

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA**



**CUANTIFICACION DE METALES PESADOS EN SEDIMENTOS DE
MANGLAR EN ZONAS DE REPRODUCCION DE *Anadara tuberculosa*
(CONCHA PELUDA) EN BAHIA DE JIQUILISCO USULUTAN EL SALVADOR**

TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO POR

**SONIA MARIELA LANDAVERDE MARTINEZ
OSCAR ALEXANDER RIVAS RIVAS**

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

MAYO 2019

SAN SALVADOR EL SALVADOR CENTRO AMERICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

MAESTRO ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL

MAESTRO CRISTOBAL HERNAN RIOS BENITEZ

FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA

DECANO

LIC. SALVADOR CASTILLO AREVALO

SECRETARIO

MAE. ROBERTO EDUARDO GARCIA ERAZO

DIRECCION DE PROCESOS DE GRADUACION

DIRECTORA GENERAL

MSc. Cecilia Haydeé Gallardo de Velásquez

TRIBUNAL CALIFICADOR

ASESORA DE AREA EN APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES

Lic. Rina Antonieta Toledo Mendoza

ASESOR DE AREA EN CONTROL DE CALIDAD DE PRODUCTOS FARMACEUTICOS Y COSMETICOS

MSc. Eliseo Ernesto Ayala Mejía

DOCENTES ASESORES

MSc. Blanca Lorena Bonilla de Torres

MSc. Juan Milton Flores Tensos

Ing. Flor de María López

MSc. Norbis Salvador Solano Melara

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos en primer lugar a Dios permitirnos concluir esta etapa de nuestras vidas, por acompañarnos, cuidarnos y guiarnos en todo momento.

Expresamos nuestros más sinceros agradecimientos a los docentes asesores: MSc. Blanca Lorena Bonilla de Torres, MSc. Norbis Salvador Solano Melara, MSc. Juan Milton Flores Tensos, Ing. Flor de María López; así mismo a los docentes del tribunal evaluador; MSc. Eliseo Ernesto Ayala Mejía, Lic. Rina Antonieta Toledo Mendoza, quienes han dirigido el presente trabajo de investigación, por sus consejos, sugerencias y apoyo para alcanzar los objetivos propuestos, muchas bendiciones.

Agradecemos a los docentes y personal del Departamento de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador por su profesionalismo y disponibilidad en el momento de ejecutar la parte experimental en el laboratorio del Departamento, Dios los bendiga.

Sonia Landaverde y Oscar Rivas.

DEDICATORIA

Agradezco primeramente a mi Dios Todopoderoso, a quién es toda la gloria y honra por haberme permitido culminar ésta parte de mi vida, por haberme dado de su sabiduría e inteligencia para lograr cumplir uno de mis mayores objetivos, que comenzó como un simple sueño y hoy es una realidad. Por su gran misericordia y fidelidad, por haber tenido cuidado de mí hasta en el más mínimo detalle. Bendito sea tu nombre mi Señor.

A mi Madre Sonia y mi Tía Gloria, por ser los pilares que me han sostenido toda mi vida, por ser mujeres virtuosas y esforzadas; que junto de la mano de Dios siempre han estado para apoyarme en todo lo que he necesitado, mil gracias por todo su apoyo incondicional.

A mis amigos más cercanos, que han estado a lo largo de todo este proceso y nos hemos aventurado juntos y compartido muchas experiencias en nuestra formación como profesionales.

A mi compañero Oscar Rivas, por todo su esfuerzo y apoyo para realizar el presente trabajo de graduación.

A los docentes, que aportaron sus conocimientos para mi formación y orientación profesional.

Sin lugar a dudas, éste es el primer logro de muchos que deseo conquistar con la ayuda de Dios y el apoyo de mi familia.

Sonia Mariela Landaverde Martínez

DEDICATORIA

A mis padres **José Daniel Rivas** y **Tomasa Rivas** gracias por apoyarme en cada momento de este largo camino.

A mi hermana **Milagro Rivas**, siempre me diste tu ayuda y nunca me dijiste un no, cada vez que acudía a ti. Gracias a ti puedo terminar esta etapa de mi vida.

A todos mis hermanos **Daysi, Evelia, Marta y Miguel** gracias por no dejarme solo, brindarme su ayuda y siempre preocuparse por mí. A toda mi familia en general siempre estuvieron pendientes de mí.

A todos mis amigos y compañeros de la universidad **Lucí, Alex, Sixco, Clari, Mimi, Ros, Josue, Clau, Ceci...** A todos los que conocí en el transcurso de la mi carrera y me consideran su amigo.

A mis amigos de mi pueblo **Karla Abigail, Coni, Julio, Luis, Kani, Dennis** siempre me brindaron su amistad.

A dos personas muy importante en mi vida y que están en el cielo **Teotilde Rivas** y **Rafael Rivas**, fueron más que mis tíos, siempre me apoyaron gracias por todo.

"No solo no hubiéramos sido nada sin ustedes, sino con toda la gente que estuvo a nuestro alrededor desde el comienzo; algunos siguen hasta hoy. ¡GRACIAS TOTALES!" **Gustavo Cerati**

Oscar Alexander Rivas

INDICE

	Pág. N°
Resumen	
CAPÍTULO I	
1.0 Introducción	xvii
CAPÍTULO II	
2.0 Objetivos	
CAPÍTULO III	
3.0 Marco Teórico	23
3.1 Generalidades de la contaminación de sedimentos	23
3.2 Sedimentos	24
3.2.1 Generalidades	24
3.2.2 Composición de los sedimentos	24
3.3 Metales pesados en sedimentos	25
3.3.1 Contaminación por metales pesados.	25
3.4 Manglares	39
3.4.1 Generalidades de los manglares de El Salvador	40
3.4.2 Importancia socioeconómica	40
3.5 Bahía de Jiquilisco	42
3.5.1 Ubicación	42
3.5.2 Características físicas de la Bahía de Jiquilisco	43
3.5.3 Características ecológicas generales de la Bahía de Jiquilisco.	45
3.5.4 Principales especies de fauna de la Bahía de Jiquilisco	46
3.5.5 Valores socioeconómicos	47
3.6 Métodos utilizados para la determinación de metales pesados	47

3.6.1	Generalidades	47
3.6.2	Espectrofotometría de Absorción Atomía	48
CAPÍTULO IV		
4.0	Diseño Metodológico	54
4.1	Tipo de estudio	54
4.1.1	Exploratorio	54
4.1.2	Experimental	54
4.1.3	Prospectivo	54
4.2	Investigación bibliográfica	54
4.3	Investigación de campo	55
4.3.1	Ubicación de los sitios de recolección de muestras de sedimentos	55
4.4	Parte experimental	56
4.4.1	Pretratamiento de las muestras	56
4.4.2	Tratamiento y preparación las muestras.	57
4.4.2.1	Tratamiento y preparación las muestras	57
4.4.2.2	Digestión humedad de la muestra	59
4.4.3	Preparación de soluciones stock y soluciones estándar para arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc	59
4.4.4	Procedimiento para la cuantificación de arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc.	63
4.4.5	Comparación de resultados con la Guía técnica para detectar sedimentos contaminados	72
4.4.6	Análisis estadístico	73
CAPÍTULO V		
5.0	Discusión e Interpretación de Resultados	77
5.1	Identificación de los sitios de muestreo y recolección de muestras de sedimentos de manglar en Bahía de Jiquilisco, Usulután, El Salvador	77

5.2 Cuantificación e interpretación de la concentración de metales en sedimentos de manglar por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica y comparación con la Guía para detectar sedimentos contaminados	79
5.2.1 Resultados del análisis de arsénico	80
5.2.2 Resultado del análisis de cobre	82
5.2.3 Resultados del análisis de cromo	84
5.2.4 Resultados del análisis de hierro	86
5.2.5 Resultados del análisis de níquel	88
5.2.6 Resultados del análisis de plomo	90
5.2.7 Resultados de los análisis de zinc	92
5.3 Análisis estadístico	95
5.3.1 Resultado de la prueba de Kolmogorov-Smirnov	96
5.3.2 Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis	97
5.3.3 Resultados del análisis de conglomerados (cluster)	98
CAPÍTULO VI	
6.0 CONCLUSIONES	102
CAPÍTULO VII	
7.0 RECOMENDACIONES	104
BIBLIOGRAFIA	
GLOSARIO	
ANEXOS	

INDICE DE ANEXOS

ANEXO N°

1. Mapa de ubicación de sitios de muestreo de la Bahía de Jiquilisco.
2. Recolección y preparación de las muestras de sedimentos de manglar.
3. Materiales, cristalería, equipo, reactivos y preparación de reactivos para la determinación de arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel y zinc.
4. Cálculos para la preparación de soluciones stock y estándares para los elementos.
5. Esquema de dilución para la preparación de las soluciones estándares y cálculos para la determinación de arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc.
6. Esquemas para la preparación de las soluciones stock, soluciones estándares.
7. Cuantificación de metales por espectrofotometría de absorción atómica.
8. Lecturas y concentraciones detectadas en la determinación de metales pesados.

INDICE DE TABLAS

TABLA N°		Pág. N°
1.	Límites de Concentración de metales en sedimentos contaminados.	72
2.	Resultados de la determinación arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc en sedimentos de manglar	94
3.	Prueba Kolmogorov-Smirnov para las concentraciones promedio de arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc en las muestras de sedimento de manglar.	96
4.	Prueba Kruskal-Wallis para las concentraciones promedio de arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc en las muestras de sedimento de manglar.	97
5.	Resultados de la determinación de arsénico para sedimentos de manglar.	162
6.	Resultados de la determinación de cobre para sedimentos de manglar.	163
7.	Resultados de la determinación de cromo para sedimentos de manglar.	164
8.	Resultados de la determinación de hierro para sedimentos de manglar	165
9.	Resultados de la determinación de níquel para sedimentos de manglar.	166
10.	Resultados de la determinación de plomo para sedimentos de manglar.	167
11.	Resultados de la determinación de zinc para sedimentos de manglar.	167

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°		Pág. N°
1.	Manglar de la Bahía de Jiquilisco.	40
2.	Indicadores contaminantes en la Bahía de Jiquilisco.	45
3.	Diagrama de las partes del Espectrofotómetro de Absorción Atómica	49
4.	Diagrama típico del quemador en Espectrofotometría de Absorción Atómica con llama	50
5.	Diagrama de Absorción Atómica Generador de Hidruro	51
6.	Comparación de la concentración promedio de arsénico con respecto a la Guía técnica para detectar sedimentos contaminados	81
7.	Comparación de la concentración promedio de cobre con respecto a la Guía técnica para detectar sedimentos contaminados	83
8.	Comparación de la concentración promedio de cromo con respecto a la Guía técnica para detectar sedimentos contaminados	85
9.	Comparación de la concentración promedio de hierro con respecto a la Guía técnica para detectar sedimentos contaminados	87
10.	Comparación de la concentración promedio de níquel con respecto a la Guía técnica para detectar sedimentos contaminados	89
11.	Comparación de la concentración promedio de plomo con respecto a la Guía técnica para detectar sedimentos contaminados	91

12. Comparación de la concentración promedio de zinc con respecto a la Guía técnica para detectar sedimentos contaminados 93
13. Dendograma de resultados de concentraciones promedio de arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc en sedimentos de manglar 99

INDICE DE CUADROS

CUADRO N°		Página
1.	Bienes y servicios ecosistémicos de los manglares	41
2.	Resumen de los parámetros necesarios para la lectura en EAA	72
3.	Codificación de sitios de muestreo	78
4.	Resumen de guía técnica.	79
5.	Resultados del análisis de arsénico en las muestras de sedimento de manglar clasificados según la normativa estadounidense	80
6.	Resultados del análisis de cobre en las muestras de sedimento de manglar clasificados según la normativa estadounidense	82
7.	Resultados del análisis de cromo en las muestras de sedimento de manglar clasificados según la normativa estadounidense	84
8.	Resultados del análisis de hierro en las muestras de sedimento de manglar clasificados según la normativa estadounidense	86
9.	Resultados del análisis de níquel en las muestras de sedimento de manglar clasificados según la normativa estadounidense	88
10.	Resultados del análisis de plomo en las muestras de sedimento de manglar clasificados según la normativa estadounidense	90
11.	Resultados del análisis de zinc en las muestras de sedimento de manglar clasificados según la normativa estadounidense	92

RESUMEN

Los sedimentos en el ecosistema del manglar son el hábitat y medio de reproducción para las especies de bivalvos del género *Anadara*, específicamente de *Anadara tuberculosa* (concha peluda). Por su composición química, los sedimentos tienden a almacenar contaminantes de forma progresiva.

