, etc. La filtración de

los efluentes industriales junto a las aguas municipales, contaminan las aguas subterráneas causando así la contaminación del agua.

- Fuentes difusas: Son las fuentes que no se pueden localizar fácilmente. En este caso, los contaminantes dispersos en el suelo llegan a las fuentes de agua causan contaminación del agua. Por ejemplo, la minería, agricultura y construcción (Ver Figura N°1).



Figura N°1. Fuentes de contaminación difusa y contaminación puntual. ⁽⁶⁾

3.7 Materiales pesados. ^{(7) (8) (9)}

Aunque no existe una definición específica de un metal pesado, la literatura lo ha definido como un elemento natural que tiene un alto peso atómico y una alta densidad que es cinco veces mayor que la del agua. Entre todos los contaminantes, los metales pesados han recibido una atención primordial para los químicos ambientales debido a su naturaleza tóxica. Los metales pesados suelen estar presentes en pequeñas cantidades en aguas naturales, pero muchos de ellos son tóxicos incluso a concentraciones muy bajas, Metales como el arsénico, el plomo, el cadmio, el níquel, el mercurio, el cromo, el cobalto, el zinc y el selenio son altamente tóxicos incluso en cantidades menores. El aumento de la cantidad de metales pesados en nuestros recursos es actualmente un área de mayor preocupación, especialmente porque un gran número de

industrias están descargando sus efluentes que contienen metales en agua dulce sin ningún tratamiento adecuado.

Los metales pesados se vuelven tóxicos cuando no son metabolizados por el cuerpo y se acumulan en los tejidos blandos. Pueden ingresar al cuerpo humano a través de alimentos, agua, aire o absorción a través de la piel cuando entran en contacto con humanos en entornos agrícolas, manufactureros, farmacéuticos, industriales o residenciales. La exposición industrial representa una vía común de exposición para los adultos. La ingestión es la vía más común de exposición en los niños. Las actividades naturales y humanas están contaminando el medio ambiente y sus recursos, están descargando más de lo que el medio ambiente puede manejar.

Aunque hay muchas fuentes de contaminación del agua, la industrialización y la urbanización son dos de las culpables del aumento del nivel de contaminación del agua por metales pesados. Los metales pesados se transportan por escorrentía de industrias, municipios y áreas urbanas. La mayoría de estos metales terminan acumulándose en el suelo y sedimentos de los cuerpos de agua

Los metales pesados se pueden encontrar en rastros en las fuentes de agua y aun así son muy tóxicos e imponen graves problemas de salud a los humanos y otros ecosistemas. Esto se debe a que el nivel de toxicidad de un metal depende de factores como los organismos que están expuestos a él, su naturaleza, su papel biológico y el período en el que los organismos están expuestos al metal. Las cadenas y las redes alimentarias simbolizan las relaciones entre los organismos. Por lo tanto, la contaminación del agua por metales pesados en realidad afecta a todos los organismos. Los seres humanos, un ejemplo de organismos que se alimentan al más alto nivel, son más propensos a problemas de salud graves porque las concentraciones de metales pesados aumentan en la cadena alimentaria.

3.8 Arsénico [As]. ⁽¹⁰⁾

El arsénico (As) es un metaloide natural abundantemente presente en la corteza de la tierra. El As es uno de los contaminantes inorgánicos más tóxicos, presente fundamentalmente en agua subterránea, y detectado en una amplia escala de concentraciones en todo el mundo. Es un elemento ampliamente distribuido en la atmósfera, en la hidrosfera y en la biosfera, el cual está presente en cuatro estados de oxidación As(V), As (III), As (0) y As(-III). Las especies formadas según el estado de oxidación son variadas y pueden ser de origen inorgánico u orgánico. As (III) puede provenir de la reducción biológica del As (V), y predomina en zonas cercanas a industrias con efluentes ricos en As (III), aguas geotermales y ambientes reductores. En general, en aguas superficiales, el As(V) predomina sobre el As (III) especie de mayor toxicidad, en aguas marinas, la especie dominante es el As (V), que puede ser transformado a formas orgánicas o reducido biológicamente a As (III). El arsénico puede circular en los ecosistemas naturales por un largo periodo de tiempo y puede ser incorporado en suelos y a aguas subterráneas.

Existen tres grandes grupos de compuestos de arsénico (As):

- Compuestos de arsénico inorgánico.
- Compuestos de arsénico orgánico.
- Gas Arsina y Arsinas sustituidas.

3.8.1 Propiedades del arsénico. ⁽¹⁰⁾

El arsénico forma parte de los elementos denominados metaloides o semimetales. Este tipo de elementos tienen propiedades intermedias entre metales y no metales. En cuanto a su conductividad eléctrica, este tipo de materiales al que pertenece el arsénico, son semiconductores.

El estado del arsénico en su forma natural es sólido. El arsénico es un elemento químico de aspecto gris metálico y pertenece al grupo de los metaloides. El número atómico del arsénico es 33. El símbolo químico del arsénico es As. El

punto de fusión del arsénico es de 887 grados Kelvin o de 614,85 grados Celsius o grados Centígrados. El punto de ebullición del arsénico es de 1090 grados Kelvin o de 817,85 grados Celsius o grados centígrados.

3.8.2 Distribución y usos. ⁽¹⁰⁾ ⁽¹¹⁾

El arsénico se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza y principalmente en los minerales sulfurosos.

3.8.2.1 Arsénico elemental. ⁽¹¹⁾ ⁽¹²⁾

El arsénico se utiliza en aleaciones con el fin de aumentar su dureza y resistencia al calor, como en las aleaciones con plomo para la fabricación de municiones y de baterías de polarización. También se utiliza para la fabricación de ciertos tipos de vidrio como componente de dispositivos eléctricos y como agente de adulteración en los productos de germanio y silicio en estado sólido.

3.8.2.2 Compuestos inorgánicos trivalentes. ⁽⁷⁾ ⁽¹¹⁾

El tricloruro de arsénico (AsCl_3) se utiliza en la industria cerámica y en la fabricación de arsenicales con contenido de cloro. El trióxido de arsénico (As_2O_3) o arsénico blanco se utiliza en la purificación de gases sintéticos y como materia prima para todos los compuestos de arsénico. También se utiliza como conservante de cuero y madera, como mordente en la industria textil, como reactivo en la flotación de minerales y para la decoloración y refinamiento en la fabricación del vidrio. El arsenito cálcico [$\text{Ca}(\text{As}_2\text{H}_2\text{O}_4)$] y el acetoarsenito cúprico (considerado generalmente como $\text{Cu}(\text{COOCH}_3)_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{AsO}_2)_2$) son insecticidas. El acetoarsenito cúprico se utiliza también en la fabricación de pinturas para barcos y submarinos. El arsenito sódico (NaAsO_2) se utiliza como herbicida, como inhibidor de la corrosión y como agente de secado en la industria textil. El trisulfuro de arsénico es un componente del cristal de transmisión de infrarrojos y un agente para eliminar el pelo en el curtido de las pieles. También se utiliza en la fabricación de material pirotécnico y de semiconductores

3.8.2.3 Compuestos de arsénico orgánico. (7)

El ácido cacodílico ((CH₃)₂AsOOH) se utiliza como herbicida y defoliante. El ácido arsanílico (NH₂C₆H₄AsO(OH)₂) se utiliza como cebo para saltamontes y como aditivo para ciertos animales. En los organismos marinos como los camarones y los peces se encuentran compuestos de arsénico orgánico en concentraciones correspondientes a una concentración de arsénico de 1 a 100 mg/kg. Este arsénico está compuesto principalmente por arsenobetaina y arsenocolina, compuestos de arsénico orgánico de baja toxicidad Gas arsina y arsinas sustituidas.

El gas arsina se utiliza en la síntesis orgánica y en el proceso de componentes electrónicos en estado sólido. El gas arsina también se puede generar inadvertidamente en procesos industriales en los que se forma hidrógeno naciente cuando existe arsénico presente.

Las arsinas sustituidas son compuestos arsenicales orgánicos trivalentes que, dependiendo del número de grupos alquilo o fenilo que tengan unidos al núcleo de arsénico, se conocen como arsinas mono, bi o trisustituidas. La dicloroetilarsina (C₂H₅AsCl₂) o etildicloroarsina es un líquido incoloro de olor irritante. Este compuesto, al igual que el que se indica a continuación, se desarrolló como posible arma química.

La dicloro(2-clorovinil-) arsina (ClCH:CHAsCl₂) o clorovinildicloroarsina (lewisita) es un líquido de color verde oliva con un olor similar al germanio. Se desarrolló como posible arma química, aunque nunca llegó a utilizarse. Se desarrolló asimismo el agente dimercaprol o antilewisita británica (BAL) como un antídoto.

La dimetilarsina (CH₃)₂AsH o cacodil hidruro y la trimetilarsina (CH₃)₃As o trimetilarsénico son líquidos incoloros. Estos dos agentes se producen tras la transformación metabólica de los compuestos de arsénico en bacterias y hongo.

3.8.3 Origen del arsénico. ⁽¹²⁾

El arsénico se encuentra en el medio ambiente como contaminante ambiental a nivel de trazas, aunque su concentración depende de factores geológicos y meteorológicos. Su movilidad en la naturaleza es relativamente elevada, pudiendo ser transportado en estado gaseoso, disuelto o sólido a través del suelo, aire y agua. Esto es posible debido a las transformaciones biológicas y geológicas emitidas originalmente. La distribución del arsénico depende fundamentalmente de la forma química bajo la que se encuentre. De esta forma la solubilidad de As (III) y As (V), es relativamente alta por lo que estas especies se distribuyen factiblemente en medios acuosos.

El As puede ser de origen orgánico, o bien, inorgánico. El de origen inorgánico, es el que procede directamente de los minerales, siendo más tóxico para los humanos que el orgánico. En cuanto al orgánico, lo encontramos una vez éste ha sido asimilado por algún organismo vivo capaz de asimilarlo. Tiene que haber sido metabolizado como mínimo por un productor primario, es decir, haber empezado la cadena trófica; lo encontraríamos en raíces, hojas o semillas de una planta regada con aguas contaminadas con arsénico y que pudiera bioacumularlo, o bien, en partes viscerales, pelo y uñas de animales herbívoros o consumidores de aguas contaminadas. El As inorgánico, una vez que ha entrado en el organismo, normalmente por vía oral en caso de animales o por las raíces en el caso de las plantas y por difusión en los microorganismos, puede ser metilado a nivel celular a compuestos arsenicales orgánicos con el fin de eliminarlo del organismo. Se crean distintos compuestos según los grupos metil añadidos: ácido monometilarsénico (MMA), dimetilarsénico (DMA) y trimetilarsénico (TMA).

La metilación tiene lugar alternando reacciones oxidativas y reductivas de metilación, es decir, la reducción de As pentavalente a As trivalente seguido de la adición de un grupo metil. En determinados organismos la metilación del

arsénico inorgánico puede dar lugar a metabolitos trimetilados. En humanos la cantidad relativa para los compuestos arsenicales en orina es 10-30% de arsénico inorgánico, 10-20% MMA_{total} y un 60-80% DMA_{total}. Dentro de estas proporciones existen variaciones, una muestra de orina con mayor proporción de DMA muestra una gran capacidad y velocidad del metabolismo para excretar arsénico, y una proporción elevada de MMA significa un metabolismo de excreción más lento, y, por tanto, más propenso a tener problemas relacionados con la intoxicación por arsénico en el caso que tomara agua contaminada. Los principales metabolitos excretados por la orina en humanos expuestos al As inorgánico son MMA y DMA juntamente con un poco de As no metilado todos en estado pentavalente.

Estos porcentajes son únicamente válidos para humanos, cada especie tiene un porcentaje distinto, ya que hay algunos animales, como los primates (no-humanos) y los cerdos de Guinea, que son incapaces de metilar el As inorgánico. Comparando el arsénico inorgánico con los metabolitos pentavalentes de As metilados (MMAV y DMAV), éstos son menos citotóxicos, menos reactivos en el tejido y más fácilmente excretados por la orina. Esto evidencia que el proceso de metilación es un proceso eficiente de desintoxicación. Dentro de los compuestos metilados, los trivalentes son considerablemente más tóxicos que los pentavalentes.

3.8.4 Origen antropogénico actividades contaminadoras de los sistemas acuáticos. ⁽¹²⁾ ⁽¹³⁾

Aunque la mayor parte del arsénico [As] que encontramos en las aguas es de origen natural, no podemos ignorar el As de origen antropogénico. Aun así, el origen del arsénico no determina su toxicidad, sino que ésta está determinada por la especie o grado de oxidación en el que el As se encuentre.

El As ha sido utilizado frecuentemente a lo largo de los años en grandes cantidades y sin ningún tipo de control, tanto en la minería como en diferentes

industrias, ya sea como insecticida, herbicida, raticida, en pinturas, imprenta, en medicina y en muchas más actividades.

Es interesante ver qué ciclo sigue el arsénico, tanto el de procedencia natural como el de origen antropogénico (Ver Figura N°2) donde se muestra cómo el arsénico que forma parte del sedimento y las rocas, que son el punto de partida original de éste, se disuelve en el agua llegando a ríos y océanos de manera natural, o bien el hombre lo extrae con fines industriales, llegando igualmente a ríos y océanos, donde éste entra en los ciclos vitales de los organismos vivos, y de ahí va a la atmósfera. Así como el origen prevalente del arsénico presente en el agua es el natural, en el caso del arsénico presente en la atmósfera, juegan un papel muy importante las emisiones humanas de arsénico a partir de chimeneas, pinturas, pulverización de pesticida y riego de suelos áridos con agua cargada de As. Uno de los impactos derivados de la extracción humana de As de suelos y minas para fines antropogénicos crea una rotura del ciclo natural de éste, a la vez que una nueva incorporación al ciclo en grandes cantidades.