Esta investigación se centra en la cuantificación de metales pesados en muestras de sedimento de manglar de la Bahía de Jiquilisco, esta se dividió en dos zonas: Zona Occidental y Oriental, tomando como punto de partida el sitio de embarcación Puerto Parada.

El análisis realizado comprende la cuantificación de arsénico por Espectrofotometría de Absorción Atómica con Generador de Hidruros y para los elementos restantes cuantificación por Espectrofotometría de Absorción Atómica con Llama.

Los resultados se compararon con los valores que establece la “Guía técnica para detectar sedimentos contaminados de Estados Unidos”. Luego se realizó un análisis estadístico con el fin de mejorar la comprensión de los resultados obtenidos.

La investigación se desarrolló en el periodo de febrero 2018 – mayo 2018, recolectaron muestras en la época lluviosa en el mes de julio 2018 y la parte experimental de julio a septiembre del 2018, en el laboratorio de investigaciones de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

Se encontró que para arsénico y cobre sobrepasa el nivel de efecto más bajo, con una concentración de 12.02 ppm y 24.89 ppm respectivamente, son considerados como contaminantes leves; los elementos restantes no se encuentran dentro de los criterios antes mencionados, por lo que se recomienda continuar con la investigación y profundizar en la temática.

CAPITULO I
INTRODUCCION

1.0 INTRODUCCION

Los metales se encuentran presentes en los seres vivos y en el ambiente, algunos de estos metales son necesarios para los seres vivos, sin embargo, al rebasar cierta concentración llegan a ser tóxicos. Se les nombra metales pesados a aquellos cuya densidad es mayor a 5 g cm^{-3} , pero la costumbre ha hecho que se ocupe este término para aquellos metales que causan cierto grado de toxicidad en los seres humanos.

Los metales pesados son introducidos al ambiente en mayor parte por actividad industrial, interrumpiendo el equilibrio natural de los metales que son producidos por fuente naturales. Algunos de estos contaminantes al estar presentes en el ambiente, pueden llegar a ser bioacumulables a lo largo de la cadena trófica en un área específica.

La Bahía de Jiquilisco constituye la mayor extensión de agua salobre y bosque salado de El Salvador. Está formada por numerosos esteros y canales, barras de arena y playas, un numeroso conjunto de islas de diverso tamaño, un complejo lagunar de agua dulce y bosques estacionalmente saturados conectados con el manglar. Los sedimentos de los bosques de manglar son zonas muy importantes de hábitat y reproducción para las especies de bivalvos del género *Anadara*, específicamente de *Anadara tuberculosa* (concha peluda), las cuales son consumidas por la población local y nacional como un plato típico de las costas de El Salvador.

Debido a esto es de gran interés evaluar la contaminación de metales pesados en sedimentos de manglar en las zonas de reproducción de la *Anadara tuberculosa* (concha peluda); ya que esta especie de curil ha sido utilizada como

ingrediente principal en la preparación del platillo coctel de conchas a nivel nacional.

Se recolectaron muestras de sedimento de manglar en zonas de reproducción de la *Anadara tuberculosa* (concha peluda) durante la época lluviosa en el mes de julio de 2018. Se ubicaron seis sitios de muestreo la zona oriental y zona occidental de la Bahía de Jiquilisco, en el departamento de Usulután, El Salvador.

La parte experimental de la investigación abarco el muestreo, tratamiento de la muestras y cuantificación de metales pesados (arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc) en sedimentos; utilizando la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama vía seca para cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc y Espectrofotometría de Absorción Atómica por generador de hidruros vía húmeda específicamente para arsénico.

A partir de los resultados obtenidos en la determinación de arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc se tabularon las concentraciones promedio por sitio y se compararon con valores internacionales provenientes de la Guía técnica para detectar sedimentos contaminados de Estados Unidos, ya que el país no cuenta con normativa de sedimentos de manglar. Se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para determinar el comportamiento de los resultados, la prueba de Kruskal-Wallis para refutar la hipótesis nula y el análisis de conglomerados para facilitar la interpretación de resultados; utilizando el programa SPSS Statistics 25.

Los resultados de las muestras de sedimento de manglar analizadas en las zonas de reproducción de *Anadara tuberculosa* (concha peluda) presentan concentraciones contaminantes con respecto a arsénico y cobre, dando una alerta a la población sobre posibles riesgos al medio ambiente y a la salud.

La investigación fue desarrollada en el Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas en la Universidad de El Salvador, en el periodo de febrero 2018 a mayo 2019.

CAPITULO II
OBJETIVOS

2.0 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Cuantificar metales pesados en sedimentos de manglar en zonas de reproducción de *Anadara tuberculosa* (concha peluda) en Bahía de Jiquilisco, Usulután, El Salvador.

2.2 Objetivos Específicos

- 2.2.1 Identificar los sitios de muestreo para la recolección de muestras de sedimentos de manglar en Bahía de Jiquilisco.
- 2.2.2 Cuantificar la concentración de arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc en sedimentos de manglar por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica.
- 2.2.3 Comparar los valores de concentración de metales pesados resultantes del análisis con respecto a los límites que especifica la referencia estadounidense Guía técnica para detectar sedimentos contaminados.
- 2.2.4 Establecer si existe diferencia significativa en las concentraciones de metales pesados en los sedimentos de manglar entre sitios de muestreo a través del análisis de estadístico.

CAPITULO III
MARCO TEORICO

3.0 MARCO TEORICO

3.1 Generalidades de la contaminación de sedimentos

Los contaminantes son compuestos químicos que tienen un potencial para provocar daño a la vida acuática, y generalmente no ocurren de forma natural en los sedimentos. Algunos compuestos, sin embargo, se cree que son contaminantes, tal es el caso de algunos metales (arsénico, cromo, cobalto, níquel, cobre, zinc, plata, cadmio, mercurio, titanio, selenio y plomo) según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), son de hecho componentes naturales de minerales originados de rocas erosionadas. Similarmente, los compuestos orgánicos como hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs) son producto de la quema de combustible, pero también se producen de forma natural durante incendios forestales.

Otros compuestos potencialmente tóxicos como el amoníaco o la acetona pueden encontrarse dentro de los sedimentos como consecuencia del metabolismo microbológico. (27)

La contaminación referente a los sedimentos es un concepto que no siempre está claramente definido. La mera presencia de una sustancia del exterior en un sedimento puede ser interpretada como contaminación. Sin embargo, la presencia de sustancias del exterior puede que no necesariamente signifique que es dañina. Los metales pueden estar presente de forma natural en concentraciones leves en diferentes especies, o formas en las que no son dañinas para la vida acuática. Si bien no existe referencia para compuestos orgánicos sintéticos, su presencia no implica que necesariamente este sea dañino. Se debe realizar alguna evaluación que tendrá el compuesto para estimar el riesgo potencial que puede causar a la vida acuática o la salud humana. (27)

La Agencia de Protección Ambiental o por sus siglas en inglés (EPA) ha definido contaminante como “cualquier sólido, líquido, semisólido, sólido disuelto, material

gaseoso, agente causante de enfermedades, que, al exponerse a la ingestión de forma directa o indirecta en los alimentos, puede presentar un riesgo de muerte, enfermedad, anomalías de comportamiento, cáncer, mutaciones genéticas y mal funcionamiento psicológico o deformaciones físicas. Esta definición claramente explica que un contaminante no es simplemente la presencia de una sustancia desconocida, sino un elemento dañino para algunos organismos, especies, población o una comunidad en el cual debe de estar involucrado. ⁽¹⁸⁾

3.2 Sedimentos

3.2.1 Generalidades

Los sedimentos marinos son el depósito final de las sustancias producidas en las aguas superficiales y de aquellas introducidas a las desembocaduras de los ríos por procesos naturales y antrópicos. Dependiendo de las variaciones físicas y químicas del ambiente de deposición, estos sedimentos pueden actuar como sumidero o fuente de una serie de sustancias que modifican las propiedades naturales de la columna de agua y la trama trófica marina.

Por tal motivo, el conocimiento de las propiedades y composición de los sedimentos de fondo permite evaluar la condición de los ambientes marinos y reconocer eventuales perturbaciones derivadas de la acumulación de sustancias antropogénicas y naturales que puedan constituir riesgos para la salud del ecosistema. Este conocimiento permite, además, aplicar medidas apropiadas y realistas que no pongan en riesgo la salud de estos ambientes ni el desarrollo socio-económico de las comunidades costeras. ⁽²⁰⁾

3.2.2 Composición de los sedimentos

El estudio de la composición y distribución vertical de los elementos permite conocer la actividad geoquímica e historia de los procesos sedimentarios de un sitio. La importancia de obtener patrones naturales confiables de distribución de

metales permite detectar los niveles de alteración ambiental. El sedimento marino está constituido por una matriz compleja de fases detríticas de distinto tamaño (gravas, arenas, fango y arcilla), origen (orgánico e inorgánico) y composición química (silicatos, óxidos de hierro y manganeso, materia orgánica) que dificulta la determinación de metales pesados a niveles traza en las técnicas de espectrofotometría de emisión atómica (por ejemplo el plasma acoplado inductivamente) o espectrofotometría de absorción atómica (por ejemplo: con llama, horno de grafito, entre otros). (20)

3.3 Metales pesados en sedimentos

3.3.1 Contaminación por metales pesados. (14)

De los 106 elementos conocidos por el hombre, 84 son metales, por lo que no es de extrañar que las posibilidades de contaminación metálica en el ambiente sean numerosas. Hay que tener presente que los metales son materias naturales que han desempeñado un papel fundamental en el desarrollo de las civilizaciones.

El problema surge cuando prolifera su uso industrial. Y su empleo creciente en la vida cotidiana termina por afectar a la salud. De hecho, el crecimiento demográfico en zonas urbanas y la rápida industrialización han provocado serios problemas de contaminación y deterioro del ambiente, sobre todo, en los países en vías de desarrollo.

Elementos como los metales pesados tienen la capacidad de provocar cambios evolutivos debido a sus efectos dañinos en plantas. Los metales pesados son potencialmente contaminantes considerados devastadores ya que son transportados a través del aire, el agua y la tierra utilizados por las plantas y los demás eslabones de las cadenas tróficas.

La actividad industrial y minera arroja al ambiente metales tóxicos como plomo, mercurio, cadmio, arsénico y cromo, muy dañinos para la salud humana y para

la mayoría de formas de vida. La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables. Una vez emitidos, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años.

Además, su concentración en los seres vivos aumenta a medida que son ingeridos por otros, por lo que la ingesta de plantas o animales contaminados puede provocar síntomas de intoxicación.

De hecho, la toxicidad de estos metales ha quedado documentada a lo largo de la historia: los médicos griegos y romanos ya diagnosticaban síntomas de envenenamientos agudos por plomo mucho antes de que la toxicología se convirtiera en ciencia.

- **Arsénico (As).** ⁽⁴⁾

- Generalidades:

El arsénico es un elemento ampliamente distribuido en la corteza terrestre. Ha sido clasificado químicamente como un metaloide, con propiedades tanto de metal como de elemento no-metálico; sin embargo, se le refiere frecuentemente como un metal.

El arsénico elemental (llamado también arsénico metálico) es un material sólido de color gris acero, sin embargo, en el ambiente el arsénico generalmente se encuentra combinado con otros elementos como por ejemplo oxígeno, cloro y azufre, al ser combinado con estos elementos se conoce como arsénico inorgánico y cuando se combina con carbono e hidrógeno se conoce como arsénico orgánico.

La mayoría de los compuestos inorgánicos y orgánicos de arsénico son polvos de color blanco que no se evaporan, no tienen olor y la mayoría no tiene ningún sabor especial. Por esta razón, generalmente no se puede saber si están presentes en los alimentos, el agua o el aire.

- Elemento en el medio ambiente:

El arsénico no puede ser destruido en el ambiente, solamente puede cambiar de forma o puede adherirse o separarse de partículas, también puede cambiar de forma al reaccionar con oxígeno o con otras moléculas presentes en el aire, el agua o el suelo, o por la acción de bacterias que viven en el suelo o el sedimento. El arsénico que liberan plantas de energía y otros procesos de combustión generalmente está adherido a partículas muy pequeñas. De igual forma el contenido en el polvo que levanta el viento se encuentra generalmente en partículas más grandes, estas partículas se depositan en el suelo o son removidas del aire por la lluvia.

El arsénico que está adherido a partículas muy pequeñas puede permanecer en el aire varios días y puede movilizarse largas distancias. Muchos compuestos comunes de arsénico pueden disolverse en agua, por lo tanto, puede pasar a lagos, ríos o al agua subterránea disolviéndose en el agua de lluvia o la nieve o en desagües industriales.

Cierta cantidad de arsénico se adherirá a partículas en el agua o a sedimento del fondo de lagos o ríos, mientras que otra porción será arrastrada por el agua. Al final, la mayor parte del arsénico termina en el suelo o en el sedimento y aunque algunos peces y mariscos incorporan arsénico que puede acumularse en los tejidos, la mayor parte de este se encuentra en una forma orgánica llamada arsenobetaína (llamada comúnmente arsénico de pez) que es mucho menos peligrosa.

La concentración de arsénico en el suelo varía ampliamente. En general, entre aproximadamente 1 y 40 partes por millón por partes de suelo (ppm) con un promedio de 3 a 4 ppm.

Sin embargo, los suelos cerca de depósitos geológicos ricos en arsénico, cerca de algunas minas y fundiciones, o en áreas agrícolas donde se usaron plaguicidas con arsénico en el pasado, pueden tener niveles mucho más altos.

Generalmente, la concentración de arsénico en agua de superficie o subterránea es aproximadamente 1 parte de arsénico por billón de partes de agua (1 ppb), pero puede exceder 1,000 ppb en áreas de minería o donde los niveles de arsénico en el suelo son naturalmente elevados. Generalmente, el agua subterránea contiene niveles de arsénico más altos que el agua de superficie.

- Efecto del arsénico en la salud humana:

Si las personas lo ingieren en agua, tierra o alimentos, la cantidad que pasa a la sangre dependerá de la cantidad y del tipo de arsénico que es ingerida. Esta es la manera más probable de exposición cerca de un sitio de residuos. Al respirar aire que contiene polvos de arsénico, muchas de las partículas de polvo se depositarán en el interior de los pulmones y la mayoría del arsénico en estas partículas pasa de los pulmones a la sangre. Este tipo de exposición puede ocurrir cerca de un sitio de desechos en donde se permite que los suelos contaminados con arsénico sean levantados al aire por el viento, o si trabaja con suelo o productos que lo contienen. Si la piel entra en contacto con suelo o agua contaminada con arsénico, solamente una pequeña cantidad entrará al cuerpo a través de la piel, por eso, este tipo de exposición no es muy importante.

Tanto la forma inorgánica como la forma orgánica de arsénico abandonan el cuerpo en la orina en unos días, pero una cantidad permanecerá en el cuerpo durante meses o más tiempo, de igual forma si se expone al arsénico inorgánico.

Los efectos en la salud humana pueden ser irritación del estómago y los intestinos, acompañado de dolor de estómago, náusea, vómitos y diarrea. Otros efectos que puede sufrir incluyen reducción de la producción de glóbulos rojos y blancos, lo que puede causar fatiga, ritmo cardíaco anormal, daño de los vasos sanguíneos (lo que produce contusiones) y alteraciones de

la función de los nervios (lo que produce una sensación de hormigueo en las manos y los pies).

Tal vez el efecto más característico de la exposición oral prolongada a arsénico inorgánico es un cuadro de alteraciones de la piel. Estas incluyen un oscurecimiento y la aparición de pequeños callos o verrugas en la palma de las manos, la planta de los pies y el torso, a menudo asociados con alteraciones en los vasos sanguíneos. También se puede desarrollar cáncer de la piel.

- **Cobre (Cu).** ⁽⁵⁾

- Generalidades:

El cobre es un metal rojizo que ocurre naturalmente en las rocas, el agua, los sedimentos y, en niveles bajos, el aire, su concentración promedio en la corteza terrestre es aproximadamente 50 partes de cobre por millón de partes de suelo (ppm). El cobre también ocurre naturalmente en todas las plantas y animales.

En bajas concentraciones en la dieta es un elemento esencial para todos los organismos, incluyendo a los seres humanos y otros animales. A niveles mucho más altos pueden ocurrir efectos tóxicos. En este resumen, el término cobre se refiere no sólo al metal, sino que también a los compuestos que se pueden encontrar en el ambiente.

- Cobre en el medio ambiente:

El cobre puede entrar al medio ambiente a través de liberaciones desde minas de cobre y otros metales, y desde fábricas que manufacturan o usan cobre metálico o algunos de sus compuestos. También puede entrar al medio ambiente desde basurales, del agua residual doméstica, de la combustión de desperdicios y combustibles fósiles, de la producción de madera, de la producción de abonos de fosfato y de fuentes naturales (por ejemplo, polvo en el aire, desde el suelo, volcanes, vegetación en descomposición, incendios

forestales y de la espuma del mar). Por lo tanto, el cobre está ampliamente distribuido en el medio ambiente. Aproximadamente 700,000 toneladas de cobre fueron liberadas al ambiente por industrias en el año 2000, así mismo se encuentra a menudo cerca de minas, fundiciones, plantas industriales, vertederos y sitios de desechos.

Cuando el cobre se libera al suelo, puede adherirse fuertemente a la materia orgánica y a otros componentes (por ejemplo, arcilla, arena, etc.) en las capas superficiales del suelo y puede que no se movilice muy lejos cuando es liberado. Cuando esto sucede, el cobre que se disuelve puede ser transportado en el agua de superficie, ya sea en la forma de compuestos de cobre o cobre libre o, con más probabilidad, como cobre unido a partículas suspendidas en el agua. Aun cuando este se adhiere fuertemente a partículas en suspensión o a sedimentos, hay evidencia que sugiere que algunos de los compuestos de cobre solubles entran al agua subterránea. Este elemento entra al agua se deposita eventualmente en los sedimentos de los ríos, lagos y estuarios.

- Efecto del elemento en la salud humana:

El cobre puede entrar al cuerpo cuando se ingiere agua o alimentos, tierra u otras sustancias, de igual forma cuando se respira aire o polvo que lo contiene. El cobre es esencial para mantener buena salud, sin embargo, la exposición a dosis altas puede ser perjudicial. La exposición prolongada a polvos de cobre puede irritar la nariz, la boca, los ojos y causar dolores de cabeza, mareo, náusea y diarrea, cuando se bebe agua que contiene niveles de cobre más altos que lo normal, puede causar náusea, vómitos, calambres estomacales o diarrea.

La ingestión intencional de niveles altos de cobre puede producir daño del hígado y los riñones y puede causar la muerte. Si se ingieren grandes cantidades, se dañan los riñones, se inhibe la producción de orina, aparece

anemia debido a la rotura de los glóbulos rojos (anemia hemolítica) e incluso puede producirse la muerte. En contadas ocasiones, en los niños, se daña el hígado o aparece cirrosis. (27)

- **Cromo (Cr).** (6)

- Generalidades:

El cromo es un elemento que se encuentra naturalmente en rocas, animales, plantas y en el suelo, en donde existe en combinación con otros elementos para formar varios compuestos. Las tres formas principales del cromo son: cromo (0), cromo (III) y cromo (VI). El cromo es usado extensamente en procesos de manufactura, se puede encontrar cromo en numerosos productos de consumo tales como: madera tratada con dicromato de cobre, cuero curtido con sulfato crómico, artículos de cocina de acero inoxidable, reemplazo de cadera metal-en-metal.

- Cromo en el medio ambiente:

Se puede encontrar cromo en el aire, el suelo y el agua después de ser liberado por industrias que usan cromo, tales como industrias involucradas en galvanoplastia, curtido de cuero, producción de textiles, y en la manufactura de productos en base a cromo. También puede ser liberado al ambiente al quemar gas natural, petróleo o carbón.

- Efecto del elemento en la salud humana:

Entra al cuerpo por inhalación cuando las personas respiran aire que contiene cromo; cierta cantidad ingresará al cuerpo a través de los pulmones. Algunas formas de cromo pueden permanecer en los pulmones durante años. Otra de las formas en que este contaminante entra al organismo es por ingestión, por medio de la piel en pequeñas cantidades se depositará en el cuerpo.

La mayoría de las preocupaciones con relación a la seguridad a largo plazo de la suplementación con cromo trivalente, provienen de varios estudios en cultivos celulares, que sugieren que el cromo III, especialmente en la forma

de picolinato de cromo, pudiese incrementar el daño al ADN. Existen algunos reportes aislados de reacciones adversas serias al picolinato de cromo.

Las vías respiratorias: el problema de salud más común que ocurre en trabajadores expuestos al cromo involucra a las vías respiratorias, tales efectos incluyen irritación del revestimiento del interior de la nariz, secreción nasal, y problemas para respirar (asma, tos, falta de aliento, respiración jadeante).

Cáncer: La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha determinado que los compuestos de cromo (VI) son carcinogénicos en seres humanos. El undécimo Informe sobre Sustancias Carcinogénicas del Programa Nacional de Toxicología clasifica a los compuestos de cromo (VI) como sustancias reconocidas como carcinogénicas en seres humanos.

- **Hierro (Fe).** ⁽³¹⁾

- Generalidades:

El hierro es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre (5%). Es un metal maleable, tenaz, de color gris plateado y magnético, los dos minerales principales son la hematita, Fe_2O_3 , y la limonita, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Las pirritas, FeS_2 , y la cromita, $\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2$, se explotan como minerales de azufre y de cromo, respectivamente. El hierro se encuentra en muchos otros minerales y está presente en las aguas freáticas y en la hemoglobina roja de la sangre.

(16)

La presencia del hierro en el agua provoca precipitación y coloración no deseada. Uno de los usos más extenso del hierro es para la obtención de aceros estructurales; también se producen grandes cantidades de hierro fundido y de hierro forjado.

Entre otros usos se tienen la fabricación de imanes, tintes (tintas, papel para heliográficas, pigmentos pulidores) y abrasivos (colcótar).

- Hierro en el medio ambiente:

El hierro (III)-Orto-arsenito pentahidratado puede ser peligroso para el medio ambiente; se debe prestar especial atención a las plantas, el aire y el agua por lo que se recomienda encarecidamente que no se permita que este tipo de producto entre en el medio ambiente porque persiste en éste.

- Efecto del elemento en la salud humana:

El hierro puede ser encontrado en carne, productos integrales, patatas y vegetales. El cuerpo humano absorbe hierro de animales más rápido que el hierro de las plantas. Este elemento es una parte esencial de la hemoglobina: el agente colorante rojo de la sangre que transporta el oxígeno a través de nuestros cuerpos.

En concentraciones elevadas puede provocar conjuntivitis, coriorretinitis, y retinitis si contacta con los tejidos y permanece en ellos. La inhalación crónica de concentraciones excesivas de vapores o polvos de óxido de hierro puede resultar en el desarrollo de una neumoconiosis benigna, llamada siderosis, que es observable como un cambio en los rayos X, ningún daño físico de la función pulmonar se ha asociado con la siderosis. La inhalación de concentraciones excesivas de óxido de hierro puede incrementar el riesgo de desarrollar cáncer de pulmón en trabajadores expuestos a carcinógenos pulmonares. La dosis letal (LD50) (oral, rata) =30 g/kg. (LD50: Dosis Letal 50) dosis individual de una sustancia que provoca la muerte del 50% de la población animal debido a la exposición a la sustancia por cualquier vía distinta a la inhalación, normalmente expresada como miligramos o gramos de material por kilogramo de peso del animal.

- **Níquel (Ni).** ⁽⁷⁾

- Generalidades:

El níquel puro es un metal duro, blanco-plateado, que tiene propiedades que lo hacen muy deseable para combinarse con otros metales y forman

aleaciones. Algunos de los metales con los cuales se combina el níquel son el hierro, cobre, cromo y cinc, estas aleaciones se usan para fabricar monedas y joyas y en la industria para fabricar artículos tales como válvulas e intercambiadores de calor. La mayor parte del níquel se usa para fabricar acero inoxidable.

El níquel también se combina con muchos otros elementos tales como el cloro, azufre y oxígeno para formar compuestos de níquel. Muchos de los compuestos de níquel son solubles en agua y tienen un color verde característico, este elemento y sus compuestos no tienen ni olor ni sabor característico.