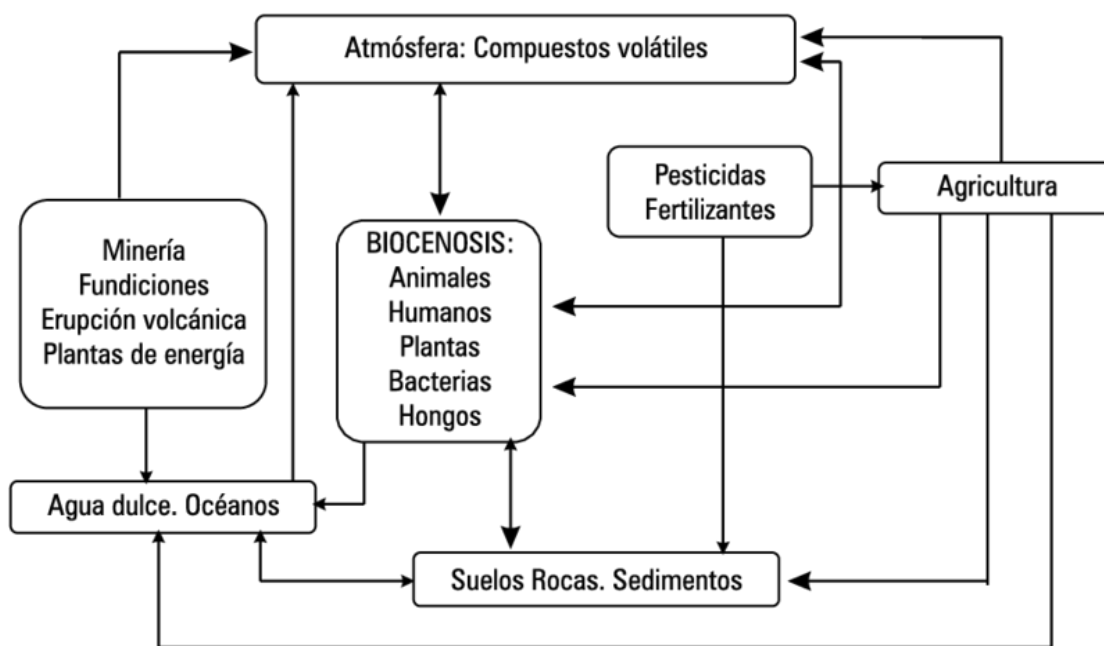


Figura N°2. Ciclo del Arsénico en el medio ambiente. ⁽¹⁴⁾

3.8.5 Efectos en la salud. ⁽¹⁵⁾

El arsénico existe tanto en forma orgánica como inorgánica. Los compuestos de arsénico inorgánico (como los que se encuentran en el agua) son extremadamente tóxicos, en tanto que los compuestos de arsénico orgánico (como los que se encuentran en pescados y mariscos) son menos perjudiciales para la salud.

- Efectos a corto plazo. ⁽¹⁵⁾

La ingestión de grandes dosis de arsénico por lo general resulta en síntomas en un plazo de 30 a 60 minutos. La intoxicación aguda habitualmente comienza con un sabor metálico, sensación quemante en los labios y disfagia. Pueden sobrevenir diversos síntomas gastrointestinales, entre ellos, dolor abdominal y cólicos, diarrea profusa, náusea y vómitos violentos. Los vómitos eventualmente pueden conducir a la hematemesis. Los síntomas gastrointestinales a menudo conllevan a la deshidratación y el desequilibrio electrolítico, y pueden conducir a la hipotensión y la hipoxia. Después de los síntomas iniciales, pueden ocurrir fallos múltiples de órganos especialmente en los sistemas cardiovascular, renal y hepático, causando la muerte.

- Efectos crónicos. ⁽¹⁵⁾

Una infinidad de efectos sobre la salud están relacionados con la exposición crónica al arsénico afectando casi todos los órganos y principales sistemas del cuerpo. Se conoce como hidro arsenicismo crónico regional endémico (HACRE) a la patología provocada por la ingesta crónica de arsénico en el agua y los alimentos.

- Hidroarsenicismo. ⁽¹⁵⁾

La ingestión Permanente de aguas contaminantes por sales de arsénico origina el llamado "hidro arsenicismo", muy frecuente en numerosas regiones del mundo.

Argentina, junto a Chile y México, son los países del continente Sudamericano en donde mayor contaminación natural del agua por arsénico se ha identificado. El arsénico inorgánico ingerido es absorbido por los tejidos y luego eliminado en la orina progresivamente por metilación a través de los riñones, cuando la ingestión es mayor que la excreción, tiende a acumularse en el cabello y en las uñas, sirviendo estos como biomarcadores de exposición.

Los primeros síntomas suelen aparecer entre la pubertad y la edad adulta, aunque puede aparecer en edad escolar. El curso de la enfermedad puede ser dividido en 4 etapas, que pueden sucederse unas a otras o bien superponerse:

- Período hiperhidrótico: las palmas y plantas presentan una descamación furfurácea acompañada de prurito, disestesias y sudor, con el mismo aspecto de una dishidrosis inespecífica (Ver Figura N°3).



Figura N°3. Hiperhidrosis palmar. ⁽¹⁶⁾

- Período hiperqueratósico: engrosamientos epidérmicos difusos, en las mismas zonas palmo plantares (callosidades difusas, globos córneos circunscriptos, raras veces cuernos epiteliales y otras deformaciones intercaladas por zonas de piel que suele fisurarse y ulcerarse, y a su vez infectarse) con intenso dolor. Dificultades para realizar tareas manuales e

incluso para caminar. El pelo se vuelve ralo y quebradizo y surgen lesiones ungueales (Ver Figura N°4).



Figura N°4. Hiperqueratosis epidermolítica. (17)

- Período melanodérmico: Aparecen manchas que comienzan en el tronco y se extienden sin afectar las mucosas. Este trastorno puede no aparecer en el curso de la enfermedad (Ver Figura N°5).



Figura N°5. Melanodermia. (18)

- Período final: algunas de las lesiones ulceradas de la piel terminan por transformarse en carcinomas. Otros enfermos sufren cambios degenerativos e inflamatorios crónicos: hepatitis, nefrosclerosis, polineuritis con sus secuelas, cardiopatías y consunción general, exponiéndose a que cualquier proceso intercurrente produzca la muerte (Ver Figura N°6).

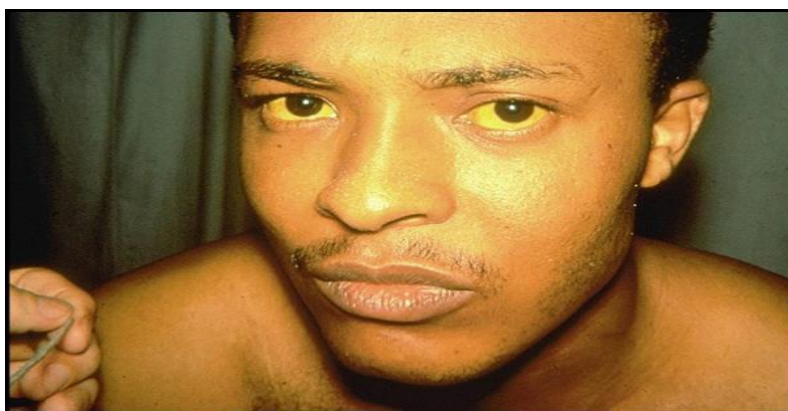


Figura N°6. Persona con hepatitis. ⁽¹⁹⁾

3.8.6 Incidencia de cáncer. ^{(20) (21)}

El arsénico fue reconocido como sustancia cancerígena en 1980 y registrado como tal en la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC).

La actividad carcinogénica del arsénico se relaciona con su proceso de biotransformación, la cual ocurre a través de una serie de reacciones reducción, oxidación y metilación, teniendo efectos a niveles genéticos y epigenéticos. Los resultados de estudios epidemiológicos y de animales han demostrado que los compuestos inorgánicos de arsénico pueden ser categorizados como claramente carcinógenos (grupo 1) o carcinógenos potenciales (grupo 2B), mientras que otros como la arsenobetaína y otros órgano-arsenicales no han sido clasificados como carcinógenos (grupo 3). Hasta la fecha, la IARC ha confirmado la

asociación de la exposición al arsénico con el cáncer de la piel, los pulmones y vejiga, y se ha demostrado su capacidad de inducir tumores cancerosos en el hígado, riñón y próstata. Otros estudios relacionan la exposición al arsénico con el cáncer en páncreas. El cáncer de pulmón es el cáncer más conocido asociado con la exposición al arsénico. Se ha estudiado principalmente la relación entre el cáncer de pulmón y la exposición a altos niveles de arsénico, las relaciones entre este cáncer con la exposición a bajos niveles son insuficientes o no concluyentes. Podría existir sinergia entre la ingesta de arsénico y el tabaquismo.

La exposición al As^{+3} se asocia con cánceres de piel inducidos por radiación UV. Los cánceres de piel asociados con el arsénico son generalmente carcinomas de células basales o de células escamosas causadas por queratinización. La asociación entre el cáncer de vejiga y el arsénico en agua potable ha sido verificada a altas concentraciones de arsénico; sin embargo, la evidencia sugiere que existe un mayor riesgo a niveles tan bajos como 10 $\mu g/L$ en agua potable. A altos niveles de exposición al arsénico, el tabaquismo interactúa sinérgicamente, aumentando el riesgo de cáncer de vejiga. Amplia evidencia demuestra que el hígado es un órgano diana de carcinogenicidad para el arsénico. El desarrollo de cáncer de hígado se asocia con exposición a altos niveles de arsénico en agua potable. Estudio de cohortes retrospectivos indican una mayor incidencia y mortalidad de cáncer de hígado en sujetos expuestos al arsénico en etapas tempranas de su vida.

3.9 Lago de Ilopango.

3.9.1 Volcán Xilotepec. ⁽²²⁾

Según datos históricos, Xilotepec que significaba "cerro del elote", (de XILO = Elote y TEPEC = Cerro) al hacer erupción se sumergió y dio origen al Lago de Ilopango, donde al principio de cada estación seca puede observarse un espiral, en el agua que se sumerge al centro y que es donde se encuentra el cráter de ese volcán. La caldera de Ilopango se formó como resultado de una erupción

cataclísmica en el siglo 5 d. C, produciendo enormes flujos piroclásticos que destruyeron diferentes ciudades mayas. Esta erupción produjo aproximadamente 25 km de tefra (20 veces más que la erupción del Monte Santa Helena en 1980, un estratovolcán activo ubicado en el condado de Skamania, en el estado de Washington, en la región del Pacífico Noroccidental de Estados Unidos.), y tiene un valor de 6 en el índice de explosividad volcánica. Estudios más recientes sugieren que la erupción fue aún más grande, fechándola en el 535 antes D.C.

3.9.2 Ubicación del Lago de Ilopango. ⁽²²⁾ ⁽²³⁾

El lago Ilopango está localizado entre tres departamentos de El Salvador: San Salvador, Cuscatlán y La Paz. Este lago de origen volcánico mide 8 km x 11 km, tiene una superficie de 72 km² y una profundidad máxima de 230 m (Escalante y Rivas, 2014), lo que lo convierte en el lago más grande de El Salvador. Los Municipios que colindan con el son: Ilopango, San Martín, San Pedro Perulapan, Cojutepeque, Candelaria, San Emigdio, San Miguel Tepezontes, San Francisco Chinameca, Santiago Texacuangos (Ver Figura N°7).

De su masa de agua emergen las islas El Portillo, Cerro Los Patos, El Cerro, Chachagaste, Cerro Cutenama, y Los Cerritos. El lago drena sus aguas al río Jiboa. La vegetación de la cuenca es de bosque subcaducifolio de carácter secundario. Existe vegetación acuática y una buena representación de algas. Actualmente la cobertura vegetal en sus riberas se encuentra severamente alterada debido a la gran actividad humana que ejerce presión sobre el recurso pétreo, como también una intensa actividad agrícola, cuyos insumos (fertilizantes, herbicidas y pesticidas) son arrastrados por las corrientes de aguas lluvias alterando la población de algas en el cuerpo de agua cuerpo de agua. Otro elemento que ha dañado la cobertura vegetal es el desarrollo de complejos turísticos y habitacionales en las riberas de dicho lago.

En 1995 se registró un pH entre 7 y 8, propio de aguas alcalinas, la conductividad fue muy alta y el agua era poco salina. La concentración de sulfatos fue baja y el

boro se encontró en concentraciones de 6.88 ppm. Entre los Bienes y servicios que presta el lago de Ilopango podemos mencionar la Recarga de acuíferos y almacenamiento de agua, control de inundaciones, producción pesquera, belleza escénica, turismo y recreación.

Los usos actuales más importantes que se llevan a cabo en la zona son el pesquero (existen varias zonas donde se práctica la acuicultura), y el turístico recreativo. Otras actividades que se realizan en la zona son los cultivos forestales y el agrícola extensivo pero que son de muy baja intensidad. También existen varias canteras de piedras en las paredes de la caldera volcánica. Las amenazas principales que se ciernen sobre el humedal son el crecimiento de nuevos asentamientos humanos sobre zonas de recarga acuífera, que llevan asociados problemas de fragmentación de hábitat y aumento de la contaminación por desechos sólidos y líquidos. Existe igualmente un problema de tala y extracción de madera, que favorece la deforestación en la cuenca de captación con consiguiente aumento de la erosión y aumento de los fenómenos de colmatación y turbidez de la laguna. También se producen incendios y hay canteras en las paredes del lago. La sobrepesca o pesca destructora es una amenaza que se produce, pero no parece tener una importancia elevada. El estado de amenaza del lago de Ilopango es considerado: vulnerable. La situación legal como área protegida es: sin estatus de protección.

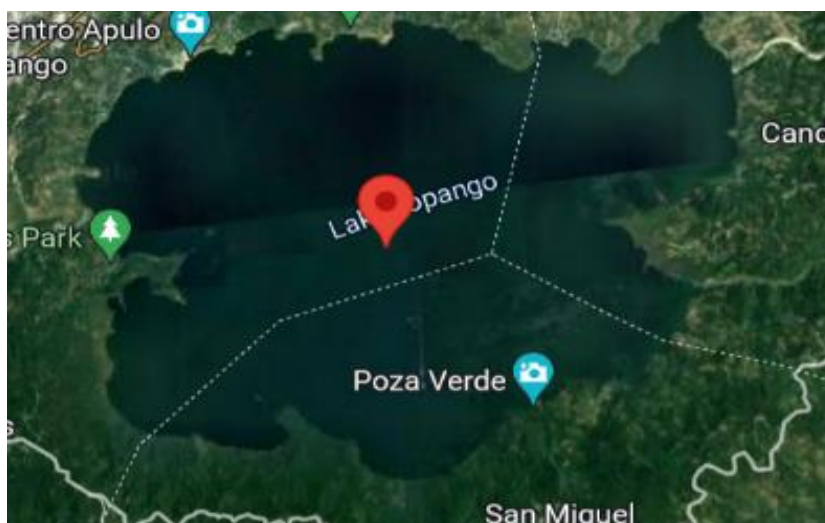


Figura N°7. Ubicación de lago de Ilopango.
Fuente: Elaboración propia

3.10 Análisis colorimétrico para prueba de tiras de ensayo.

3.10.1 Técnicas colorimétricas. ⁽²⁴⁾

Se basan en la medida de la absorción de radiación en la zona visible por sustancias coloreadas. En algunas ocasiones, la muestra que se desea determinar no posee color por sí misma en tal caso es preciso llevar a cabo un desarrollo de color empleando reactivos que den lugar a sustancias coloreadas con la muestra que interesa estudiar.

En principio todos los sistemas que cuantifican el color a partir de tres variables poseen aspectos colorimétricos: luminancia, longitud y pureza.

Un color queda definido por tres parámetros:

- Luminancia.
- Longitud de onda
- Pureza.

3.10.2 Color. ⁽²⁴⁾

El color es un atributo que percibimos de los objetos cuando hay luz. La luz es constituida por ondas electromagnéticas que se propagan a unos 300.000

kilómetros por segundo. Esto significa que nuestros ojos reaccionan a la incidencia de la energía y no a la materia en sí. Las ondas forman, según su longitud de onda, distintos tipos de luz, como infrarroja, visible, ultravioleta o blanca. Las ondas visibles son aquellas cuya longitud de onda está comprendida entre los 380 y 770 nanómetros. Los objetos devuelven la luz que no absorben hacia su entorno. Nuestro campo visual interpreta estas radiaciones electromagnéticas que el entorno emite o refleja, como la palabra “color”.

3.10.3 Propiedades del color. ⁽²⁴⁾

- Tono, matiz o croma
- Saturación
- Valor
- Brillo y luminosidad

3.10.4 Método colorimétrico con tiras de ensayo por medio del kit MQuant® Arsenic Test 1.17917.0001. ⁽²⁵⁾

Este método es una modificación de la prueba para determinar arsénico, por lo cual el fundamento del método colorimétrico con tiras de ensayo se basa en que por la adición de zinc y de un ácido sólido a los compuestos de arsénico (III) y arsénico (V) se libera hidruro de arsénico, que con bromuro de mercurio (II) contenido en la zona de reacción de la tira de ensayo forma halogenuros pardo-amarillos mixtos de arsénicos y mercurio. La concentración de arsénico (III) y arsénico (V) se determina semicuantitativamente por comparación visual de la zona de reacción de la tira de ensayo con las zonas de una escala colorimétrica.

Una de las precauciones que se deben de tener es que al realizar la reacción se libera gas hidrogeno y gas Arsina, es por ello por lo que debe trabajarse en áreas bien ventiladas y libre de fuego.

El método colorimétrico con tiras de ensayo del kit MQuant® Arsenic Test 1.17917.0001, permite realizar medidas de una manera segura y practica en valores aproximados de concentración de arsénico entre de graduación de la

escala colorimétrica mg/L de Arsénico (Ver Figura N°8). En 2 intervalos de concentraciones, los cuales son:

Intervalo de medida:

Intervalo de medida / graduación de escala colorimétrica mg/l de As	Número de determinaciones
0,02 - 0,05 - 0,1 - 0,2 - 0,5 0,1 - 0,5 - 1,0 - 1,7 - 3,0	100

Figura N°8. Intervalo de medida de la escala colorimétrica. (25)

3.10.5 Consejos para un mejor resultado.

Es recomendable que se pruebe una muestra con un valor conocido de concentración de arsénico inorgánico o una muestra que hay sido preparada utilizando un estándar de arsénico. Mediante una sesión de practica de la prueba y así tener un mejor manejo de los procedimientos necesarios para garantizar resultados exactos, lo que garantizara mejor resultados.

3.10.6 Componentes del KIT (Ver Figura N°9).

- Caja con 100 tiras de ensayo
- 1 frasco de reactivo As-12 frascos de reactivo As-2
- 1 jeringa de plástico graduada de 5 ml
- 1 cuchara dosificadora roja
- 2 tubos de reacción con tapa roscada



Figura N°9. Kit MQuant® Arsenic Test.

Fuente: Elaboración propia

3.11 Regulaciones de agua superficiales. (4) (25)

El arsénico (As) es un contaminante inorgánico extremadamente tóxico. El estándar establecido por la OMS y la EPA para el arsénico en agua es de 0.01mg/L.

3.12 Matriz de riesgo. (26)

La matriz de riesgo es el resultado de la identificación, evaluación, registro de los aspectos ambientales relacionados con las actividades realizadas por una organización, tomando en cuenta para ello que esta pueda controlar e influir dentro del medio alcance del sistema de gestión de riesgos. Siendo estructurada con la identificación de todo el aspecto y valoración del impacto ambiental, resultante de los riesgos identificados en los procesos de cualquier organización y su interacción con el medio ambiente, otorgando una valoración potencial del daño e impacto generado.

La matriz de riesgo proporciona una visión objetiva para establecimiento de directrices, además de una efectiva evaluación de los riesgos en base a su probabilidad e impacto, permitiendo priorizar los controles de acuerdo con su impacto, brindando valiosa para la toma de decisiones (Ver Figura N°10).

		MATRIZ DE RIESGO				
		CONSECUENCIA				
		Minima ≤5 ppm	Menor 5.1 a 10 ppm	Moderada 10.1 a 15 ppm	Mayor 15 a 20 ppm	Máxima >20 ppm
PROBABILIDAD		1	2	4	8	16
Muy alta	5	5	10	20	40	80
Alta	4	4	8	16	32	64
Media	3	3	6	12	24	48
Baja	2	2	4	8	16	32
Muy baja	1	1	2	4	8	16





			
1-4 Riesgo aceptable	5-15 Riesgo tolerable	16-31 Riesgo alto	32-80 Riesgo extremo

Figura N°10. Ejemplo de matriz de riesgo
Fuente: Elaboración propia

3.13 Pasos para realizar matriz de riesgo.

Realizar la identificación de los riesgos se deben identificar los riesgos inherentes a las actividades desarrolladas en la organización. Estos riesgos pueden priorizarse y según sean los más importantes.

- Evaluar la probabilidad e impacto.

La probabilidad de ocurrencia está directamente relacionada con la frecuencia en la que se presenta un evento y el impacto esta intrínseco con la severidad. Para evaluarlos puede ser por medio de una matriz de riesgo que contemple los siguientes ejes:

Probabilidad: muy baja, baja, media, alta, muy alta.

Impacto: sin impacto, leve, grave, muy grave.

- Crear un mapa de calor o color.

Se establece un mapa de calor que permita por medio de un perfil de riesgo, identificar su criticidad en relación con su probabilidad e impacto en una matriz.

Un riesgo tiene varias probabilidades de que suceda, siendo mayor su impacto si ocurre a una consecuencia con severidad alta.

Es por ello por lo que la matriz de riesgo se realiza tomando como ejes la probabilidad y la consecuencia, a los cuales les dan valores numéricos, lo cual, junto con el mapa, de color permiten clasificar la severidad de impacto de dicho riesgo, pudiendo ser este:

- Riesgo aceptable
- Riesgo tolerable
- Riesgo alto
- Riesgo extremo

3.14 Mapa de riesgos.

Un mapa de riesgo de calidad de agua es una herramienta en la cual se especifican las acciones de inspección vigilancia y control con respecto a las condiciones de calidad de agua de las fuentes abastecedoras de consumo humano, mediante la determinación de características físicas, químicas y microbiológicas del agua de fuentes superficiales o subterráneas de una zona en específico, que puedan estar generando algún para la salud humana. En la elaboración de los mapas de riesgos de calidad de agua es indispensable la recolección de información.

CAPITULO IV
DISEÑO METODOLOGICO

DISEÑO METODOLOGICO

4.1 Tipo de estudio.

- Descriptivo: en la investigación se aplicó un método para determinar la presencia de arsénico en las aguas del lago de Ilopango, y así descubrir la concentración de arsénico que se encuentra presente.
- Transversal: la investigación se llevó a cabo en agosto de 2022.

4.2 Investigación bibliográfica.

Se realizaron consultas en bibliotecas virtuales, en libros y publicaciones de revistas científicas:

- Central de la Universidad de El Salvador.
- Universidad Salvadoreña Alberto Masferrer.
- Bases de datos pertenecientes al sistema bibliotecario universitario (repositorio institucional, artículos, revistas científicas, entre otros).
- Internet.

4.3 Investigación de campo.

- Universo: Lago de Ilopango.
- Muestra: 21 muestras de aguas superficiales
- Tipo de muestreo: puntual y dirigido.

4.4 Parte práctica

4.4.1 Selección de los puntos de recolección para la toma de muestras de agua.

La toma de las muestras de agua superficial se realizó en el lago de Ilopango, municipio de Ilopango, departamento de San Salvador, El Salvador (Ver Figura N°11). Para seleccionar los puntos de muestreo se tomó como criterio principal los sitios donde se encuentra la mayor parte de la población que hace uso más constante de las aguas del lago (Ver Figura N°12).

Se realizó una primera visita para identificar los sitios de muestreo y en una segunda visita la recolección de las muestras utilizando el GPS de los dispositivos móviles para la obtención de sus respectivas coordenadas siendo registradas en la tabla correspondiente. (Ver Tabla N°2)

Cuadro N°1. Puntos seleccionados para muestreo.

PUNTOS SELECCIONADOS PRIMERA VISITA	SITIO DE MUESTREO
1	Turicentro Apulo
2	Rio del valle. Cantón Apulo
3	Playa Palo Seco
4	Vivero de peces
5	Playa Amatitlán
6	Rio Changuite
7	Cantón Joya Grande (Tubería extracción de agua ANDA)
8	Cantón Joya Grande
9	Caserío El Rincón
10	Caserío Changgallo
11	Playa El Pacayal

Cuadro N°1 (continuación)

12	Playa Poza Verde
13	Playa La Hacienda
14	Vivero de Tilapias
15	Cantón La Joya
16	Caserío San Antonio, Candelaria
17	Cantón Palo Blanco
18	Playa La Tronconera
19	San Agustín
20	Club Salvadoreño Corinto
21	Cantón Apacinto

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2 Procedimiento del muestreo.

Durante la segunda visita previamente establecidos los puntos de muestreo se realizó el recorrido en lancha habiendo revisado que tanto los materiales, como el equipo se encontraran completos iniciando el recorrido en el sitio de embarcación del Turicentro de Apulo y con ayuda de un habitante de la zona, se partió hasta cada uno de los puntos de muestreo, los cuales habían sido seleccionados en la periferia del Lago de Ilopango donde se recolectaron las muestras de la siguiente manera:

- Colocar un pesor a uno de los extremos de una manguera de aproximadamente 8 ½ metros, la cual se midió y marco previamente para indicar 8 metros. (Ver Anexo N°1)
- Conectar el extremo de la manguera que no tiene pesor a un dispensador eléctrico de agua recargable.
- Introducir el extremo de la manguera que tiene el pesor en el punto de la toma de muestra a una profundidad de 8 metros, para su recolección.
- Dejar correr el agua por unos segundos en el dispositivo y enjuagar 3 veces el frasco a utilizar, antes de tomar la muestra en cada punto seleccionado.
- Recolectar la muestra de agua en el frasco de polietileno previamente rotulado, utilizando viñetas de identificación para cada muestra. (Ver Anexo N°2)
- Transportar las muestras recién recolectadas en una hielera de unicel (durapax).

4.4.3 Preparación de solución stock y soluciones estándar para arsénico (Ver Anexo N°3).

Con el propósito de garantizar y corroborar que el kit MQuant® Arsenic Test 1.17917.0001 determina semicuantitativamente los valores descritos en la escala colorimétrica. Se prepararon soluciones estándares a concentraciones de 0.02 ppm As, 1.0 ppm As y 3 ppm As, se preparó una solución stock de 20 ppm As, partiendo de una solución de estándar de 1000 mg/L. Utilizando la fórmula general:

$$C_1 V_1 = C_2 V_2 \quad (\text{Ecuación N°1})$$

Donde:

C_1 = Concentración inicial

C_2 = Concentración final

V_1 = Volumen inicial

V_2 = Volumen final

Para conocer que cantidad hay que tomar de la solución concentrada se despeja la fórmula general el volumen inicial:

Despejando V_1 :

$$V_1 = C_2 V_2 / V_1 \quad (\text{Ecuación N}^\circ 2)$$

Preparación de solución stock arsénico (20 ppm).

- Medir 0.5 ml de una solución de 1000 ppm de arsénico con una pipeta graduada de 1 ml.
- Luego colocarla en un balón volumétrico de 25 ml, diluir con agua destilada, llevar a volumen y homogenizar.
- Rotular como solución stock.

Preparación de solución estándar de concentración de 0.02 ppm de arsénico a partir de una solución stock 20 ppm.

- Transferir una alícuota de 0.25 ml de la solución stock de arsénico (20 ppm) utilizando una pipeta graduada de 1 ml y transferirlo a un balón volumétrico de 10 ml.
- Aforar con agua destilada y homogenizar.
- Rotular como solución estándar 0.02 ppm As.

Preparación de solución estándar de concentración de 1 ppm de arsénico a partir de una solución stock 20 ppm.

- Transferir una alícuota de 0.5 ml de la solución stock de arsénico (20 ppm) utilizando una pipeta graduada de 1 ml y transferirlo a un balón volumétrico de 10 ml.
- Aforar con agua destilada y homogenizar.
- Rotular como solución estándar 1 ppm As.

Preparación de solución estándar de concentración de 0.3 ppm de arsénico a partir de una solución stock 20 ppm.

- Transferir una alícuota de 1.5 ml de la solución stock de arsénico (20 ppm) utilizando una pipeta graduada de 5 ml y transferirlo a un balón volumétrico de 10 ml.
- Aforar con agua destilada y homogenizar.
- Rotular como solución estándar 3 ppm As.

4.4.4 Procedimiento para el análisis de los estándares. ⁽²⁵⁾

Los estándares fueron analizados por duplicado, cada análisis se realizó de la siguiente manera:

- Enjuagar 3 veces el tubo de reacción con la solución estándar a cuantificar. (Ver Anexo N°4)
- Transferir 5 ml de la muestra el contenido al tubo de reacción.
- Haciendo uso de la microcuchara de color naranja rasa, agregar 1 microcuchara del reactivo As-1 al tubo de reacción que contiene la muestra.
- Agitar vigorosamente el tubo de reacción junto hasta que el reactivo As-1 se haya disuelto completamente, mantener el tubo en posición vertical mientras se agita.
- Haciendo uso de una microcuchara dosificadora de color roja rosa, agregar 1 cuchara del reactivo As-2 al tubo de reacción y cerrar inmediatamente el tubo de reacción con la tapa roscada.
- Dejar reposar durante 2 minutos.
- Desplegar hacia arriba el fijador para tiras negro integrado en la tapa roscada de manera que el punto blanco señale hacia el analista.
- Sacar la tira reactiva que viene en el kit del empaque.