- Níquel en el medio ambiente:

El níquel puede ser liberado al ambiente por las chimeneas de grandes hornos usados para fabricar aleaciones o por plantas de energía e incineradores de basura, el que se origina de las chimeneas de plantas de energía se adhiere a pequeñas partículas de polvo que se depositan en el suelo o son removidas del aire en la lluvia o la nieve. Generalmente el níquel tarda días en ser removido del aire, si se adhiere a partículas muy pequeñas, puede tardar más de un mes en depositarse en el suelo, también puede ser liberado en aguas residuales de industrias.

Una gran cantidad de níquel liberada al ambiente termina en el suelo o en sedimento en donde se adhiere fuertemente a partículas que contienen hierro o manganeso, las condiciones acídicas favorecen la movilización del níquel en el suelo y facilitan su filtración hacia el agua subterránea. Hay estudios que demuestran que algunas plantas pueden incorporar y acumular níquel, sin embargo, se ha demostrado que éste no se acumula en pequeños organismos que habitan terrenos tratados con lodo que contiene níquel.

Generalmente no se sabe a qué forma de níquel pueden estar expuestas las personas; incluso en la mayoría de los sitios de desechos, debido a que la

mayor parte que se encuentra en el aire, el suelo, el sedimento, y las rocas está adherido tan fuertemente a las partículas de polvo y de tierra, no es incorporado fácilmente por las plantas o animales y, por lo tanto, no afecta fácilmente a la salud. En el agua y en aguas residuales, el cual puede estar disuelto o adherido a materia suspendida en el agua.

- Efecto del elemento en la salud humana:

El níquel puede entrar al cuerpo cuando se respira aire que lo contiene, cuando se toma agua o consume alimentos que con níquel y cuando la piel entra en contacto con este elemento. Si se respira aire que contiene níquel, la cantidad que llega a los pulmones y pasa a la sangre depende del tamaño de las partículas, si las partículas son grandes, permanecen en la nariz, si las partículas; son pequeñas, pueden alcanzar partes más profundas en los pulmones, mientras más solubles en agua son las partículas, más níquel es absorbido a través de los pulmones. Cuando las partículas no se disuelven fácilmente en agua, este puede permanecer durante largo tiempo en los pulmones.

Si se toma agua que contiene este elemento, la cantidad de níquel que pasará al cuerpo a través del estómago y los intestinos será más alta que si come alimentos que contienen una cantidad similar. Una pequeña cantidad puede entrar a la corriente sanguínea a través de la piel, una vez dentro del cuerpo, el níquel puede distribuirse a todos los órganos, pero se distribuye principalmente a los riñones, éste entra a la corriente sanguínea, abandona el cuerpo en la orina, la mayor parte abandona el cuerpo rápidamente en las heces.

- **Plomo (Pb).** ⁽⁸⁾

- Generalidades:

El plomo es un metal pesado, de baja temperatura de fusión, de color gris-azulado que ocurre naturalmente en la corteza terrestre, sin embargo,

raramente se encuentra en la naturaleza en la forma de metal, si no combinado con otros dos o más elementos formando compuestos de plomo.

- Plomo en el medio ambiente:

El plomo se encuentra en el ambiente en forma natural, la mayoría de los niveles altos que se registran en el ambiente se originan de actividades humanas. Los niveles ambientales de plomo han aumentado más de mil veces durante los tres últimos siglos como consecuencia de la actividad humana. El mayor incremento ocurrió entre los años 1950 y 2000 y reflejó el aumento del uso de gasolina con plomo en todo el mundo. Este elemento puede entrar al ambiente a través de liberaciones desde minas de plomo y otros metales, y desde fábricas que manufacturan aleaciones de plomo o sus compuestos.

El plomo es liberado al aire cuando se quema carbón, petróleo o desechos, una vez que cae al suelo, se adhiere fuertemente a las partículas y permanece en la capa superior de éste. Es por ello, que los usos del plomo en el pasado, por ejemplo, en la gasolina con plomo, y en pinturas y plaguicidas han tenido un impacto tan importante en la cantidad de plomo que se encuentra en el suelo.

Pequeñas cantidades de plomo pueden entrar a ríos, lagos y arroyos cuando partículas del suelo son movilizadas por el agua de lluvia, estas pequeñas cantidades provenientes de cañerías o de soldaduras de plomo pueden liberarse al agua cuando el agua es ácida o blanda. El plomo puede permanecer adherido a partículas del suelo o de sedimento en el agua durante muchos años.

La movilización de las partículas en el suelo al agua subterránea, es improbable a menos que la lluvia que cae al suelo sea ácida o blanda, esto dependerá del tipo de sal de plomo y de las características físicas y químicas del suelo.

Entre las fuentes de plomo en el agua de superficie o en sedimentos están la deposición de polvo desde la atmósfera, el agua residual de industrias que manejan plomo (principalmente las industrias de hierro y acero y las que manufacturan plomo), agua de escorrentía en centros urbanos y apilamientos de minerales.

Los niveles de plomo pueden ser más altos en plantas y animales en áreas donde el aire, el agua o el suelo están contaminados con este elemento.

- Efecto del elemento en la salud humana:

El plomo puede causar varios efectos no deseados, como son: Perturbación de la biosíntesis de hemoglobina y anemia, incremento de la presión sanguínea, daño a los riñones, abortos, perturbación del sistema nervioso, Disminución de la fertilidad del hombre a través del daño en el esperma, Disminución de las habilidades de aprendizaje de los niños. (2)

Las partículas que son demasiado grandes como para entrar a los pulmones pueden ser expulsadas por la tos hacia la garganta en donde son tragadas, esto constituye la mayor parte del plomo que entra al cuerpo entra por la boca; sin embargo, una porción muy pequeña de la cantidad que es ingerida pasa a la sangre y a otras partes del cuerpo. Esta cantidad de plomo que pasa a la sangre y a otras partes del cuerpo desde el estómago depende en parte del lapso transcurrido desde que se ingirió.

Poco después de que el plomo entra al cuerpo, la sangre lo distribuye a órganos y tejidos (por ejemplo, el hígado, los riñones, los pulmones, el cerebro, el bazo, los músculos y el corazón), luego de varias semanas, la mayor parte del plomo se moviliza hacia los huesos y los dientes.

En adultos, aproximadamente 94% de la cantidad total de plomo en el cuerpo se encuentra en los huesos y los dientes, en cambio, en niños, aproximadamente 73% del plomo en el cuerpo se almacena en los huesos.

Cierta cantidad de plomo puede permanecer en los huesos durante décadas, sin embargo, bajo ciertas condiciones parte del plomo puede abandonar los huesos y entrar nuevamente a la sangre y a los tejidos y órganos (por ejemplo, durante el embarazo y la lactancia, cuando se fractura un hueso y en la vejez).

- **Zinc (Zn).** ⁽⁹⁾

- Generalidades:

El zinc es uno de los elementos más comunes en la corteza terrestre, se encuentra en el aire, el suelo y el agua, y está presente en todos los alimentos. En su forma pura elemental (o metálica), es un metal brillante de color blanco-azulado, si se encuentra como polvo es explosivo y puede estallar en llamas si se mantiene en lugares húmedos.

- Elemento en el medio ambiente

El zinc también puede combinarse con otros elementos, por ejemplo, cloro, oxígeno y azufre para formar compuestos de zinc, estos pueden encontrarse en sitios de desechos peligrosos, como el cloruro de zinc (ZnCl_2), óxido de zinc (ZnO), sulfato de zinc (ZnSO_4) y sulfuro de zinc (ZnS). La mayor parte del mineral de zinc que se encuentra naturalmente en el ambiente está en la forma de sulfuro de zinc. Los compuestos de zinc son extensamente usados en la industria, por ejemplo, el sulfuro de zinc y el óxido de zinc se usan para fabricar pintura blanca, cerámicas y otros productos.

El zinc metálico tiene muchos usos en la industria, se mezcla con otros metales para formar aleaciones tales como el latón y bronce un uso común es para revestir hierro y otros metales con el objeto de prevenir el enmohecimiento y la corrosión; este proceso se conoce como galvanización.

- Efecto del zinc en la salud humana:

El zinc puede entrar al cuerpo por vía oral o por la ingestión de alimentos o agua que lo contienen, también puede entrar por medio de la inhalación de polvos o vapores provenientes de fundición de zinc o de soldar. La cantidad

de zinc que pasa directamente a través de la piel es relativamente baja, la ruta de exposición más probable cerca de sitios de desechos es a través de la ingestión de agua contaminada con zinc, este es almacenado en el cuerpo y luego de la exposición, la cantidad de zinc en la sangre y en los huesos aumenta rápidamente.

La ingestión de demasiado zinc a través de los alimentos, el agua o suplementos dietéticos también puede afectar la salud. Los niveles de zinc que producen efectos adversos son mucho más altos que la ingesta diaria de este elemento, del que se recomienda 11 mg/día para hombres y 8 mg/día para mujeres. La ingestión de dosis muy altas de zinc (10 a 15 veces más altas que la RDA), aun durante un período breve, puede producir calambres estomacales, náusea y vómitos, la ingestión de niveles altos durante varios meses puede producir anemia, daño del páncreas y disminución del tipo de colesterol beneficioso (HDL) en la sangre.

3.4 Manglares. (20)

Los manglares son ecosistemas complejos y dinámicos caracterizados por sus altos niveles de diversidad biológica y productividad. Son precursores de importantes funciones ecológicas, entre ellas destacan la protección de la línea costera contra impactos provocados por fenómenos hidrometeorológicos; retienen sedimentos y atrapan contaminantes, además fijan carbono atmosférico, en cuyo proceso contribuyen a mitigar el cambio climático.

La mezcla de agua en esa frontera tierra-mar, provoca agua salobre (o salada), lo que da origen al término bosques salados. Estos ecosistemas son considerados entre los más prominentes y productivos del mundo. La diversidad de especies contempla una amplia gama de entidades taxonómicas, como es el caso de aves, mamíferos, moluscos, peces, reptiles y otros invertebrados, que utilizan el ecosistema como ambiente de refugio, alimentación y reproducción.

3.4.1 Generalidades de los manglares de El Salvador. ⁽²⁶⁾

El área de manglar en El Salvador se estima en 379.59 km², compuesta por seis especies: *Rhizophora mangle* (L), *R. racemosa* GFW Meyer, *Avicennia Germinans* L Stearn, *A. bicolor* Standl, *Laguncularia racemosa* (L) C.F. Gaerthy, *Conocarpus erectus* L. (ver Figura N°1) Pocos estudios incluyen a *R. harrizonii* formando parte de la vegetación de manglar de Bahía de Jiquilisco.

Los manglares se distribuyen en toda la costa del país, pero las principales coberturas ocurren en la Bahía de Jiquilisco y La Unión, Estero de Jaltepeque y Barra de Santiago. Es importante destacar que la Bahía de Jiquilisco concentra cerca de la mitad de los manglares del país, constituyéndose en el principal ecosistema de manglar del pacífico seco centroamericano.

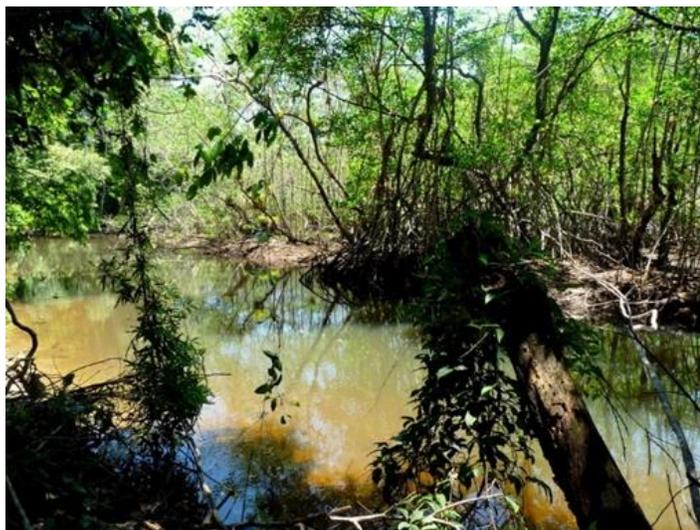


Figura N° 1. Manglar de la Bahía de Jiquilisco.