- Introducir inmediatamente en la abertura. la tira de ensayo de arsénico en con la zona de reacción hacia delante, hasta la línea de marcado que viene señalada en la tapa.
- Plegar de nuevo el fijador de tiras totalmente hacia abajo.
- Dejar reposar 20 minutos.
- Agitar vigorosamente de dos a tres veces en forma circular, evitando el contacto de la solución con la almohadilla de la tira.
- Después de los 20 minutos de reposo, se retira la tapa blanca que contiene la tira reactiva lentamente y con sumo cuidado.
- Sumergir brevemente la tira en agua destilada, sacudirla para eliminar el exceso de líquido.
- Clasificar la tira reactiva con la tabla de colores que proporciona el kit para la determinación de arsénico en agua. (Ver Anexo N°5)
- Anotar los resultados en el cuadro registro.
- Notas sobre la medición.

Nota: Después de transcurrido el tiempo de reacción indicado (aproximadamente 20 minutos), la zona de reacción puede continuar cambiando de color. Esto no debe ser tenido en cuenta en la medición.

4.4.5 Procedimiento para el análisis de las muestras. ⁽²³⁾ ⁽²⁵⁾

A cada una de las muestras recolectadas se le determinó semicuantitativamente, la concentración de arsénico, por método colorimétrico MQuant® Arsenic Test 1.17917.0001 y cada uno de estos resultados se compararon con las normativas de la EPA, OMS y FAO, así como con investigaciones anteriores. (Ver Tabla N°1)

Se realizó a cada una de las 21 muestras recolectadas, análisis por duplicado, haciendo un total de 42 análisis, siguiendo las indicaciones para muestras en un rango de 0.0 - 3.0 ppm [As], de la siguiente manera:

- Enjuagar 3 veces el tubo de reacción con la muestra a cuantificar.

- Transferir 5 ml de la solución de la muestra al tubo de reacción.
- Haciendo uso de la microcuchara de color naranja rasa, agregar 1 microcuchara del reactivo As-1 al tubo de reacción que contiene la muestra.
- Agitar vigorosamente el tubo de reacción junto hasta que el reactivo As-1 se haya disuelto completamente, mantener el tubo en posición vertical mientras se agita.
- Haciendo uso de la cuchara dosificadora de color roja rosa, agregar 1 cuchara del reactivo As-2 al tubo de reacción y cerrar inmediatamente el tubo de reacción con la tapa roscada.
- Dejar reposar durante 2 minutos.
- Desplegar hacia arriba el fijador para tiras negro integrado en la tapa roscada de manera que el punto blanco señale hacia el analista.
- Sacar la tira reactiva que viene en el kit del empaque.
- Introducir inmediatamente en la abertura. la tira de ensayo de arsénico en con la zona de reacción hacia delante, hasta la línea de marcado que viene señalada en la tapa.
- Plegar de nuevo el fijador de tiras totalmente hacia abajo.
- Dejar reposar 20 minutos.
- Agitar vigorosamente de dos a tres veces en forma circular, evitando el contacto de la solución con la almohadilla de la tira (Ver Anexo N°6).
- Después de los 20 minutos de reposo, se retira la tapa blanca que contiene la tira reactiva lentamente y con sumo cuidado.
- Sumergir brevemente la tira en agua destilada, sacudirla para eliminar el exceso de líquido.
- Clasificar la tira reactiva con la tabla de colores que proporciona el kit para la determinación de arsénico en agua.
- Anotar los resultados en el cuadro registro.

Nota: Después de transcurrido el tiempo de reacción indicado (aproximadamente 20 minutos), la zona de reacción puede continuar cambiando de color. Esto no debe ser tenido en cuenta en la medición. (Ver Anexo N°7).

4.5 Especificaciones de los criterios de aceptación según la Agencia de Protección ambiental (EPA), Organización Mundial para la Salud (OMS) y Norma Salvadoreña NSO 13.07.01.08. para aguas superficiales. ^{(3) (4) (25) (32)}

La Tabla N°1 presenta el límite establecido de concentración de arsénico en aguas superficiales por las diferentes organizaciones, cuyo parámetro proporciona un rango de aceptación comparándolo con los resultados de las muestras analizadas. (Ver Anexo N°8,9,10 y 11).

Tabla N°1. Límites permisibles de arsénico en agua.

PARÁMETRO	ESPECIFICACIÓN	ORGANISMO	UNIDADES	VALOR GUIA
ARSÉNICO	Aptitud de uso de las aguas superficiales	EPA	mg/L	0.01
		OMS	mg/L	0.01
		Norma Salvadoreña NSO 13.07.01.08. para aguas superficiales.	mg/L	0.01
	Agua para consumo humano	EPA	mg/L	0.01
		OMS	mg/L	0.01

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO V

RESULTADOS Y DISCUSION DE RESULTADOS

RESULTADOS Y DISCUSION DE RESULTADOS

5.1 Geolocalización de los puntos en los que se tomaron las muestras dentro del lago de Ilopango.

Para la identificación de los puntos de recolección de muestra, se realizó tomando en cuenta las zonas en las que se observó mayor presencia de población que utiliza las aguas de dicho lago para uso de actividades cotidianas, siendo más vulnerables a complicaciones de salud causadas por la exposición de las aguas contaminadas por arsénico, de igual forma, estas zonas susceptibles a la contaminación antropogénica, la cual puede darse por diferentes vías como las desembocaduras de los ríos, los cuales arrastran contaminantes que pueden incidir en la concentración elevada de este metal en el agua del lago de Ilopango. A la vez se consideró información recolectada en investigaciones pasadas, en las que se realizaron análisis de arsénico en muestras de agua del lago de Ilopango en diferentes sitios de recolección, tomando como referencia algunos de estos, como puntos de toma de muestra.



Figura N°11. Selección de punto de partida.
Fuente: Elaboración propia

En la primera visita se ubicó como sitio de embarcación el Turicentro Apulo perteneciendo al municipio de Ilopango, posteriormente se realizó un recorrido en lancha junto a un guía turístico por la periferia de lago de Ilopango identificando así las zonas en las que existen mayor cantidad de habitantes y actividades como la piscicultura, haciendo uso de aplicaciones de geolocalización como GPS, para la obtención de las coordenadas de los puntos de muestreo (Ver Tabla N°2).

Tabla N°2. Sitios y coordenadas de toma de muestras.

PUNTO N°	SITIO DE MUESTREO	COORDENADAS
1	Turicentro Apulo	13.699116, -89.077994
2	Rio del Valle. Cantón Apulo	13.69745, -89.078489
3	Playa Palo Seco	13.693918, -89.083455
4	Vivero de Peces	13.689158, -89.08946
5	Playa Amatitlán, caserío El Mangal	13.684184, -89.092543
6	Rio Changuite	13.675168, -89.091388
7	Cantón Joya Grande (tubería extracción de agua ANDA)	13.668598, -89.085189
8	Cantón Joya Grande	13.649486, -89.088708
9	Caserío El Rincón	13.637583, -89.070437

Tabla N°2 (continuación)

PUNTO N°	SITIO DE MUESTREO	COORDENADAS
10	Caserío Changgallo	13.639269, -89.054616
11	Playa El Pacayal	13.63183, -89.042266
12	Playa Poza Verde	13.647800, -89.01981
13	Playa La Hacienda	13.652177, -89.006854
14	Vivero de Tilapias	13.662569, -89.005189
15	Cantón La joya	13.681796, -88.999379
16	Caserío San Antonio, Candelaria	13.702285, -88.997132
17	Cantón Palo Blanco	13.696632, -89.010197
18	Playa La Tronconera	13.698616, -89.022751
19	San Agustín	13.700202, -89.046776
20	Club Salvadoreño Corinto	13.702675, -89.041865
21	Cantón Apacinto	13.699029, -89.058465

Fuente: Elaboración propia.

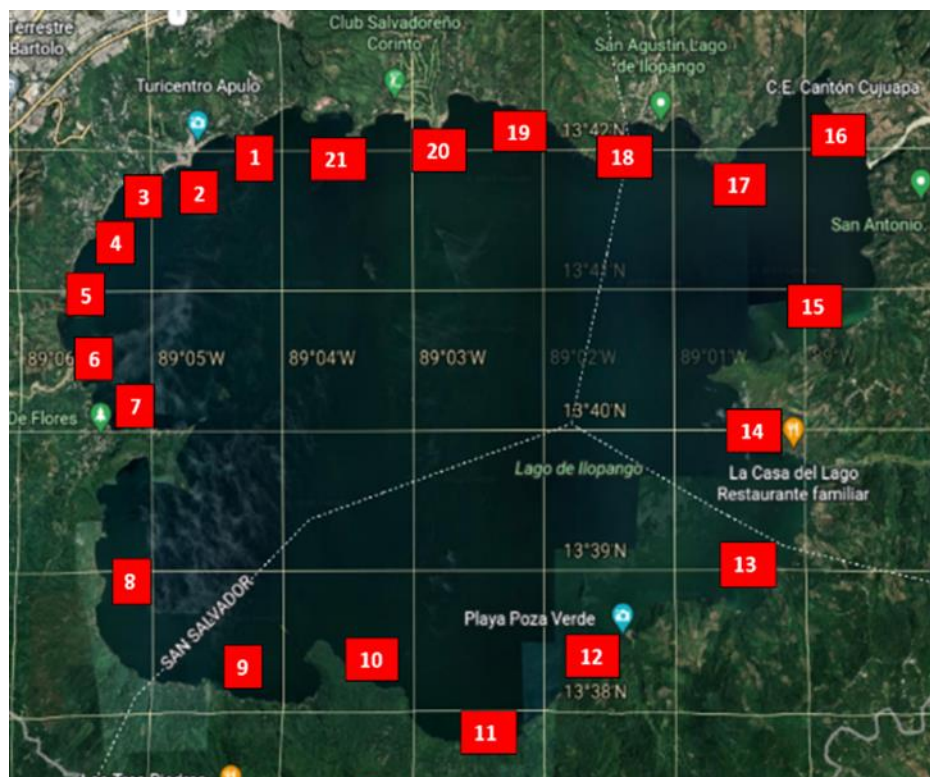


Figura N°12. Ubicación de recolección de muestras.
Fuente: Elaboración propia

Se realizó una segunda visita al lago de Ilopango llevando el equipo necesario para la toma de muestra como: hielera, frascos de polietileno para colocar las muestra, viñetas para identificación de las muestras en cada punto seleccionado, hielo para mantener las muestras a una temperatura adecuada, plumones, maguera para la extracción de la muestra de agua, un bloque de acero para facilitar que la manguera se mantenga a la profundidad requerida y la aplicación GPS en el dispositivo móvil que ayudó a ubicar los puntos ya seleccionados para la toma de muestras.

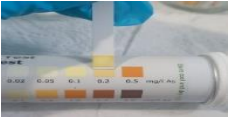
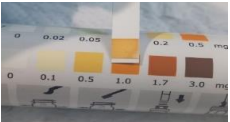
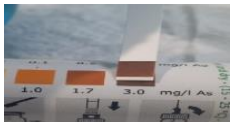
Como resultado al realizar la recolección de las muestras en los sitios previamente establecidos y utilizando el equipo necesario permitió que se obtuvieran muestras limpias sin intervención de la flora natural que se encontraban en la superficie del lago y materiales como residuos y otros

contaminantes que pudieran afectar los resultados del análisis de arsénico en las muestras tomadas.

5.2 Realizar análisis de muestras recolectadas por el método colorimétrico MQuant® Arsenic Test 1.17917.0001.

La Tabla N°3 muestra la evidencia de la confiabilidad de los datos en soluciones estándares para las concentraciones que se encuentran en el extremo de la escala colorimétrica comprobando la sensibilidad del kit MQuant® Arsenic Test 1.17917.0001

Tabla N°3. Resultados de los análisis del estándar de arsénico.

PARAMETRO	ANALISIS 1	ANALISIS 2	PROMEDIO	EVIDENCIA
Estándar de arsénico 0.2 ppm	0.2 PPM	0.2 PPM	0.2 PPM	
Estándar de arsénico 1.0 ppm	1.0 PPM	1.0 PPM	1.0 PPM	
Estándar de arsénico 3.0 ppm	3.0 PPM	3.0 PPM	3.0 PPM	

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla N°4 se muestran los resultados de los análisis obtenidos por el método MQuant® Arsenic Test 1.17917.0001 que fueron realizados cada uno por duplicado obteniendo la evidencia de concentración de arsénico presente en el Lago de Ilopango dentro de la escala colorimétrica que señala el kit. (Ver Anexo N°3)

Tabla N°4. Resultados obtenidos de la toma de muestra de agua de 21 puntos seleccionados para la evaluación de concentración de arsénico en la periferia del Lago de Ilopango.

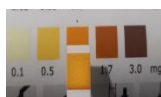
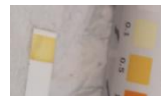
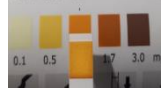

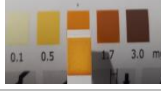

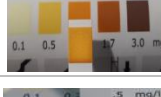



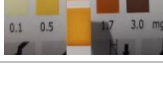

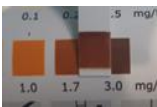

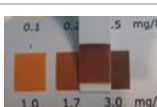






PUNTO N°	SITIO DE MUESTREO	ANALISIS 1	ANALISIS 2	PROMEDIO	EVIDENCIA
1	Turicentro Apulo	1	1	1	
2	Rio del Valle. Cantón Apulo	0.1	0.1	0.1	
3	Playa Palo Seco	1	1	1	
4	Vivero de Peces	0.5	0.5	0.5	
5	Playa Amatitlán, caserío El Mangal	1	1	1	
6	Rio Changuite	0.5	0.5	0.5	
7	Cantón Joya Grande (tubería extracción de agua ANDA)	1	1	1	
8	Cantón Joya Grande	1.7	1.7	1.7	
9	Caserío El Rincón	1	1	1	
10	Caserío Changgallo	1	1	1	
11	Playa El Pacayal	1	1	1	

Tabla N°4 (continuación)

PUNTO N°	SITIO DE MUESTREO	ANALISIS 1	ANALISIS 2	PROMEDIO	EVIDENCIA
12	Playa Poza Verde	1	1	1	
13	Playa La Hacienda	1.7	1.7	1.7	
14	Vivero de Tilapias	1.7	1.7	1.7	
15	Cantón La joya	1.7	1.7	1.7	
16	Caserío San Antonio, Candelaria	1.7	1.7	1.7	
17	Cantón Palo Blanco	1.7	1.7	1.7	
18	Playa La Tronconera	1.7	1.7	1.7	
19	San Agustín	0.5	0.5	0.5	
20	Club Salvadoreño Corinto	1	1	1	
21	Cantón Apacinto	1	1	1	

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla N°5 se presenta el análisis estadístico de las 21 muestras de agua en las que se les determinó la concentración de arsénico por el método colorimétrico MQuant® Arsenic Test 1.17917.0001.

Tabla N°5. Análisis estadístico de concentraciones obtenidas por el método colorimétrico MQuant® Arsenic Test 1.17917.001.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE MÉTODO MQUANT ARSENIC TEST 1.17917.001	
Media	1.07619048
Error típico	0.11627241
Mediana	1
Moda	1
Desviación estándar	0.53282714
Varianza de la muestra	0.28390476
Curtosis	-0.82117182
Coficiente de asimetría	-0.27002402
Rango	1.6
Mínimo	0.1
Máximo	1.7
Suma	22.6
Cuenta	21

Fuente: Elaboración propia.

Estos datos indican que el lago presenta una media de concentración de 1.07 ppm en el que el valor de la media y moda es de 1 respectivamente, la forma de la distribución de los datos se clasifica platocúrtica ya que se sale del límite de ± 0.05 , presentando un coeficiente de asimetría de -0.27 estando dentro del límite catalogándola como asimétrica tanto de la región del lado izquierdo como derecho, muestra una concentración mínima de 0.1 ppm y una concentración máxima de 1.7 ppm, por lo que la mayor parte de los sitios de muestreo presentan concentraciones sobrepasando el máximo permitido por las organizaciones

internacionales que tiene que ver con la normalización del agua para consumo humano.

Al realizar los análisis se logró comprobar que el método semicuantitativo kit MQuant® Arsenic Test 1.17917.0001 si proporciona valores que se encuentran dentro de la escala colorimétrica, lo que comprueba la veracidad del certificado de calidad de análisis, que proporciona el proveedor del kit. (Ver Anexo N°12)

Al momento de realizar el análisis se logra visualizar que el método semicuantitativo kit MQuant® Arsenic Test 1.17917.0001, permitió obtener resultados en cuestión de minutos, permitiendo la posibilidad de realizar varios análisis, al utilizar diferentes tubos de reacción al mismo tiempo, para diferentes muestras, obteniendo un mayor número de resultados de una forma rápida, practica y sencilla, siendo un método el cual permite disminuir en gran manera errores humanos al momento de realizar el análisis, ya que no requiere la necesidad de utilizar equipos de laboratorio que requieren experiencia para su manipulación y poseen un mayor costo.

5.3 Comparar los resultados obtenidos con investigaciones anteriores y especificaciones de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), Organización Mundial para la Salud (OMS) y Norma Salvadoreña NSO 13.07.01.08. para aguas superficiales.

Se compararon las concentraciones obtenidas por el método colorimétrico MQuant® Arsenic Test 1.17917.0001 en el año 2023 junto a las concentraciones obtenidas realizadas por el método espectrofotométrico de absorción atómica Shimadzu 6800 en el año 2000. De los cuales, se tomaron como base de toma de muestras algunos sitios de la investigación denominada “Contaminación volcánica de arsénico y boro en el lago de Ilopango” realizada en el año 2000 para asignar puntos donde se tomaría la muestra de agua para analizarla y obtener la concentración de arsénico y comparar. Teniendo en cuenta que el método empleado fue diferente para las muestras, en ambas investigaciones la concentración de arsénico en la periferia del lago de Ilopango sobrepasa el límite establecido por las organizaciones en cuanto a la calidad de aguas para consumo humano como se observa en la Tabla N°6.

Tabla N°6. Resultados obtenidos de la toma de muestra de 21 puntos seleccionados.

PUNTO	SITIO DE MUESTREO	MÉTODO COLORIMÉTRICO MQUANT ARSENIC TEST 1.17917.001	MÉTODO ESPECTROFOTOMÉTRICO DE ABSORCIÓN ATÓMICA SHIMADZU 6800.
1	Turicentro Apulo	0.1	
2	Rio del Valle, Cantón Apulo	0.1	
3	Playa Palo Seco	1	0.78
4	Vivero de peces	0.5	0.34
5	Playa Amatitlán	1	
6	Rio Changuite	0.5	
7	Cantón Joya Grande (ANDA)	1	

Tabla N°6 (continuación)

PUNTO	SITIO DE MUESTREO	MÉTODO COLORIMÉTRICO MQUANT ARSENIC TEST 1.17917.001	MÉTODO ESPECTROFOTOMÉTRICO DE ABSORCIÓN ATÓMICA SHIMADZU 6800.
8	Cantón Joya Grande	1.7	0.69
9	Caserío El Rincón	1	0.69
10	Caserío Changallo	1	
11	Playa El Pacayal	1	0.75
12	Playa Poza verde	1	
13	Playa La Hacienda	1.7	0.77
14	Vivero Tilapias	1.7	
15	Cantón La Joya	1.7	0.49
16	Caserío San Antonio, Candelaria	1.7	0.29
17	Cantón Palo Blanco	1.7	
18	Playa La Tronconera	1.7	
19	San Agustín	0.5	
20	Club Salvadoreño Corinto	1	
21	Cantón Apacinto	1	

Fuente: Elaboración propia.

Las concentraciones que se obtuvieron en el análisis están distribuidas de una manera discontinua ya que presenta saltos en las concentraciones debido a la sensibilidad del método colorimétrico MQuant® Arsenic Test 1.17917.001 abarca el intervalo con un rango de concentraciones ya definidas. Sin embargo, se asumirá estadísticamente que son datos continuos para realizar en el procesamiento de los datos e inferencias estadísticas de comparación de valores de tendencia central.

En la Figura N°13 se representan los resultados de la concentración de arsénico en la periferia del lago de Ilopango obtenidos por el método MQuant® Arsenic Test 1.17917.0001 y el método espectrofotométrico de absorción atómica Shimadzu 6800, la gráfica nos indica con una "X" que representa la media entre

ambos métodos siendo 1.07 y 0.6 respectivamente, la línea que se encuentra ubicada dentro de cada caja en la gráfica representa la mediana. Por lo tanto, podemos observar en la Tabla N°7 que la diferencia entre las medias de ambos métodos es significativa, también, la desviación estándar de método colorimétrico MQuant® Arsenic Test 1.17917.0001 se encuentra más dispersa que el método espectrofotométrico de absorción atómica Shimadzu 6800. En cuanto a la curtosis indica el grado de apuntamiento o achatamiento de la distribución, siendo el límite tanto de curtosis como de asimetría ± 0.05 . Por lo que, la curtosis de los datos del método colorimétrico Mquant Arsenic Test 1.17917.0001 sale del límite con un valor de -0.82 inclinándose a una curtosis platicúrtica; en cuanto a la asimetría se observa un valor de -0.27 no saliendo del límite de ± 0.05 , es decir, que tanto la región derecha como la izquierda están similares ya que la media y la mediana se encuentra cerca como se observa en la gráfica. En cuanto al método espectrofotométrico de absorción atómica Shimadzu 6800, la curtosis como asimetría no tiene distribución normal ya que sobrepasa el límite de ± 0.05 .

Tabla N°7. Evaluación estadística del método colorimétrico MQuant® Arsenic Test 1.17917.0001 y método espectrofotométrico de absorción atómica Shimadzu 6800.

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL Y DISPERSIÓN	MÉTODO COLORIMÉTRICO MQUANT ARSENIC TEST 1.17917.001	MÉTODO ESPECTROFOTOMÉTRICO DE ABSORCIÓN ATÓMICA SHIMADZU 6800.
Media	1.076190476	0.6
Desviación Estándar	0.532827141	0.19849433
Curtosis	-0.821171817	-1.2615612
Asimetría	-0.270024022	-0.80665289

Fuente: Elaboración propia

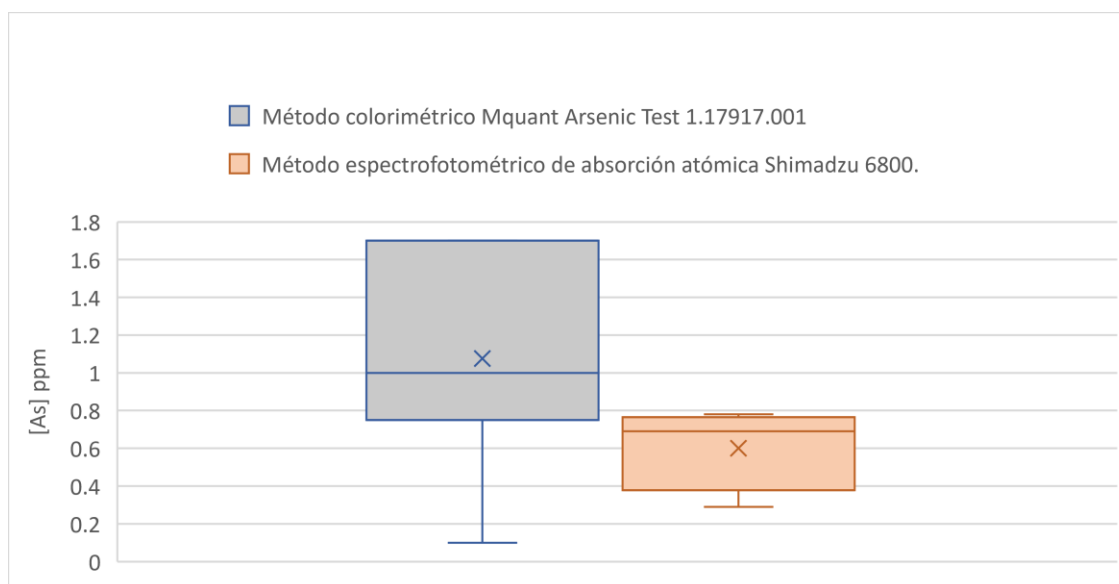


Figura N°13. Resultados de la concentración de arsénico obtenidos por los diferentes métodos.

Fuente: Elaboración propia.

Inferencia estadística de comparación de resultados de método colorimétrico Mquant Arsenic Test 1.17917.001 y método espectrofotométrico de absorción atómica Shimadzu 6800.

Se asumirán que los datos tanto del método espectrofotométrico de absorción atómica Shimadzu 6800 como del método colorimétrico Mquant Arsenic Test 1.17917.001 son datos con distribución normal para aplicar la prueba F de Fisher.

Tabla N°8. Prueba F para varianzas de dos métodos suponiendo que son iguales.

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL Y DISPERSIÓN	MÉTODO COLORIMÉTRICO MQUANT ARSENIC TEST 1.17917.001	MÉTODO ESPECTROFOTOMÉTRICO DE ABSORCIÓN ATÓMICA SHIMADZU 6800.
Media	1.07619048	0.6
Varianza	0.28390476	0.0394
Observaciones	21	8
Grados de libertad	20	7
F	7.20570462	
P(F<=f) una cola	0.00624791	
Valor crítico para F (una cola)	3.44452483	

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla N°8 El valor de P(F<=f) una cola en los datos es 0.006 y el valor de alfa obtenido en el análisis estadístico es de ± 0.05 por lo que se rechaza la hipótesis nula la cual indica que la varianza del método colorimétrico Mquant Arsenic Test 1.17917.0001 es igual a la varianza del método espectrofotométrico de absorción atómica Shimadzu 6800 y se acepta la hipótesis alternativa la cual indica que la varianza de ambos métodos es diferente.

El valor de P en la Tabla N°9 para la prueba t student de medias es de 0.0016, comparando con el límite de alfa ± 0.05 se observa que es menor por lo tanto se rechaza la hipótesis nula ya que las medias de ambos métodos son diferentes por lo tanto se aceptaría la hipótesis alterna. Se concluye que la media de la concentración de arsénico por el método colorimétrico MQuant® Arsenic Test 1.17917.0001 es diferente de la media de la concentración de arsénico por el método espectrofotométrico de absorción atómica a una significancia de ± 0.05 .

Tabla N°9. Prueba F para varianzas de dos métodos suponiendo varianzas desiguales.

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL Y DISPERSIÓN	MÉTODO COLORIMÉTRICO MQUANT ARSENIC TEST 1.17917.001	MÉTODO ESPECTROFOTOMÉTRICO DE ABSORCIÓN ATÓMICA SHIMADZU 6800.
Media	1.07619048	0.6
Varianza	0.28390476	0.0394
Observaciones	21	8
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	27	
Estadístico t	3.50630683	
P(T<=t) una cola	0.0008036	
Valor crítico de t (una cola)	1.70328845	
P(T<=t) dos colas	0.00160721	
Valor crítico de t (dos colas)	2.05183052	

Fuente: Elaboración propia.

Al comparar los resultados obtenidos por el método colorimétrico MQuant® Arsenic Test 1.17917.0001 con las especificaciones de la Organización Mundial para la Salud (OMS), Agencia de Protección Ambiental (EPA) y Norma Salvadoreña para aguas Superficiales 13.07.01.08 (NSO) para aptitud de uso de las aguas superficiales y agua para consumo humano se contempla que los resultados sobrepasan el límite de [As] permitido por las especificaciones

establecidas por dichas organizaciones, restringiendo el uso de estas aguas para su consumo evitando así enfermedades a largo plazo.

Tabla N°10. Comparación de resultados obtenidos por el método colorimétrico MQuant® Arsenic Test 1.17917.0001 y especificaciones de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), Organización Mundial para la Salud (OMS) y Norma Salvadoreña NSO 13.07.01.08.

PARÁMETRO	ESPECIFICACIÓN	ORGANIZACIÓN	VALOR GUIA	VALOR PROMEDIO OBTENIDO UTILIZANDO METODO MQUANT® ARSENIC TEST 1.17917.0001
ARSÉNICO	Aptitud de uso de las aguas superficiales	EPA	0.01 mg/L	1.07 mg/L
		OMS	0.01 mg/L	
		Norma Salvadoreña NSO 13.07.01.08 para aguas superficiales.	0.01 mg/L	
	Agua para consumo humano	EPA	0.01 mg/L	
		OMS	0.01 mg/L	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°11. Matriz de riesgo de resultados obtenidos de muestreo de concentración de arsenico por el método colorimétrico MQuant® Arsenic Test 1.17917.0001.

		MATRIZ DE RIESGO				
		CONSECUENCIA				
		Mínima <0.01 ppm	Menor 0.01 ppm	Moderad a <0.02	Mayor 0.02 a 1 ppm	Máxima >1 a 3 ppm
PROBABILIDAD		1	2	4	8	16
Muy alta	5	5	10	20	40	80
Alta	4	4	8	16	32	64
Media	3	3	6	12	24	48
Baja	2	2	4	8	16	32
Muy baja	1	1	2	4	8	16

Fuente: Elaboración propia.