3.4.2 Importancia socioeconómica

Los manglares proveen una serie de relevantes bienes y servicios que favorecen el bienestar de la humanidad en general y de las comunidades que dependen de sus recursos. Entre ellos: soportan un impresionante complejo de especies, mantienen un flujo constante de energía con ecosistemas adyacentes,

contribuyen a la estabilidad costera, sirven como barrera protectora ante tsunamis, inundaciones y marejadas, entre otros. ⁽²⁰⁾ (Ver Cuadro N° 1)

Cuadro N° 1. Bienes y servicios ecosistémicos de los manglares. ⁽²⁶⁾

Aprovisionamiento (bienes y productos)	Regulación (procesos naturales)	Soporte (Procesos naturales que soportan otros ecosistemas)	Culturales (beneficios no materiales)
Recursos forestales Materiales de construcción, fuente de energía, resinas y taninos.	Secuestro y almacenaje de carbono Los manglares presentan notables niveles de secuestro y almacenamiento de carbono en comparación con otros bosques.	Reciclaje de nutrientes Mantiene flujos de nutrientes entre agua, suelo, vegetación y ecosistemas adyacentes.	Estéticos Belleza escénica de paisajes.
Pesquerías Peces, camarones, cangrejos, conchas y otras especies marinas.	Protección costera Son una barrera contra los efectos de inundaciones, marejadas, tsunamis. Previenen la erosión costera y estabilizan el suelo.	Estabilización del suelo Las raíces disminuyen el impacto de los flujos de agua y retienen/ atrapan sedimentos.	Educativos Oportunidades de investigación y formación educativa.
Recursos genéticos Recursos genéticos de la diversidad biológica de ecosistema.	Regulación hídrica Contribuyen a la recarga hídrica de acuíferos y a evitar la intrusión salina.	Producción primaria Elevados niveles de producción de materia orgánica productos de procesos fotosintéticos.	Recreativos Oportunidad de establecer ecoturismo
Productos bioquímico-medicinales Productos medicinales derivados de las diversas partes de los árboles de mangle	Biofiltración Extracción de nutrientes y remoción de contaminantes de la interface agua-suelo.	Producción de oxígeno Producción de oxígeno liberado durante los procesos fotosintéticos.	Patrimonio cultural y espiritual Valores espirituales y culturales de los manglares a escala local.

A pesar de su gran relevancia ecológica, los manglares van desapareciendo rápidamente, hasta un 50% de pérdida en los pasados 50 años debido a la interferencia antropogénica directa. Hoy, menos del 10% de los manglares en todo el mundo se consideran áreas protegidas de sus especies mayores. Debido a su alta relevancia ecológica, muchas ciudades se han establecido en las cercanías de los manglares, dejándolos constantemente expuestos a disturbios.

Estas perturbaciones son causadas por exposición a una variedad de productos químicos, incluidos metales pesados, que se consideran entre los más potencialmente graves contaminantes antropogénicos en los ecosistemas de manglar. (26)

3.5 Bahía de Jiquilisco. (12)

La Bahía de Jiquilisco constituye la mayor extensión de agua salobre y bosque salado de El Salvador, formada por numerosos esteros y canales, barras de arena y playas, un numeroso conjunto de islas de diverso tamaño, un complejo lagunar de agua dulce y bosques estacionalmente saturados conectados con el manglar.

Constituye el hábitat de la gran mayoría de aves marino-costeras del país, así como el único sitio de anidación para algunas de ellas. Se han identificado especies de fauna en peligro de extinción local. Cumple una función muy importante como prevención de catástrofes y de control de la erosión y fijación de suelo.

Los aprovechamientos más relevantes son el pesquero, marisquero, camaronero-salinero, ganadería y plantaciones de coco. Existe también un aprovechamiento turístico.

3.5.1 Ubicación. (12)

Se encuentra en la región oriental de El Salvador, formando parte de la planicie costera localizada en el extremo sur del país, discurriendo en colindancia y paralelamente a la costa del océano Pacífico. Pertenece al departamento de Usulután y se adscribe política y administrativamente a los municipios de Jiquilisco (83.39 habitantes/Km²), Puerto El Triunfo (98.38 habitantes/Km²), Usulután (447 habitantes/Km²), San Dionisio (87.29 habitantes/Km²), Concepción Batres (136 habitantes/Km²) y Jucuarán (54.42 habitantes/Km²), los cuales pertenecen al mismo departamento.

Los municipios a la vez se dividen en cantones, siendo 31 los que se encuentran en contacto con la zona húmeda. Desde el norte del humedal y en línea recta hay 8.5 kilómetros hasta el centro de la ciudad de Usulután, capital y centro administrativo del departamento. En los seis municipios hay un total de 147.549 habitantes. La altitud mínima es el nivel del mar y la máxima son 40 msnm, en tierra firme. En la zona marina la profundidad máxima es de 6 metros. El área total del humedal Ramsar propuesto está estimada en 63.50 km².

3.5.2 Características físicas de la Bahía de Jiquilisco. ⁽²⁶⁾

- **Geología y geomorfología:** se encuentra situada en la llanura aluvial costera. La topografía es plana o poco ondulada. Las formaciones geológicas presentes en la zona de estudio son las siguientes: playas, barra costera con nivel antiguo de costa; depósito de estuario con o sin manglar; depósitos sedimentarios del cuaternario; suelos anmoor; epiclásticas volcánicas y piroclásticas, localmente efusivas básicas intermedias intercaladas; rocas efusivas básicas intermedias, piroclásticas volcánicas subordinadas (estratos no diferenciados y edificios volcánicos); piroclásticas ácidas, epiclásticas volcánicas (tobas color café).

- **Tipos de suelo:** Las unidades pedológicas identificadas corresponden a regosoles, y aluvisoles; suelos empantanados halomórficos, regosoles y aluviales los existentes en la llanura aluvial costera y latosoles arcillo rojizos y litosoles en la cordillera meridional costera. Se caracteriza el primer grupo (regosoles) por darse en áreas casi a nivel y ligeramente inclinadas en la planicie costera con drenaje variable, predominando las de drenaje restringido.

Son suelos de transporte reciente sin desarrollo todavía o muy poco desarrollados con textura media, por lo general. Suelos con un alto potencial agrícola. Los suelos indicados en segundo lugar (aluvisoles), corresponden a la planicie costera con salinidad variable. Pueden ser muy húmedos y secos según

su localización. Suelen ser suelos relativamente recientes sin ningún desarrollo. Su textura varía de fina a gruesa con predominio de la arenosa.

Debido a la salinidad, su uso agrícola es limitado pues se corresponde con el área de manglar, aunque la agricultura, en algunas zonas, se puede dar en los suelos aluviales con rendimientos medios a altos.

En el área se encuentran suelos de las Clases I a la VII (uso de potencial agrícola), predominando los de Clase VII que constituyen el suelo que sustenta al manglar y que en la parte oriental se prolongan hasta la cordillera formando parte del límite de área de amortiguamiento, siguiéndole y en orden decreciente los de clase III, IV y II y con una superficie total entre los tres equivalentes a la de la Clase VII. ⁽¹²⁾

- Hidrología: En la Bahía de Jiquilisco drenan tres cuencas hidrográficas: La del Río Lempa (la subcuenca de la desembocadura que es la que afecta directamente a la Bahía de Jiquilisco posee una superficie de 106.74 km²), la comprendida entre el río Lempa y el Grande de San Miguel (formada por varias cuencas); y la del río Grande de San Miguel (superficie de 2,447.00 km² y su curso principal mide 126.5 Km). Descendiendo desde la desembocadura del río Lempa hasta la del Río Murguía donde se encuentran las cuencas hidrográficas de los siguientes ríos: El Espino o Borbollón, El Potrero, Nanachepa, Aguacayo, El Cacao, Chahuantique, El Quebrado, y el Molino. También, viene el Río Grande San Miguel con toda su red de afluentes que desemboca en el lugar conocido como Estero El Desagüe. Continúan después los ríos: El Convento, La Ringlera, el Amatillo, Seca y Murguía.

En las partes más llanas de suelos arcillosos de poca infiltración se favorecen las inundaciones, principalmente en la época de lluvia. La Bahía de Jiquilisco está constituida por numerosos esteros y canales (124.00 km²) sujetos al efecto de las mareas y coinciden zonas de agua dulce, salobre y salada. ⁽¹²⁾

- **Calidad del agua:** no se tienen datos actuales concretos de calidad del agua en la Bahía de Jiquilisco, pero ninguno de los municipios cuenta con sistemas de tratamiento de aguas negras y servidas, depositándolas a los ríos o directamente a la Bahía. Los ríos que desembocan en la Bahía llevan contaminación por vertidos de aguas negras domésticas y vertidos por las diferentes actividades industriales y agrícolas desarrolladas a lo largo de su cauce. Uno de los ríos más contaminados del país es el río Grande de San Miguel, que vierte sus aguas a la Bahía de Jiquilisco. (Ver Figura N°2)

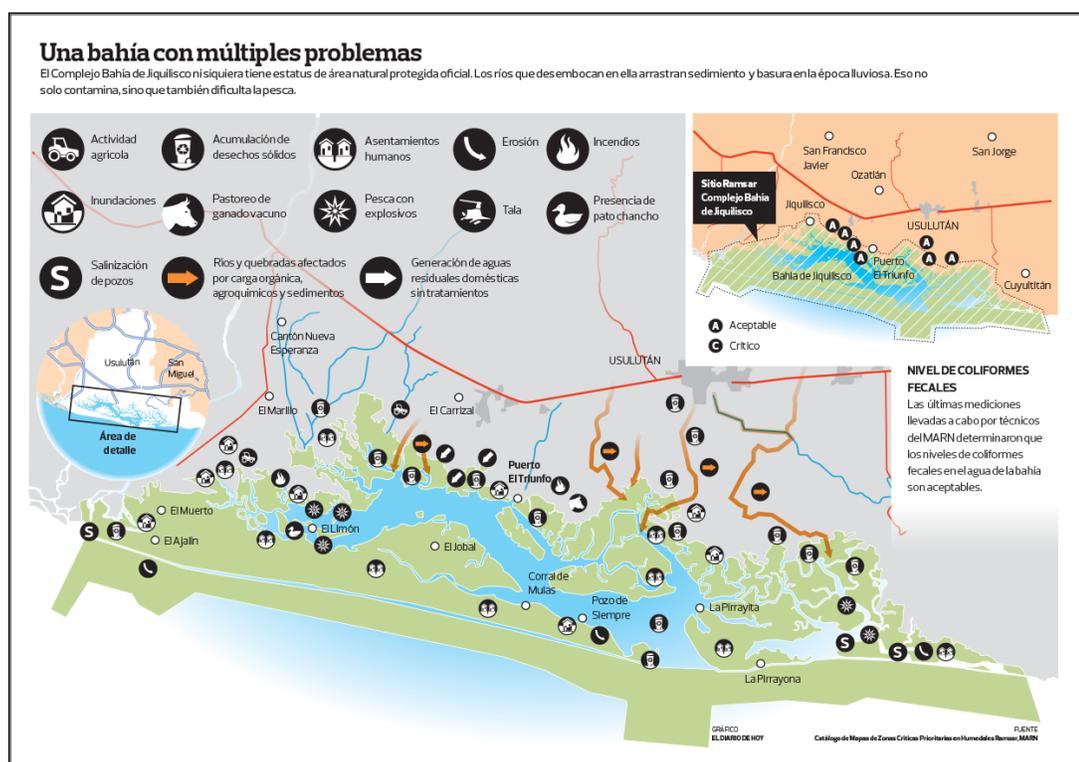


Figura N° 2. Indicadores contaminantes en la Bahía de Jiquilisco.

3.5.3 Características ecológicas generales de la Bahía de Jiquilisco. (22)

Se encuentra formando parte del Gran Paisaje de la Planicie Costera, subunidad de Usulután y del Gran Paisaje de la Cadena Costera, subunidad Macizo de Jucuarán dentro de la zona de vida Bosque Húmedo Subtropical Caliente. De los 17 tipos de vegetación descritos para El Salvador según la clasificación de la

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) (1973) adoptada por la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (CCADMARN) en 2001 en la Bahía de Jiquilisco encontramos los siguientes: vegetación cerrada principalmente manglar (187.20 km²); vegetación cerrada principalmente siempre verde tropical ombrófila estacionalmente saturada (5.69 km²); vegetación abierta predominantemente decidua con árboles y arbustos de costa o playa (4.00 km²); vegetación cerrada principalmente siempre verde tropical ombrófila riparia (0.40 km²); áreas de escasa vegetación en acumulaciones arenosas duna costera-litoral de muy pequeña extensión.