La matriz de riesgo proporciona una visión de los riesgos en base a su probabilidad e impacto, los resultados de las concentraciones de arsénico obtenidos en el análisis, nos permitió conocer los riesgos, identificando si son aceptables, tolerables, altos o extremos y así obtener información para la toma de decisiones y priorizar las acciones a tomar en cuenta (Ver Figura N°14).

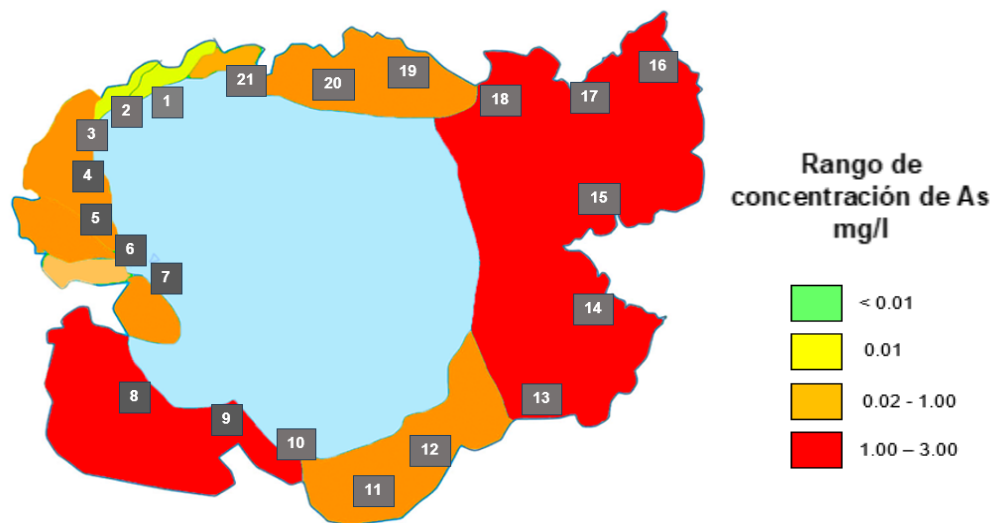


Figura N°14. Representación colorimétrica de la concentración de [As]
Fuente: Elaboración propia.

5.3.1 Comparación de niveles de arsénico en las aguas del lago de Ilopango por el método de espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES) utilizado en el artículo Contaminación volcánica por arsénico y boro del lago Ilopango, El Salvador y el método colorimétrico MQuant® Arsenic Test 1.17917.0001.

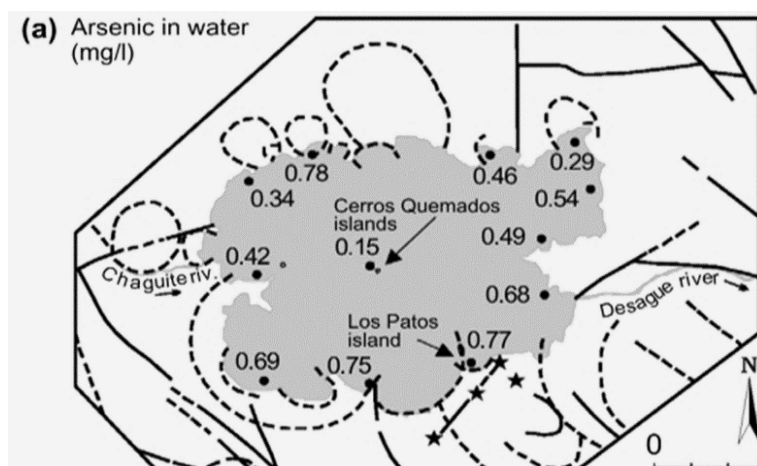


Figura N°15. Resultados de concentraciones de arsénico en las aguas del lago de Ilopango por el método de espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES) ⁽³³⁾

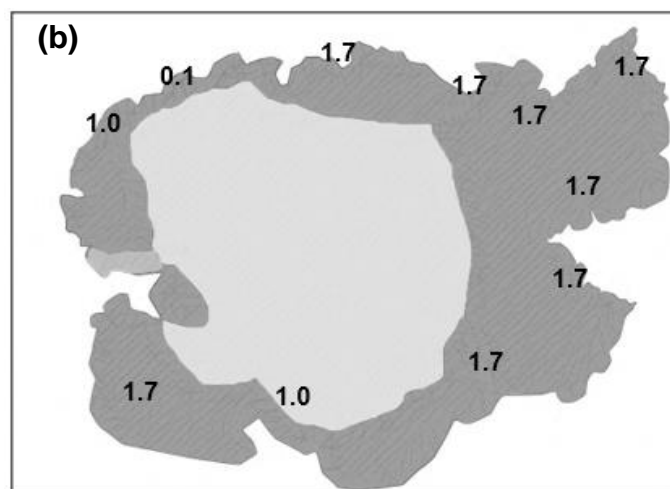


Figura N°16. Resultados de concentraciones de arsénico en las aguas del lago de Ilopango por el método colorimétrico MQuant® Arsenic Test 1.17917.0001.

Fuente: Elaboración propia

Comparando las Figuras N°15 que representa los sitios de muestreo en la investigación con el método Espectrometría de Emisión Atómica de Plasma Acoplado inductivamente (ICP-AES) y la Figura N°16 utilizando el método MQuant® Arsenic Test 1.17917.0001 en el que indica los sitios que coinciden con la investigación anterior, respecto a los niveles de arsénico obtenidos en las aguas del lago de Ilopango se puede observar que los niveles de concentración de arsénico han demostrado a través de los años un aumento significativo, esto puede darse debido a los cambios ambientales de dicho lago y a la contaminación puntual y difusa que pueden realizar los seres humanos. Por lo que la existencia de arsénico en altas concentraciones se convierte en un grave peligro para el ser humano y puede ocasionar daños a la salud a largo plazo y de manera irreversible.

CAPITULO VI
CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

1. Para la selección de los puntos de muestreo del Lago de Ilopango se tomaron como criterios aquellos lugares en donde el agua se utiliza para consumo o la recreación de habitantes y turistas, debido a que en esas zonas no existe tratamiento previo para su uso.
2. Las concentraciones de arsénico obtenidas en este estudio utilizando el método colorimétrico MQuant® Arsenic Test 1.17917.00, son mayores al límite máximo permitido por las especificaciones de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), Organización Mundial para la Salud (OMS) y Norma Salvadoreña NSO 13.07.01.08.
3. La concentración de arsénico obtenida en este estudio es mayor a la reportada en estudios anteriores.
4. De todos los sitios de muestreo analizados, los que presentaron resultados más altos y fuera de los valores máximos permitidos fueron: Playa La Hacienda, Vivero de Tilapias, Cantón La joya, Caserío San Antonio, Candelaria, Cantón Palo Blanco, Playa La Tronconera, y por tanto son aquellos que tienen una mayor probabilidad de presentar los efectos tóxicos a las personas que usan del lago para distintas actividades en estas zonas.

CAPITULO VII
RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

1. Invitar a las autoridades del ministerio de medio ambiente y recursos naturales a continuar con el estudio de los niveles de concentración de arsénico en toda la superficie del lago de Ilopango, durante las diferentes estaciones del año.
2. Las instituciones gubernamentales implicadas en el tema deben brindar información a la población sobre los resultados obtenidos de concentración de arsénico en el Lago de Ilopango.
3. Las unidades de salud que tienen jurisdicción en las comunidades cercanas al lago de Ilopango, realizar actividades informativas para la población que hace uso de las aguas del lago para sus diferentes actividades cotidianas, sobre las complicaciones que puede generar en la salud la exposición a concentraciones altas de arsénico a mediano y largo plazo.
4. A las autoridades o instituciones gubernamentales realizar un esfuerzo en la búsqueda de métodos o alternativas de descontaminación del arsénico en agua, que puedan ser factibles, eficientes y ecológicos.
5. Al Ministerio de Salud, realizar estudios en las comunidades cercanas al lado de Ilopango, sobre la incidencia de enfermedades atribuidas a la exposición de arsénico en agua.
6. A los estudiantes de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador, realizar investigaciones de los niveles de arsénico en la

vida acuática, principalmente en las zonas de reproducción de peces para consumo humano.

7. A la Facultad de Química y Farmacia, realizar estudios de las aguas del Lago de Ilopango en busca de otros metales pesados que podrían estar presentes y sean perjudiciales para la salud.

BIBLIOGRAFÍA

1. Sachs. Ecología y enseñanza rural: nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas. Inforcl [Online]. 2023 [citado 2021 Septiembre2]; Disponible: <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/5139>.
2. Calidad del agua Decenio Internacional para la acción El agua, fuente de vida "2005.2015[Online].org.2015. Disponible: <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>.
3. Ayers RS, Westcot DW, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Water quality for agriculture [Internet]. National Library of Australia (new catalog). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 1985.
4. Organización Mundial de la Salud. Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda [Online]. apps.who.int. Organización Mundial de la Salud; 2018 [citado 2021 octubre14]. Disponible: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/272403>.
5. Sysop. Contaminación del agua de fuentes puntuales y difusas [Internet]. www.fluencecorp.com. 2022 [consultado 2021 octubre 14]. Disponible : <https://www.fluencecorp.com/es/fuentes-puntuales-y-difusas-de-contaminacion-del-agua>.
6. South China Morning Post. [Internet] 28 Dec, 2020. Hitachi Zosen 'aims to realise a low-carbon, recycling oriented hydrogen society' in China through its methanation technology, the company said). Disponible: China's carbon

neutral goal: Hitachi to build world's biggest plant in Shaanxi to mix carbon dioxide, hydrogen into methane | South China Morning Post (scmp.com)

7. Nordberg G. Capítulo 63 Metales: propiedades químicas y toxicidad [Internet]. Google Books. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT); 2012 [consultado 2021 octubre 27]. Pag Available from: https://books.google.com.sv/books/about/Cap%C3%ADtulo_63_Metales_propiedades_qu%C3%ADmic.html?id=EXzctwEACAAJ&redir_esc=y.
8. Saleh HEDM, Aglan RF. Heavy Metals[Internet]. www.intechopen.com.2018. Disponible:<https://www.intechopen.com/books/6534>.doi:10.5772/intechopen.71185.
9. Montero-Campos V, Quesada-Kimsey J, Ledezma-Espinoza A, Sandoval-Mora JA. Determinación de arsénico en abastecimientos de agua para consumo humano de la provincia de Cartago, Costa Rica. Acta Médica Costarricense[Online].2010/Jun1;52(2):96101.Disponible:https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0001-60022010000200007.
10. Litter, Marta. Arsénico en agua. En: Universidad Nacional de San Martín y Fundación Innovación Tecnológica (FUNINTEC). Programa Futuros: Escuela de Posgrado: Agua + Humedales. (Serie Futuros). Buenos Aires: UNSAM Edita. (2018).
11. Pérez A., Boochs P. W., Billib M., Wessels J., Fernández A. Distribución de arsénico en agua superficial y subterránea en el sudeste de la provincia de Córdoba, Argentina. Octubre de 2010.

12. Herrera T., Luz O., Miranda S., Benavides A., Dominguez I. Arsénico en agua, presencia, cuantificación analítica y mitigación. Centro de investigación en materiales Avanzados, Chihuahua, México 2014.
13. Sabino JFP, Valladares B, Hernández E, Oliva B, Cid MD, Reyes PJ. Determinación de arsénico y mercurio en agua superficial del lago de Atitlán. Ciencia, Tecnología y Salud [Online]. 2015 Nov 16 [citado 2022 enero13];2(2):3744. Disponible: <https://revistas.usac.edu.gt/index.php/cytes/article/view/58>.
14. Federation of American Societies for Experimental Biology. Arsenicals in biology retrospect and prospect. Fed Proc. 1967; 26:194- 208. [Online]. Disponible: Federation proceedings. - NLM Catalog - NCBI (nih.gov)
15. Organización Mundial de La Salud. OMS, [Online]. [consultado 2022 marzo 16]. Disponible: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>.
16. Richard Pearshouse. The Politics of Arsenic Free Water, [Online]. [https://www.hrw.org/news/2017/03/16/politics-arsenic-free water](https://www.hrw.org/news/2017/03/16/politics-arsenic-free-water)
17. Arjun Sinha, Adovich S. Rivera, Simran A. Chadha. Riesgo comparativo de enfermedad coronaria incidente en enfermedades inflamatorias crónicas. 2021 Noviembre. Disponible: Current Dermatology Repots
18. Skin Yeast Infection Treatment. [Online]. Disponible: [https://www. Diario cordoba.com](https://www.Diariocordoba.com).

19. Centers for disease control and prevention. [Online]. Disponible en: <http://www.vaccineinformation.org/photos/hepaiac001.jpg>
20. Medina-Pizzali M, Robles P, Mendoza M, Torres C. Ingesta de arsénico: el impacto en la alimentación y la salud humana. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica. 2018 junio. [citado 2022 enero 13];35(1):93102. Disponible: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342018000100015.
21. Reyes Y. C., Vergara I., Torres O. E., Díaz M., González E. E., Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. Vol. 16 N°2. diciembre 2016.
22. Informe turismo, información pública municipio de Ilopingo. [Online]. Consultado [2022 marzo 10]. Disponible: <https://www.alcaldiadeilopango.gob.sv/wpcontent/uploads/2020/05/INFORME-TURISMO-02-2020.pdf>
23. Colón-Ortiz AJ. Estudio de metales pesados en el lago de Ilopingo, El Salvador. Ciencia, Cultura y Sociedad. 2017 Jun 29;4(1):7–14.
24. Aparicio E. Técnicas colorimétricas (Colorimetric techniques). “La colorimetría es la ciencia que estudia la medida de los colores” [Online]. Disponible: http://revista.cleu.edu.mx/new/descargas/1703/articulos/Articulo08_Tecnicas_colorimetricas.pdf.
25. Kit para prueba rápida de arsénico. [Online]. [Consultado 2021 Septiembre 05]. Disponible en: <https://www.sigmaaldrich.com/deepweb/assets/sigmaaldrich/product/documents/297/288/117917ug-mk.pdf>.

26. Diego Fernando T. Wilmer Yair V. Elaboración de un mapa de riesgo de calidad del agua para consumo humano de la quebrada de hoya en el municipio de Zipaquirá Cundinamarca. Tesis de pregrado. Bogotá. Universidad Santo Tomás. Facultad de ingeniería; 2016.
27. Panigatti MC, Boglione R, Schierano MC, Griffa Carina Andrea CA, Abella F, Bambill. Héctor R. HR, et al. Contaminación atmosférica e hídrica en Argentina: tomo V [Online]. ria.utn.edu.ar. edUTecNe; 2019 [Consultado 2022 marzo 5]. Disponible: <https://ria.utn.edu.ar/handle/20.500.12272/4406?show=full>.
28. Colón, A. y Sotomayor, J. Determinación de la presencia y concentración de metales pesados en la Reserva Natural Punta Cucharas de Ponce, Puerto Rico. [Online]. 2016. Disponible: <https://www.nperci.org/A.%20Colon%20y%20J.%20Sotomayor-Metales%20pesados-V13N2.pdf>.
29. Ficha de datos de seguridad de acuerdo con el Reglamento (CE) No. 1907/2006. Test Arsénico Método colorimétrico con tiras de ensayo y reactivos 0.02 - 0.05 - 0.1 - 0.2 - 0.5 mg/l As; 0.1 - 0.5 - 1.0 - 1.7 - 3.0 mg/l As MQuant™.
30. Paola Andrea Truque B. Armonización de los estándares de agua potable en las Américas. Disponible: <https://www.oas.org/dsd/publications/classifications/Armoniz.EstandaresAguaPotable.pdf>.
31. Prieto F, Báez OA. Concentraciones de arsénico en agua potable y sus implicaciones de bioacumulación y teratogénesis en el pez cebra (Danio rerio). Avances en Ciencias e Ingeniería [Online]. 2011 [citado 2022 marzo 15]; 2(1):37-50. Disponible: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=323627681004>.

32. Norma salvadoreña obligatoria NSO 13.07.01:08.: agua, agua potable (segunda actualización) | CIDOC Virtual [Online]. [Consultado 2022 Octubre9]. Available from: <https://cidoc.ambiente.gob.sv/documentos/norma-salvadorena-obligatoria-nso-13-07-0108-agua-agua-potable-segunda-actualizacion>.

33. Dina L. Lopez, T. Soriano. Contaminación volcánica por arsénico y boro del lago Ilopango, El Salvador. 2009 Enero. [Online]. Disponible en: [https://\(PDF\)Contaminación volcánica por arsénico y boro del lago Ilopango, El Salvador \(researchgate.net\)](https://(PDF)Contaminación%20volcánica%20por%20arsénico%20y%20boro%20del%20lago%20Ilopango,%20El%20Salvador%20(researchgate.net))

GLOSARIO

Brillo: es la cantidad de luz emitida por una fuente lumínica o reflejada por una superficie. (1)

Longitud de onda predominante: es la longitud de la radiación monocromática correspondiente. (1)

Luminancia: medición luminosa de la intensidad de la radiación. (1)

Luminosidad: es la cantidad de luz reflejada por una superficie en comparación con la reflejada por una superficie blanca en iguales condiciones de iluminación. (1)

Pureza: magnitud de la dilución de un color en blanco. (1)

Saturación: es la intensidad cromática o pureza de un color. (1)

Tono, matiz o croma: es el atributo que diferencia el color y por la cual designamos los colores: verde, violeta, anaranjado. (1)

Valor (value): es la claridad u oscuridad de un color, está determinado por la cantidad de luz que un color tiene. (1)

ANEXOS

ANEXO N°1



Figura N°17. Preparación del equipo para la realización de la toma de muestra.

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO N°2

**MUESTRA N° __ PARA EVALUACION DE ARSENICO
EN LAS AGUAS DEL LAGO DE ILOPANGO POR LA
TECNICA COLORIMETRICA DE TIRAS REACTIVAS
MQUANT® ARSENIC TEST 1.17917.0001.**

Nombre de responsable del muestreo: *Juan Rivera*

Ubicación o coordenadas de muestreo: *13.668598 , - 89.085189 .*

Hora y fecha de recolección de muestra: *29 - 07 - 2022 11:35 am*

Código de identificación de la muestra: *#7*

Figura N°18. Viñeta utilizada para la identificación de las muestras

Fuente: Elaboración propia

SITIOS DE MUESTREO	CONCENTRACION DE ARSENICO (mg/L)	EVIDENCIA

Figura N°19. Registro de datos para cada toma de muestras

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N°3

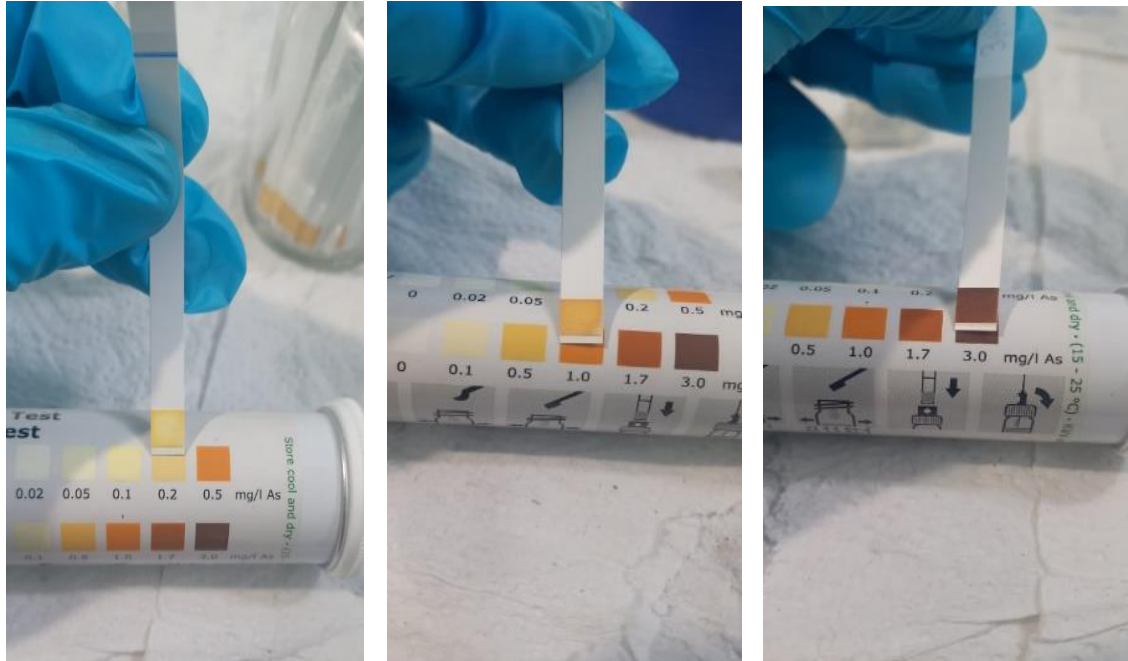


Figura N°20. Resultados del análisis de estándar de arsénico (0.02 ppm, 1 ppm, 3ppm).

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N°4



Figura N°21. Equipo kit MQuant® Arsenic Test 1.17917.0001 para proceder al analisis de las muestras.

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N°5

Don't use printout for evaluation!!

XXXXXX

7.69200.9265 02/2021

117917

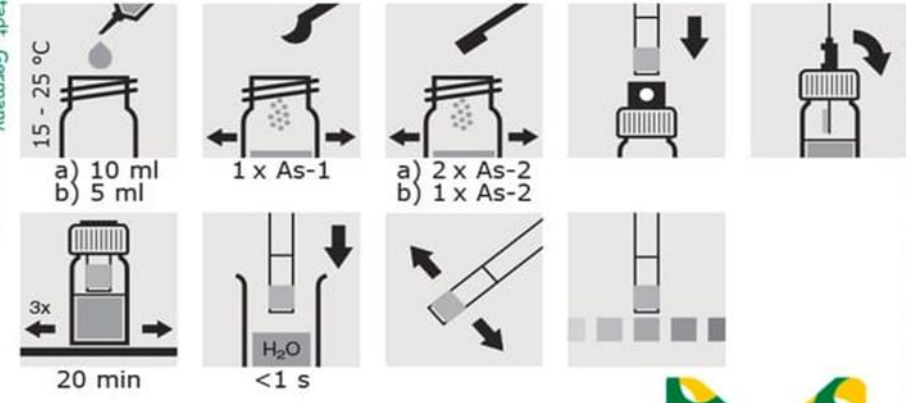
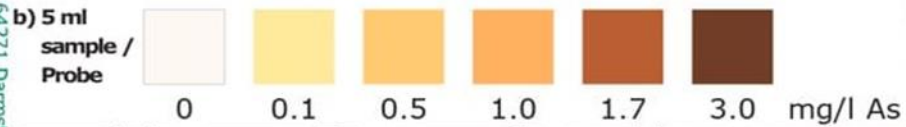
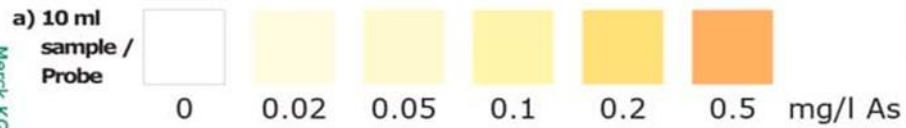
Supelco

100 Tests

MQuant®

Arsenic Test
Arsen-Test

Merck KGaA, 64271 Darmstadt, Germany
EMD Millipore Corporation, Burlington MA 01803, USA
Sigma-Aldrich Canada Co. or Millipore (Canada) Ltd. 2149
Winston Park, Dr. Oakville, Ontario, L6H 6J8



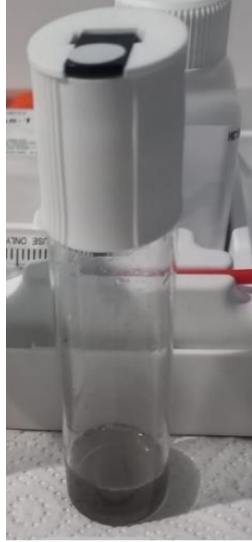
Store cool and dry • (15 - 25 °C) • Kühl und trocken lagern



Lot min. shelf life (YYYY/MM/DD)

Figura N°22. Escala colorimétrica del kit MQuant® Arsenic Test 1.17917.0001.(25).

ANEXO N°6



Tiempo de reposo de la muestra dentro del tubo con los reactivos As-1 y As-2. Mostrando una coloración grisácea.



Colocación de la tira de ensayo dentro del tubo conteniendo la muestra, se observa una efervescencia mostrando de desprendimiento del gas arsina.



Clasificación de la tira reactiva en la escala de colores de kit MQuant™ Arsenic test.

Figura N°23. Procedimiento realizado para el análisis.

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N°7

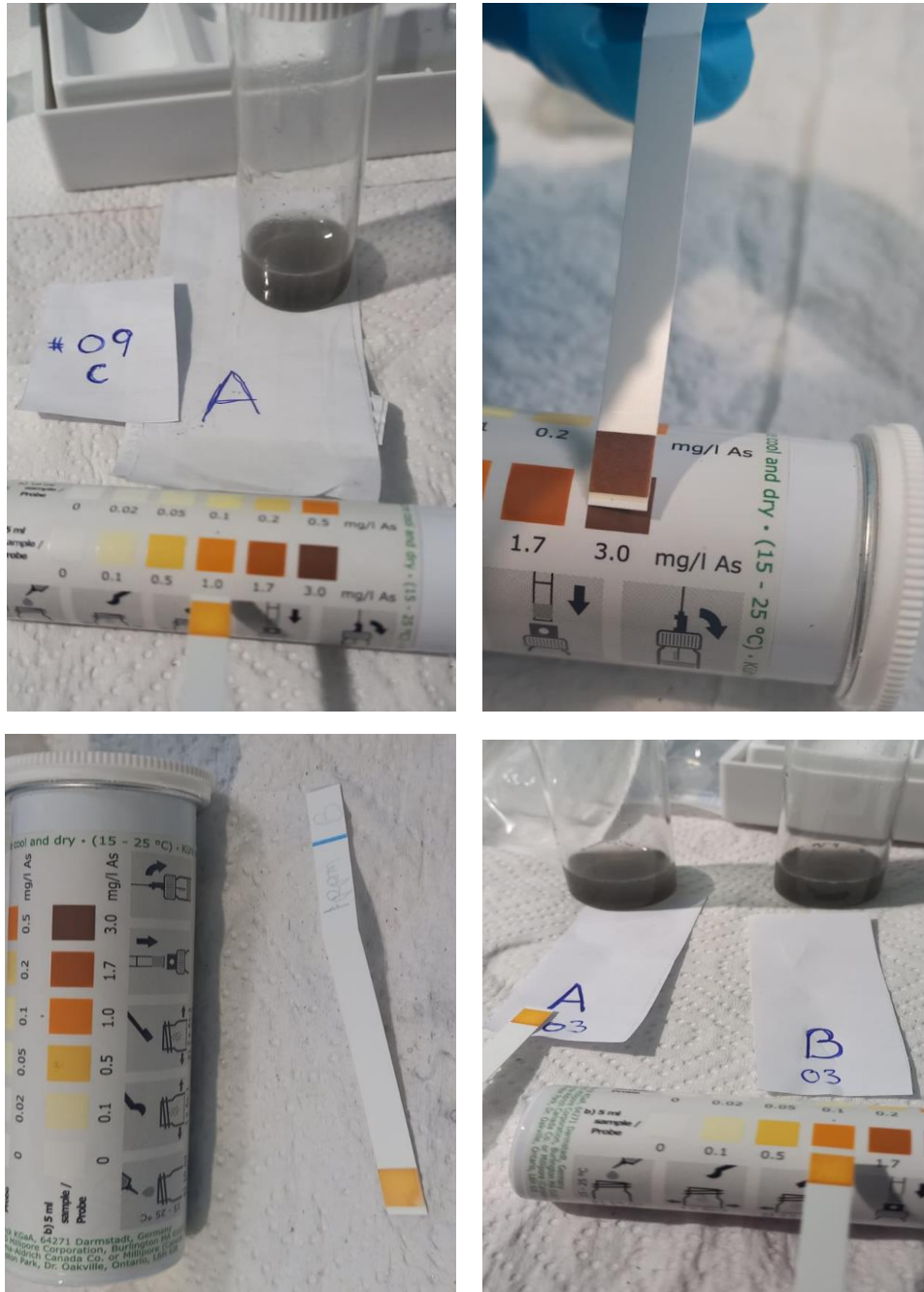


Figura N°24. Resultados de los analisis de las muestras.

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N°8

United States
Environmental Protection
Agency

Office of Water
(4606)
www.epa.gov/water

EPA 815-F-00-015
January 2001

Drinking Water Standard for Arsenic

The Environmental Protection Agency (EPA) is finalizing a regulation to reduce the public health risks from arsenic in drinking water. The Agency is revising the current drinking water standard for arsenic from 50 parts per billion (ppb) to 10 ppb. This revision will provide additional protection for 13 million Americans against cancer and other health problems, including cardiovascular disease and diabetes, as well as neurological effects.