3.5.4 Principales especies de fauna de la Bahía de Jiquilisco. ⁽¹⁵⁾

Se encuentran en estos manglares tres especies de bivalvos del género *Anadara*: curil (*A. similis*), concha negra (*A. tuberculosa*) y casco de burro (*A. grandis*), con un claro valor comercial.

Dentro del área natural se han encontrado algunos reservorios naturales de esta especie, siendo el de mayor importancia el localizado en la ensenada de El Astillero, situada al occidente de la bocana La Chepona.

Otras especies de cangrejo como el cangrejo punche (*Ucides occidentalis*) cuyo principal problema deriva de la explotación indiscriminada de hembras ovígeras durante la época de apareamiento (pintas) en la que los cangrejos salen en grandes cantidades a los playones y son especialmente fáciles de capturar. Entre los peces destaca la mojarra negra (*Amphilophus macracanthus*).

En el manglar de la Bahía de Jiquilisco viven muchas aves acuáticas y también aves terrestres como gavilanes, martín pescador, papamoscas, carpinteros y chipes. Cuatro especies de ave “terrestre” (gavilán, martín pescador, vireo y chipe) solamente viven en este hábitat.

3.5.5 Valores socioeconómicos. ⁽²²⁾

Según el Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) la pesca artesanal constituye el medio de subsistencia tradicional de gran parte de la población presente en la zona. Se puede estimar en unos 5,000 pescadores y unas 1,500 mujeres dedicadas a la pesca al largo de la Bahía.

En este marco, la extracción del curil constituye una fuente de ingresos muy importante a lo largo de la Bahía de Jiquilisco y en ella se involucran principalmente las mujeres. La captura de cangrejos es una actividad a la que se dedica poca población ya que este producto tiene un escaso mercado.

Los canales de comercialización de la pesca y del marisqueo se realizan a través de cooperativas que compran el pescado a los socios y no socios y el transporte de la pesca generalmente se realiza por las mujeres.

Las cooperativas tienen mayor posibilidad de negociar la producción de acuerdo a los precios del mercado, a diferencia de los o las comerciantes individuales que comercializan por medio de mayoristas intermediarios, quienes determinan los precios de los productos; en muchas ocasiones muy por debajo del precio real. Aunque existen actividades de pesca industrial la producción de pesca artesanal marina tiene mayor peso que ésta.

3.6 Métodos utilizados para la determinación de metales pesados

3.6.1 Generalidades

Los métodos empleados en la determinación de metales pesados son diversos, dentro de los que se destacan Espectroscopia de Fluorescencia de Rayos X, Espectrofotometría Ultravioleta Visible y Espectrofotometría de Absorción Atómica, siendo esta última una de las técnicas más utilizadas debido a su relativa simplicidad, buena exactitud, precisión y costo para la cuantificación de especies inorgánicas en una gran cantidad de muestras.

Sin embargo, el método de Espectroscopia de Fluorescencia de Rayos X es un procedimiento analítico del cual se puede destacar su aplicación debido a que se puede utilizar para cualquier elemento de número atómico mayor que 4 (berilio). Su simplicidad reside en que el espectro de emisión de rayos X es muy sencillo de obtener y de interpretar. Las interferencias espectrales son relativamente infrecuentes, aunque hay que considerar los posibles efectos de matriz que pueden suponer efectos de absorción y de refuerzo de las líneas analíticas. Se trata de un método no destructivo en el sentido de que la muestra no sufre daños durante el análisis.

Entre sus desventajas y limitaciones, se cita la necesidad de disponer de patrones generalmente caros; además existe una cierta problemática en el análisis de los elementos ligeros, por su baja sensibilidad debida a fenómenos de absorción.

3.6.2 Espectrofotometría de Absorción Atómica

- Generalidades. ⁽¹⁷⁾

La espectroscopia de absorción atómica (EAA), tiene como fundamento la absorción de radiación de una longitud de onda determinada. Esta radiación es absorbida selectivamente por átomos que tengan niveles energéticos cuya diferencia en energía corresponda en valor a la energía de los fotones incidentes.

La cantidad de fotones absorbidos, está determinada por la ley de Beer, que relaciona ésta pérdida de poder radiante, con la concentración de la especie absorbente y con el espesor de la celda o recipiente que contiene los átomos absorbedores.

Los componentes instrumentales de un equipo de espectrofotometría de absorción atómica son los similares a los de un fotómetro o espectrofotómetro de flama, excepto que en EAA se requiere de una fuente de radiación necesaria para excitar los átomos del analito. Estos componentes se representan en la Figura N° 3.

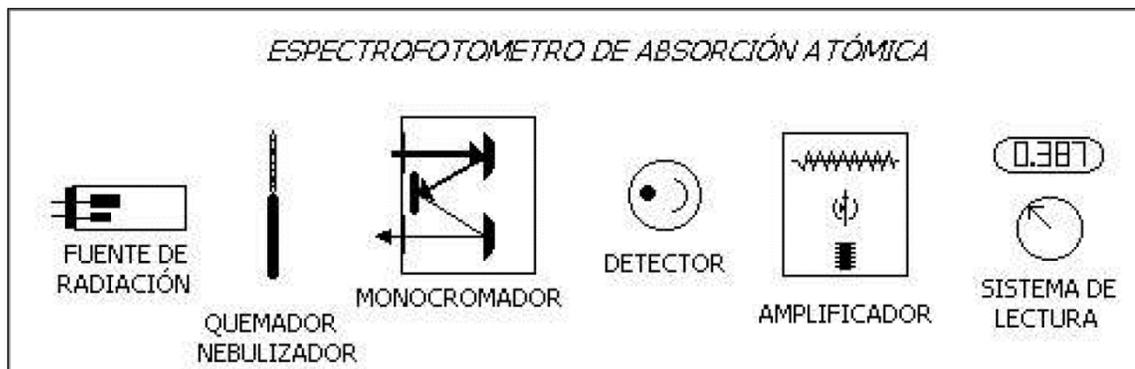


Figura N° 3. Diagrama de las partes del Espectrofotómetro de Absorción Atómica. (17)

- **Espectroscopia de Absorción Atómica con llama.** ⁽¹⁾ (FAAS)

La técnica de atomización más usada es la FAAS, donde se nebuliza la muestra y luego se disemina en forma de aerosol dentro de una llama de aire de acetileno u óxido nitroso-acetileno, que es producida por un quemador para que se lleve a cabo la atomización. Se reconoce como una técnica estándar ya que está disponible en casi todos los dispositivos de absorción atómica en el mercado.

Es importante saber que el elemento contenido en la solución a analizar se encuentra en forma de molécula, la muestra se atomiza mediante un nebulizador mientras grandes gotas de agua se descargan al drenaje, y sólo una niebla fina se mezcla con el combustible y oxidante en la cámara de atomización.

Luego es enviado a la llama donde la niebla se evapora instantáneamente y finas partículas de moléculas se producen, cuando estas partículas avanzan aún más en la llama, se disuelve en átomos por acción del calor (Ver Figura N° 4); estos átomos absorben cualitativamente la radiación emitida por la lámpara y la cantidad de radiación absorbida está en función de su concentración.

La señal de la lámpara una vez que pasa por la llama llega a un monocromador, que tiene como finalidad el discriminar todas las señales que acompañan la línea de interés; esta señal de radiación electromagnética llega a un detector o

transductor y pasa a un amplificador y por último a un sistema de lectura. Para lograr un análisis de sensibilidad, seguridad, facilidad de uso, costo y otros puntos; hay cuatro llamas estándar que se han utilizado para este método: aire acetileno, óxido de acetileno, hidrógeno-aire nitroso y argón-hidrógeno. Estas llamas se utilizan para cada elemento dependiendo de la temperatura y características del gas.

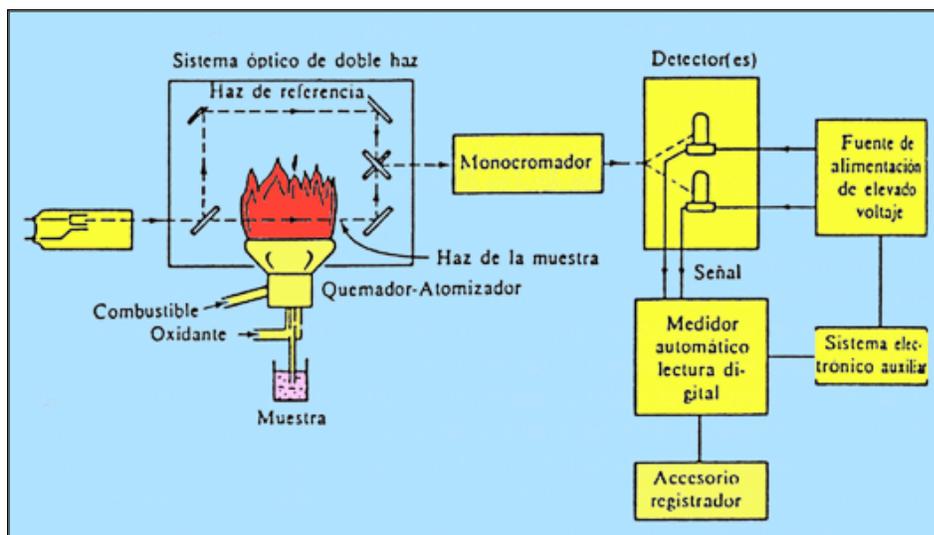


Figura N° 4. Diagrama típico del quemador en Espectrofotometría de Absorción Atómica con llama (1)

- **Espectroscopia de Absorción Atómica con Generador de Hidruros** (22)

Con este método se pueden analizar elementos capaces de formar hidruros volátiles como el As, Hg, Sn, Bi, Se y Sb, llegando a detectarse niveles de unos pocos ppb (Ver Figura N° 5).

La técnica de GH-AAS consta de tres etapas fundamentales: la generación y volatilización del hidruro, la transferencia del mismo y su posterior atomización en el Espectrómetro de Absorción Atómica.

La generación del hidruro se consigue, tratando la muestra que contiene arsénico (As) por ejemplo, con una disolución de tetrahidrobórato de sodio (NaBH_4) en medio ácido (HCl).

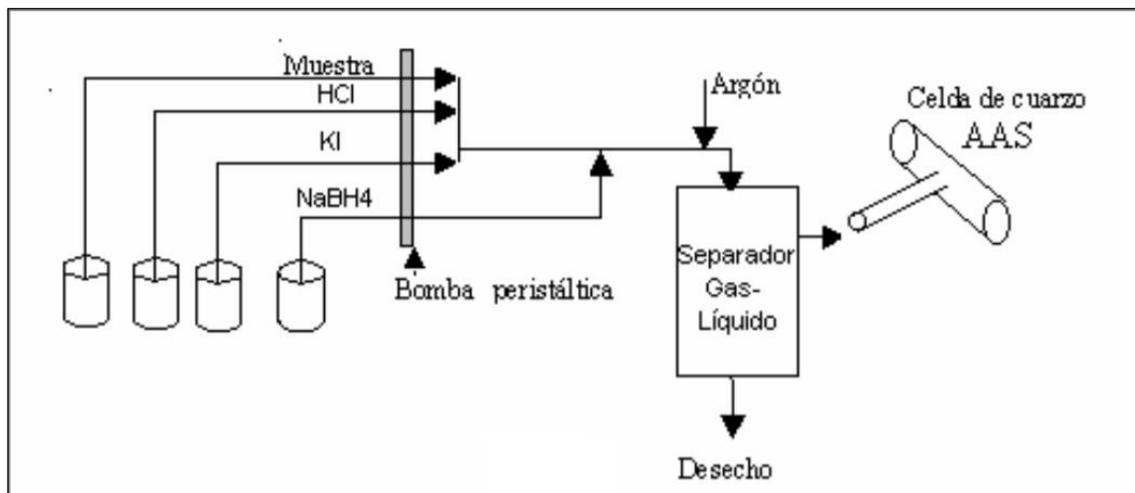


Figura N° 5. Diagrama de Absorción Atómica Generador de Hidruro. (24)

El reductor utilizado universalmente es el tetrahidrobórato de sodio lo que hace que la reacción sea completa y rápida pero cuando se trata de la especie inorgánica As (III), en el caso de As (V) y las especies orgánicas Monometilarsénico (MMA) y Dimetilarsénico (DMA), la reacción es muy lenta por lo que es necesaria una reducción previa, para lo cual se utiliza yoduro de potasio.