Background

Studies have linked long-term exposure to arsenic in drinking water to cancer of the bladder, lungs, skin, kidney, nasal passages, liver, and prostate. Non-cancer effects of ingesting arsenic include cardiovascular, pulmonary, immunological, neurological, and endocrine (e.g., diabetes) effects. Short-term exposure to high doses of arsenic can cause other adverse health effects, but such effects are unlikely to occur from U.S. public water supplies that are in compliance with the existing arsenic standard of 50 ppb.

The current standard of 50 ppb was set by EPA in 1975, based on a Public Health Service standard originally established in 1942. A March 1999 report by the National Academy of Sciences concluded that the current standard does not achieve EPA's goal of protecting public health and should be lowered as soon as possible.

On June 22, 2000, EPA proposed a new drinking water standard of 5 ppb for arsenic and requested comment on options of 3 ppb, 10 ppb and 20 ppb. EPA evaluated over 6,500 pages of comments from 1,100 commenters. Under the Safe Drinking Water Act Amendments of 1996, EPA is required to issue a final rule by January 1, 2001 and Congress subsequently extended this date to June 22, 2001.

Final Rule

EPA is setting the new arsenic standard for drinking water at 10 ppb to protect consumers against the effects of long-term, chronic exposure to arsenic in drinking water. EPA is using its discretionary authority under the 1996 Amendments to the Safe Drinking Water Act to set the standard at a level that "maximizes health risk reduction benefits at a cost that is justified by the benefits."

The new standard will apply to all 54,000 community water systems. A community water system is a system that serves 15 locations or 25 residents year-round, including most cities and towns, apartments, and mobile home parks with their own water supplies. EPA estimates that roughly five percent, or 3,000, of community water systems, serving 11 million people, will have to take corrective action to lower the current levels of arsenic in their drinking water.

ANEXO N°9

**NORMA SALVADOREÑA NSO 13.07.01.08 PARA AGUAS
SUPERFICIALES.**

**NORMA
SALVADOREÑA**


NSO 13.49.01:09

AGUA.

AGUAS RESIDUALES DESCARGADAS A UN CUERPO RECEPTOR.

CORRESPONDENCIA: Esta norma es una adaptación de la Propuesta de Norma de Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor. Ministerio de Salud, El Salvador. Octubre de 1996.

ICS 13.060

Editada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT, Colonia Médica, Avenida Dr. Emilio Alvarez, Pasaje Dr. Guillermo Rodríguez Pacas, # 51, San Salvador, El Salvador, Centro América. Teléfonos: 2234-8400, 2225-6222; Fax. 2225-6255; e-mail: info@ns.conacyt.gob.sv.

Derechos Reservados.

Figura N°26. Criterio de aceptación de concentración de arsénico de NSO 13.49.01:09. (32).

Tabla 3. Parámetros Complementarios sobre Valores Permisibles para Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor

Parámetros	Valores máximos permisibles
Aluminio (Al)	mg/l 5
Arsénico (As)	mg/l 0,1
Bario total (Ba)	mg/l 5
Berilio (Be)	mg/l 0,5
Boro (B)	mg/l 1,5
Cadmio (Cd)	mg/l 0,1
Cianuro total (CN ⁻)	mg/l 0,5
Cinc (Zn)	mg/l 5
Cobalto (Co)	mg/l 0,05
Cobre (Cu)	mg/l 1
Coliformes fécales	NMP/100ml 2 000
Coliformes totales	NMP/100ml 10 000
Color	1 ¹⁾
Compuestos fenólicos sintéticos	mg/l 0,5
Cromo hexavalente (Cr ⁺⁶)	mg/l 0,1
Cromo total (Cr)	mg/l 1
Detergentes (SAAM)	mg/l 10
Fluoruros (F)	mg/l 5
Fósforo total (P)	mg/l 15
Organofluorina	mg/l 0,1
Fosfatina	mg/l 0,1
Benzimidazol	mg/l 0,1
Piretroides	mg/l 0,1
Bipiridilos	mg/l 0,1
Fenoxi	mg/l 0,1
Triazina	mg/l 0,1
Fosfónico	mg/l 0,1
Hierro total (Fe)	mg/l 10
Litio (Li)	mg/l 2

Continúa

¹⁾ efluente líquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor

Figura N°27. Criterio de aceptación de concentración de arsénico de NSO 13.49.01:09. (32).

ANEXO N°10

**CRITERIO DE ACEPTACION DE LA ORGANIZACIÓN MUNDIAL PARA
LA SALUD**

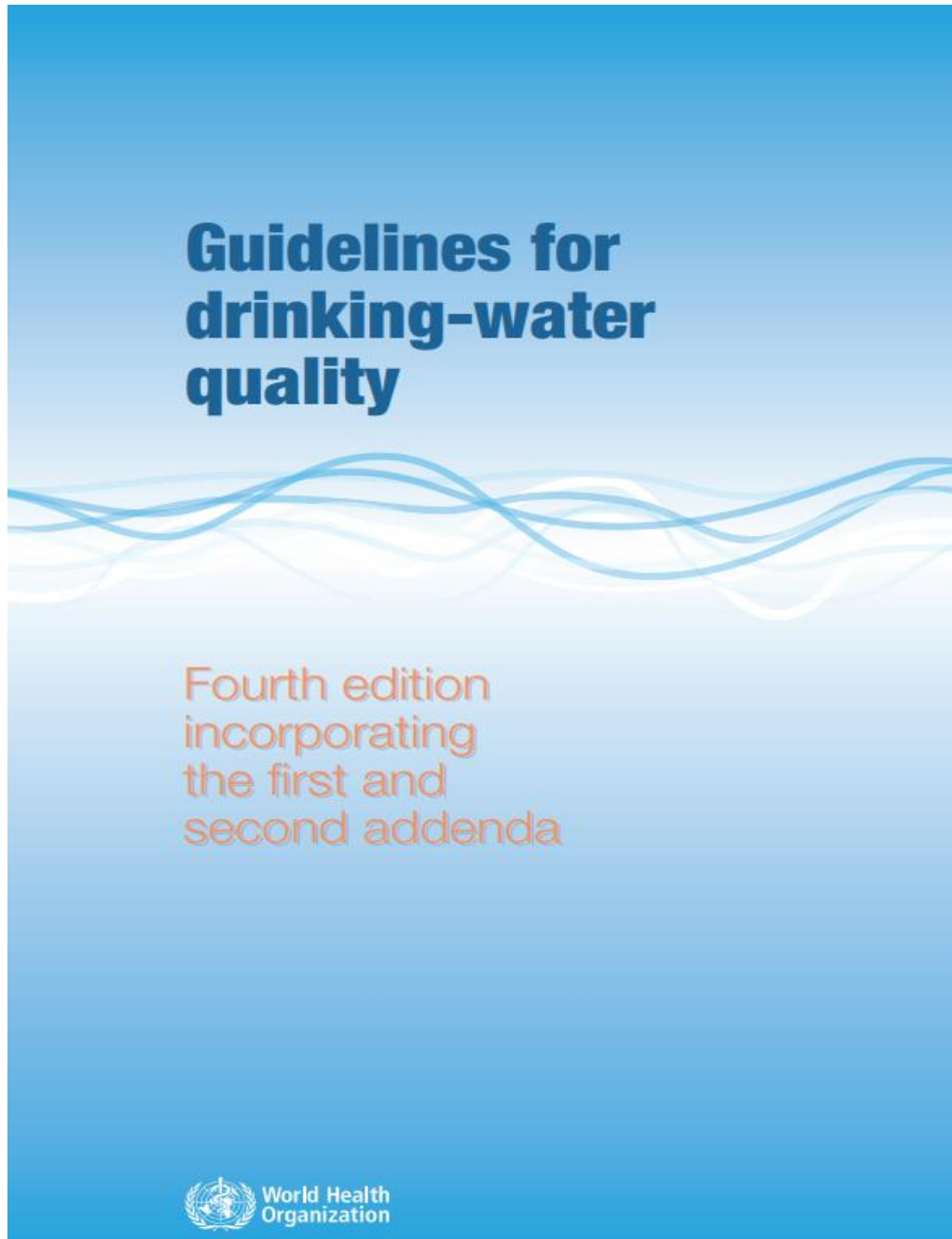


Figura N°28. Criterio de aceptación de concentración de arsénico de OMS. (15)

GUIDELINES FOR DRINKING-WATER QUALITY: FOURTH EDITION
INCORPORATING THE FIRST AND SECOND ADDENDA

Table 8.9 Guideline values for naturally occurring chemicals that are of health significance in drinking-water

Chemical	Guideline value		Remarks
	µg/l	mg/l	
Inorganic			
Arsenic	10 (A, T)	0.01 (A, T)	
Barium	1300	1.3	
Boron	2400	2.4	
Chromium	50	0.05	For total chromium
Fluoride	1500	1.5	Volume of water consumed and intake from other sources should be considered when setting national standards
Manganese	80 (P)	0.08 (P)	For total manganese. Aesthetic as well as health aspects should be considered when setting national standards
Selenium	40 (P)	0.04 (P)	
Uranium	30 (P)	0.03 (P)	Only chemical, not radiological, aspects of uranium addressed
Organic			
Cylindrospermopsins	0.7 (P)	0.0007 (P)	For short-term exposure* Both values are for total cylindrospermopsins (sum of all congeners, free plus cell-bound)
	3 (P)	0.003 (P)	
Microcystins	1 (P)	0.001 (P)	For short-term exposure* Both values are for total microcystins (sum of all congeners, free plus cell-bound)
	12 (P)	0.012 (P)	
Saxitoxins	3	0.003	For acute exposure
			For total saxitoxins (sum of all congeners, free plus cell-bound)

A, provisional guideline value because calculated guideline value is below the achievable quantification level; P, provisional guideline value because of uncertainties in the health database; T, provisional guideline value because calculated guideline value is below the level that can be achieved through practical treatment methods, source protection, etc.

* See the respective chemical fact sheet in chapter 12 for considerations for bottle-fed infants.

A number of chemicals can reach water as a consequence of disposal of general household chemicals; in particular, a number of heavy metals may be found in domestic wastewater. Where wastewater is treated, these will usually partition out into the sludge. Some chemicals that are widely used both in industry and in materials used in a domestic setting are found widely in the environment (e.g. di(2-ethylhexyl)-phthalate), and these may be found in water sources, although usually at low concentrations.

Some chemicals that reach drinking-water from industrial sources or human settlements have other primary sources and are therefore discussed in other sections of this chapter. Where latrines and septic tanks are poorly sited, these can lead to contamination of drinking-water sources with nitrate (see sections 8.5.3).

Figura N°29. Criterio de aceptación de concentración de arsénico de OMS. (15)

ANEXO N°11



United States
Environmental Protection
Agency

Office of Water
(4606)

EPA 816-F-01-004
January 2001



Arsenic and Clarifications to Compliance and New Source Monitoring Rule: A Quick Reference Guide

Overview of the Rule	
Title	Arsenic and Clarifications to Compliance and New Source Monitoring Rule 66 FR 6976 (January 22, 2001)
Purpose	To improve public health by reducing exposure to arsenic in drinking water.
General Description	Changes the arsenic MCL from 50 µg/L to 10 µg/L; Sets arsenic MCLG at 0; Requires monitoring for new systems and new drinking water sources; Clarifies the procedures for determining compliance with the MCLs for IOCs, SOCs, and VOCs.
Utilities Covered	All community water systems (CWSs) and nontransient, noncommunity water systems (NTNCWSs) must comply with the arsenic requirements. EPA estimates that 3,024 CWSs and 1,080 NTNCWSs will have to install treatment to comply with the revised MCL.

Public Health Benefits	
Implementation of the Arsenic Rule will result in . . .	<ul style="list-style-type: none"> • Avoidance of 16 to 26 non-fatal bladder and lung cancers per year. • Avoidance of 21 to 30 fatal bladder and lung cancers per year. • Reduction in the frequency of non-carcinogenic diseases.

Critical Deadlines & Requirements	
Consumer Confidence Report Requirements *	
Report Due	Report Requirements
July 1, 2001	For the report covering calendar year 2000, systems that detect arsenic between 25 µg/L and 50 µg/L must include an educational statement in the consumer confidence reports (CCRs).
July 1, 2002 and beyond	For reports covering calendar years 2001 and beyond, systems that detect arsenic between 5 µg/L and 10 µg/L must include an educational statement in the CCRs.
July 1, 2002 - July 1, 2006	For reports covering calendar years 2001 to 2005, systems that detect arsenic between 10 µg/L and 50 µg/L must include a health effects statement in their CCRs.
July 1, 2007 and beyond	For reports covering calendar year 2006 and beyond, systems that are in violation of the arsenic MCL (10 µg/L) must include a health effects statement in their CCRs.
For Drinking Water Systems	
Jan. 22, 2004	All <i>NEW</i> systems/sources must collect initial monitoring samples for all IOCs, SOCs, and VOCs within a period and frequency determined by the State.
Jan. 1, 2005	When allowed by the State, systems may grandfather data collected after this date.
Jan. 23, 2006	The new arsenic MCL of 10 µg/L becomes effective. All systems must begin monitoring or when allowed by the State, submit data that meets grandfathering requirements.
Dec. 31, 2006	Surface water systems must complete initial monitoring or have a State approved waiver.
Dec. 31, 2007	Ground water systems must complete initial monitoring or have a State approved waiver.
For States	
Spring 2001	EPA meets and works with States to explain new rules and requirements and to initiate adoption and implementation activities.
Jan. 22, 2003	State primacy revision applications due.
Jan. 22, 2005	State primacy revision applications due from States that received 2-year extensions.

* For required educational and health effects statements, please see 40 CFR 141.154.

Figura N°30. Criterio de aceptación de concentración de arsénico de EPA.

(3).

ANEXO N°12



Certificate of Analysis

1.17917.0001 Arsenic Test Method: colorimetric with test strips and reagents 0.02 - 0.05 -
0.1 - 0.2 - 0.5 mg/l As
Batch 0.1 - 0.5 - 1.0 - 1.7 - 3.0 mg/l As MQuant®
HC150142

Batch Values

Application test conforms

Date of release (DD.MM.YYYY) 26.02.2021
Minimum shelf life (DD.MM.YYYY) 29.02.2024

Tom Kupfer
Responsible laboratory manager quality control

This document has been produced electronically and is valid without a signature.

Figura N°31. Certificado de análisis de método MQuant® Arsenic Test 1.17917.0001. (25)