La mezcla del hidruro con el resto de la dilución es bombeada a un separador gas-líquido, donde una corriente de gas inerte (generalmente argón o nitrógeno) impulsa el hidruro hacia la llama liberándolo de la disolución.

La atomización del hidruro se realiza en un tubo de cuarzo en forma de "T" que calentado por la llama de aire-acetileno, donde se aumenta el tiempo de residencia de los átomos y evita la dispersión de los mismos y el ruido de fondo.

Al pasar la luz emitida por la lámpara a través del conjunto de átomos, la absorción crece a medida que estos se producen, llega a un máximo y cae al consumirse el analito y agotarse los átomos de la celda de absorción.

- **Equipo de Absorción Atómica.** (1)

Los componentes básicos de un equipo de Absorción Atómica son:

- Fuente de radiación: es el encargado de emitir una línea espectral específica del elemento de interés, pues cada especie química es capaz, en condiciones adecuadas de absorber sus propias radiaciones, que es necesaria para efectuar una transición en los átomos del elemento a analizar. Una vez formado los átomos, la flama tiene la misma función que una celda en espectroscopia visible o ultravioleta, los átomos de la flama absorben radiación de acuerdo a la Ley de Beer. Las fuentes de radiación empleadas en el espectrofotómetro de absorción atómica, deben originar una banda estrecha, de intensidad adecuada y estabilidad suficiente, durante períodos de tiempo prolongados. Las más comúnmente utilizadas son las lámparas de cátodo hueco.
- Sistema de atomización o nebulizador: Suele estar integrado en uno solo, en este sistema la disolución de la muestra líquida es inicialmente aspirada y dirigida como una fina niebla hacia la llama (atomizador), donde se forman los átomos en estado fundamental, para obtener la llama se requiere un combustible.
- Monocromador: Permite seleccionar longitudes de onda que proceden de la emisión de la fuente, parte de la radiación no absorbida es dirigida hacia el detector. La única finalidad del monocromador es aislar la línea de medida del elemento de interés, la rendija deberá ser lo más estrecha posible, con objeto de reducir la cantidad de radiación emitida por la llama que llega al detector.
- Detector o trasductor: acoplado con un sistema lector o de registro de los espectros. El detector universalmente usado en absorción atómica es el tubo fotomultiplicador, cuya misión es transformar, con relación proporcional, las señales de intensidad de radiación electromagnéticas en señales eléctricas o de intensidad de corriente (unidades de absorbancia).

CAPITULO IV
DISEÑO METODOLOGICO

4.0 DISEÑO METODOLOGICO

4.1 Tipo de estudio

4.1.1 Exploratorio

Actualmente en el país no se cuenta con una investigación sobre los parámetros químicos y análisis de metales pesados en los sedimentos de manglar, por lo que con esta investigación se proporcionó un insumo dentro de esta temática.

4.1.2 Experimental

Se realizó la determinación de metales pesados: arsénico (As), cobre (Cu), cromo (Cr), hierro (Fe), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn) en muestras de sedimentos de manglar, de la Bahía de Jiquilisco, Departamento de Usulután, El Salvador, en el Laboratorio del Departamento de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

4.1.3 Prospectivo

Esta investigación sirve como antecedente para la caracterización de futuros estudios relacionados a la evaluación de metales pesados en sedimentos de manglar de la Bahía Jiquilisco.

4.2 Investigación bibliográfica

Se realizó consultas en las siguientes bibliotecas:

- “Dr. Benjamín Orozco”, Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador.
- Central de Universidad de El Salvador.
- Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas.
- Internet

4.3 Investigación de campo

4.3.1 Ubicación de los sitios de recolección de muestras de sedimentos

La recolección de las muestras de sedimentos de manglar se realizó en la Bahía de Jiquilisco, municipio de Jiquilisco, Departamento de Usulután, El Salvador. Para establecer los puntos de muestreo se tomó como criterio principal los sitios donde se reproduce la *Anadara tuberculosa* (concha peluda), información proporcionada por el guarda recursos de la zona y de las personas que se dedican a la extracción de la especie.

Debido a que la Bahía de Jiquilisco cuenta con una amplia extensión de territorio, para lograr obtener muestras representativas en el estudio, se decidió dividir la Bahía de Jiquilisco en dos zonas: zona oriental y zona occidental; tomando como referencia geográfica de salida el Puerto Parada que pertenece al municipio de San Dionisio. (ver Anexo N° 1)

En la primera visita, se identificaron las zonas y sitios de muestreo correspondientes; en la segunda visita se realizó la toma de muestras de sedimento de manglar en la zona occidental de la bahía y en la tercera visita se llevó a cabo la recolección de muestras en la zona oriental de la bahía

Cada sitio de muestreo se dividió en tres puntos, con una distancia aproximada de diez metros entre cada punto; en cada uno de los puntos se recolectó una cantidad de 2 kg de sedimentos de manglar.

Para la recolección de las muestras de sedimento de manglar se tomaron en cuenta los siguientes cuidados:

- Recolectar la muestra de sedimento a una profundidad de 20 a 25 cm y una distancia de 10 metros entre cada punto.
- Obtener las muestras de forma manual con ayuda de una pala de PVC.

- Almacenar las muestras de sedimento de manglar en bolsas de polietileno con cierre hermético, limpias y previamente rotuladas.
- Transportar las muestras recién recolectadas en una hielera de polietileno con una capacidad de 20 L y una temperatura de ± 4 °C, hacia el Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad El Salvador. (ver Anexo N° 2)

Universo: Los manglares en el litoral de El Salvador.

Muestras: Las muestras en estudio corresponden a sedimento de manglar que se obtuvo de seis sitios de muestreo en las zonas de reproducción de *Anadara tuberculosa* (concha peluda) en la Bahía de Jiquilisco, Usulután, El Salvador en la época lluviosa mes de julio de 2018.

Tipo de muestreo: Aleatorio simple. ⁽³³⁾

4.4 Parte experimental

4.4.1 Pretratamiento de las muestras. ⁽³⁾ ⁽¹¹⁾

Las muestras de sedimento obtenidos de manglar, fueron preservadas en refrigeración en el Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas, se sacaron de la refrigeradora, se colocaron en bandejas plásticas para que alcanzaran la temperatura ambiente. (ver Anexo N° 2)

Para posteriormente iniciar el proceso experimental, este consistió en tres partes: secado, molido y digestión de las muestras.

- Secado, Molido y Tamizado. (ver Anexo N° 2)
 1. Pesar 50.0 ± 5.0 g de sedimento de manglar en una caja Petri previamente identificada y tarada, utilizando una balanza semianalítica.
 2. Colocar las cajas de Petri en la estufa de aire circulante.
 3. Secar a una temperatura de 40 °C por 48 horas.

4. Enfriar en un desecador por 30 minutos y pesar (anotar el peso).
5. Pulverizar las muestras utilizando un mortero y pistilo hasta obtener un polvo fino.
6. Pasar las muestras por un tamiz plástico de malla fina.
7. Almacenar dentro de un tubo plástico debidamente identificado y almacenar en un desecador.

Nota: En todo el análisis se procuró evitar el contacto directo de la muestra con materiales de metal con la finalidad de no contaminar las muestras.

4.4.2 Tratamiento y preparación las muestras.

Este procedimiento consistió en la digestión de la muestra por dos vías: vía seca para los elementos cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc; vía humedad para el arsénico.

4.4.2.1 Digestión seca de la muestra (ver Anexo N° 2).

La digestión seca de las muestras se realizó para los elementos cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc.

1. Colocar los crisoles de porcelana limpios, secos e identificados en el horno mufla a 500 °C por 1 hora.
2. Sacar los crisoles del horno mufla, colocar en un desecador y enfriar durante 30 minutos.
3. Pesar los crisoles de porcelana vacíos y anotar su peso.
4. Pesar 4.0 ± 0.01 g de muestra (sedimento de manglar) seca y triturada directamente en los crisoles de porcelana previamente tarados e identificados, utilizando una balanza.
5. Colocar en el horno mufla, programar un incremento de temperatura de 100 °C por hora hasta llegar a 500 °C, mantener en 500 °C por dos horas.

6. Retirar los crisoles del horno mufla, colocar en un desecador durante 30 minutos y enfriar.
7. Pesar los crisoles con las muestras calcinadas y anotar el peso (la diferencia de peso con el crisol vacío son las cenizas).
8. Colocar un crisol vacío rotulado como blanco, el cual sigue todos los pasos anteriormente descritos.

Solubilización de las cenizas con HCl concentrado para preparar las soluciones muestras para la cuantificación de los elementos (cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc). (ver Anexo N° 2). (1) (33)

1. Solubilizar las cenizas contenidas en cada crisol de porcelana con 2.0 mL de agua bidestilada
2. Luego agregar 5.0 mL de ácido clorhídrico concentrado.
3. Agitar cuidadosamente para disolver las sales.
4. Calentar lentamente en un hotplate a una temperatura de 60 ± 5 °C por 5 minutos, hasta que no se observen vapores.
5. Enfriar a temperatura ambiente y filtrar la solución en papel Whatman poro # 42.
6. Recibir el filtrado en balones volumétricos de 50.0 mL, previamente identificados.
7. Agregar agua bidestilada con ayuda de un piseta plástica.
8. Realizar lavados 3 veces cada crisol.
9. Aforar los balones volumétricos con agua bidestilada y homogenizar.
10. Pasar la solución a un tubo de plástico FALCON de 50.0 mL limpio, seco e identificado; almacenar en refrigeración.
11. Se identificó un crisol como "blanco" y dicho crisol se trabajó sin el analito de la misma manera que los crisoles que contenían las muestras.

4.4.2.2 Digestión humedad de la muestra (ver Anexo N° 2 y N° 3).^{(1) (33)}

La digestión humedad de las muestras se realizó únicamente para el elemento arsénico.

1. Pesar 0.5 ± 0.01 g de muestra (sedimento de manglar) seca y triturada en un tubo de ensayo previamente identificado, utilizando una balanza analítica.
2. Agregar 6.0 mL de ácido nítrico concentrado, tapar con un embudo y vidrio de reloj.
3. Calentar a 80 °C utilizando un baño de arena por 8 horas o hasta que desaparezcan los vapores amarillos.
4. Sacar y enfriar, pasar a un balón volumétrico de 25.0 mL identificado, utilizando un embudo.
5. Llevar a volumen con agua bidestilada y homogenizar.
6. Filtrar en papel Whatman # 42 y recibir el filtrado en un tubo plástico FALCON de 50.0 mL limpio, seco e identificado; almacenar en refrigeración.
7. Se identificó dos tubos como “blanco” y dichos tubos se trabajaron sin el analito de la misma manera que los tubos que contenían las muestras.

4.4.3 Preparación de soluciones stock y soluciones estándar para arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc.^{(1) (33)}

A. Arsénico. (ver Anexo N° 4, Anexo N° 5 y Anexo N° 6)

- Preparación de Solución stock de arsénico (100 ppb).

Medir 0.50 mL de una solución de 1000 ppm de arsénico con un pipeteador automático de 1.0 mL, luego colocarla en un balón volumétrico de 500.0 mL, diluir con agua bidestilada, llevar a volumen y homogenizar.

Medir 25.0 mL de la solución anterior de 1000 ppb de arsénico con una pipeta de 25.0 mL, luego colocarla en un balón volumétrico de 250.0 mL, diluir con agua bidestilada, llevar a volumen y homogenizar.

- **Estándar de arsénico (0.5 ppb, 1.0 ppb, 2.0 ppb y 5.0 ppb) a partir de una solución stock 100 ppb.**

Transferir alícuotas de 0.25 mL, 0.50 mL, 1.0 mL y 2.5 mL de la solución stock de arsénico (100 ppb) con un pipeteador automático de 10.0 mL, colocarlas en un balón volumétrico de 50.0 mL. Aforar con agua bidestilada y homogenizar.

B. Cobre. (ver Anexo N° 4, Anexo N° 5 y Anexo N° 6)

- **Preparación de Solución stock de cobre (20 ppm).**

Medir 5.0 mL de una solución de 1000 ppm de cobre con una pipeta de 5.0 mL, luego colocarla en un balón volumétrico de 250.0 mL, diluir con agua bidestilada, llevar a volumen y homogenizar.

- **Estándar de cobre (0.2 ppm, 1.0 ppm, 2.0 ppm y 4.0 ppm) a partir de una solución stock 20 ppm.**

Transferir alícuotas de 1.0 mL, 5.0 mL, 10.0 mL y 20.0 mL de la solución stock de cobre (20 ppm) con un pipeteador automático de 10.0 mL, colocarlas en un balón volumétrico de 100.0 mL. Luego aforar con agua bidestilada y homogenizar.

C. Cromo. (ver Anexo N° 4, Anexo N° 5 y Anexo N° 6)

- **Preparación de Solución stock de cromo (40 ppm).**

Medir 10 mL de una solución de 1000 ppm de cromo con una pipeta de 10.0 mL, luego colocarla en un balón volumétrico de 250.0 mL, diluir con agua bidestilada, llevar a volumen y homogenizar.

- **Estándar de cromo (0.2 ppm, 0.5 ppm, 3.0 ppm y 6.0 ppm) a partir de una solución stock de 40 ppm.**

Transferir alícuotas de 0.5 mL, 1.25 mL, 7.5 mL y 15.0 mL de la solución stock de cromo (40 ppm) con un pipeteador automático de 10.0 mL, colocarlas en

un balón volumétrico de 100.0 mL. Luego aforar con agua bidestilada y homogenizar.

D. Hierro. (ver Anexo N° 4, Anexo N° 5 y Anexo N° 6)

- **Preparación de Solución stock de hierro (20 ppm).**

Medir 5.0 mL de una solución de 1000 ppm de hierro con una pipeta de 5.0 mL, luego colocarla en un balón volumétrico de 250.0 mL, diluir con agua bidestilada, llevar a volumen y homogenizar.

- **Estándar de hierro (0.3 ppm, 1.0 ppm, 3.0 ppm y 6.0 ppm) a partir de una solución stock de 20 ppm.**

Transferir alícuotas de 1.5 mL, 5.0 mL, 15.0 mL y 30.0 mL de la solución stock de hierro (20 ppm) con un pipeteador automático de 10.0 mL, colocarlas en un balón volumétrico de 100.0 mL. Luego aforar con agua bidestilada y homogenizar.

E. Níquel. (ver Anexo N° 4, Anexo N° 5 y Anexo N° 6)

- **Preparación de Solución stock de níquel (20 ppm).**

Medir 5.0 mL de una solución de 1000 ppm de níquel con una pipeta de 5.0 mL, luego colocarla en un balón volumétrico de 250.0 mL, diluir con agua bidestilada, llevar a volumen y homogenizar.

- **Estándar de níquel (0.5 ppm, 1.0 ppm, 3.0 ppm y 5.0 ppm) a partir de una solución stock de 20 ppm.**

Transferir alícuotas de 2.5 mL, 5.0 mL, 15.0 mL y 25.0 mL de la solución stock de níquel (20 ppm) con un pipeteador automático de 10.0 mL, colocarlas en un balón volumétrico de 100.0 mL. Luego aforar con agua bidestilada y homogenizar.

F. Plomo. (ver Anexo N° 4, Anexo N° 5 y Anexo N° 6)

- **Preparación de Solución stock de plomo (20 ppm).**

Medir 5.0 mL de una solución de 1000 ppm de plomo con una pipeta de 5.0 mL, luego colocarla en un balón volumétrico de 250.0 mL, diluir con agua bidestilada, llevar a volumen y homogenizar.

- **Estándar de plomo (0.2 ppm, 0.5 ppm, 3.0 ppm y 5.0 ppm) a partir de una solución stock de 20 ppm.**

Transferir alícuotas de 1.0 mL, 2.5 mL, 15.0 mL y 25.0 mL de la solución stock de plomo (20 ppm) con un pipeteador automático de 10.0 mL, colocarlas en un balón volumétrico de 100.0 mL. Luego aforar con agua bidestilada y homogenizar.

G. Zinc. (ver Anexo N° 4, Anexo N° 5 y Anexo N° 6)

- **Preparación de Solución stock de zinc (40 ppm).**

Medir 10 mL de una solución de 1000 ppm de zinc con una pipeta de 10.0 mL, luego colocarla en un balón volumétrico de 250.0 mL, diluir con agua bidestilada, llevar a volumen y homogenizar.

- **Estándar de zinc (0.05 ppm, 0.10 ppm, 0.50 ppm y 1.00 ppm) a partir de una solución stock de 40 ppm.**

Transferir alícuotas de 0.125 mL, 0.25 mL, 1.25 mL y 2.50 mL de la solución stock de zinc (40 ppm) con un pipeteador automático de 10.0 mL, colocarlas en un balón volumétrico de 100.0 mL. Luego aforar con agua bidestilada y homogenizar.

4.4.4 Procedimiento para la cuantificación de arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc. ⁽¹⁾ (33)

A. Arsénico por el Método de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Generador de Hidruros (HGAAS). (ver Anexo N° 7, ver Cuadro N° 2)

- Tomar una alícuota de 10.0 mL de cada muestra con ayuda de un pipeteador automático y transferirla a balones volumétricos de 50.0 mL.

- Añadir 2.0 mL de solución de yoduro de potasio y 4.0 mL de ácido clorhídrico 1:1.
- Agitar para homogenizar y aplicar calor con un hotplate Corning PC-420D a temperatura de 85 °C por 30 minutos, sin ebullición.
- Dejar enfriar hasta temperatura ambiente, aforar con agua bidestilada y homogenizar.
- Colocar en el equipo de EAA un volumen de 500.0 mL de tetrahidrobórato de sodio, 500.0 mL de ácido clorhídrico (1:1). (ver **Anexo N° 3**)
- Encender el equipo e introducir los parámetros necesarios para la determinación de arsénico:
 - Longitud de onda: 193.7 nm
 - Estándares a utilizar: 0.5, 1.0, 2.0, 5.0 ppb de As
 - Corriente de lámpara: 12 mA
 - Ancho de rejilla: 0.7 nm
 - Modo de corrección: BGC-D2
 - Número de repeticiones por cada lectura.
- Dejar que el equipo se estabilice durante 15 minutos.
- El aparato aspirará el blanco preparado, este se utiliza para corregir cualquier interferencia producida por los reactivos.
- El aparato aspirará los estándares en el equipo para luego realizar la curva de calibración.
- Aspirar la muestra.

- Anotar la lectura de la muestra obtenida directamente del equipo; si se realizara alguna dilución de la muestra, multiplicar por el factor de dilución para obtener el resultado.
- Corregir el resultado con el blanco si es necesario.
- Aspirar agua destilada para limpiar el equipo.
- El resultado estará expresado en ppb de arsénico.

Nota: La muestra tratada puede ser utilizada directamente en caso de que la concentración de arsénico en la muestra sea pequeña. En caso de ser necesario, realizar diluciones adecuadas de la muestra tratada.

B. Cobre por el Método de Espectrofotometría de Absorción Atómica por Lama (FAAS). (ver Anexo N° 7,)

- Encender el equipo e introducir los parámetros necesarios para la determinación de cobre:
 - Longitud de onda: 324.8 nm
 - Estándares a utilizar: 0.2, 1.0, 2.0 y 4.0 ppm de Cu.
 - Corriente de lámpara: 8 mA
 - Ancho de rejilla: 0.7 nm
 - Modo de corrección: BGC-D2
 - Número de repeticiones por cada lectura.
- Dejar que el equipo se estabilice durante 15 minutos.
- El aparato aspirará el blanco preparado, este se utilizará para corregir cualquier interferencia producida por los reactivos.

- El aparato aspirará los estándares en el equipo para luego realizar la curva de calibración.
- Aspirar la muestra.
- Anotar la lectura de la muestra obtenida directamente del equipo; si se realizara alguna dilución de la muestra, multiplicar por el factor de dilución para obtener el resultado.
- Corregir el resultado con el blanco si es necesario.
- Aspirar agua destilada para limpiar el equipo.
- El resultado estará expresado en ppm de cobre.

Nota: La muestra tratada puede ser utilizada directamente en caso de que la concentración de cobre en la muestra sea pequeña. En caso de ser necesario, realizar diluciones adecuadas de la muestra tratada.

C. Cromo por el Método de Espectrofotometría de Absorción Atómica por Lama (FAAS). (ver Anexo N° 7)

- Encender el equipo e introducir los parámetros necesarios para la determinación de cromo:
 - Longitud de onda: 357.9 nm
 - Estándares a utilizar: 0.2, 0.5, 3.0, y 5.0 ppm de Cromo.
 - Corriente de lámpara: 10 mA
 - Ancho de rejilla: 0.7 nm
 - Modo de corrección: BGC-D2
 - Número de repeticiones por cada lectura.
- Dejar que el equipo se estabilice durante 15 minutos.

- El aparato aspirará el blanco preparado, este se utilizará para corregir cualquier interferencia producida por los reactivos.
- El aparato aspirará los estándares en el equipo para luego realizar la curva de calibración.
- Aspirar la muestra.
- Anotar la lectura de la muestra obtenida directamente del equipo; si se realizara alguna dilución de la muestra, multiplicar por el factor de dilución para obtener el resultado.
- Corregir el resultado con el blanco si es necesario.
- Aspirar agua destilada para limpiar el equipo.
- El resultado estará expresado en ppm de cromo.

Nota: La muestra tratada puede ser utilizada directamente en caso de que la concentración de cromo en la muestra sea pequeña. En caso de ser necesario, realizar diluciones adecuadas de la muestra tratada.

D. Hierro por el Método de Espectrofotometría de Absorción Atómica por Lama (FAAS). (ver Anexo N° 7)

- Encender el equipo e introducir los parámetros necesarios para la determinación de hierro:
 - Longitud de onda: 248.3 nm
 - Estándares a utilizar: 0.3, 1.0, 3.0 y 6.0 ppm de Fe.
 - Corriente de lámpara: 12 mA
 - Ancho de rejilla: 0.2 nm
 - Modo de corrección: BGC-D2

- Número de repeticiones por cada lectura.
- Dejar que el equipo se estabilice durante 15 minutos.
- El aparato aspirará el blanco preparado, este se utilizará para corregir cualquier interferencia producida por los reactivos.
- El aparato aspirará los estándares en el equipo para luego realizar la curva de calibración.
- Aspirar la muestra.
- Anotar la lectura de la muestra obtenida directamente del equipo; si se realizara alguna dilución de la muestra, multiplicar por el factor de dilución para obtener el resultado.
- Corregir el resultado con el blanco si es necesario.
- Aspirar agua destilada para limpiar el equipo.
- El resultado estará expresado en ppm de hierro.

NOTA: La muestra tratada será utilizada directamente en caso de que la concentración de hierro en la muestra sea pequeña. En caso de ser necesario, realizar diluciones adecuadas de la muestra tratada.

E. Níquel por el Método de Espectrofotometría de Absorción Atómica por Lama (FAAS). (ver Anexo N° 7)

- Encender el equipo, cargar las muestras, estándares e introducir los parámetros necesarios para la determinación de níquel:
 - Longitud de onda: 232.0 nm
 - Estándares a utilizar: 0.5, 1.0, 3.0 y 5.0 ppm de Ni.
 - Corriente de lámpara: 12 mA

- Ancho de rejilla: 0.2 nm
- Modo de corrección: BGC-D2
- Número de repeticiones por cada lectura.
- Dejar que el equipo se estabilice durante 15 minutos.
- El aparato aspirará el blanco preparado, este se utilizará para corregir cualquier interferencia producida por los reactivos.
- El aparato aspirará los estándares en el equipo para luego realizar la curva de calibración.
- Aspirar la muestra.
- Anotar la lectura de la muestra obtenida directamente del equipo; si se realizara alguna dilución de la muestra, multiplicar por el factor de dilución para obtener el resultado.
- Corregir el resultado con el blanco si es necesario.
- Aspirar agua destilada para limpiar el equipo.
- El resultado estará expresado en ppm de níquel.

NOTA: La muestra tratada será utilizada directamente en caso de que la concentración de níquel en la muestra sea pequeña. En caso de ser necesario, se realizarán diluciones adecuadas de la muestra tratada.

F. Plomo por el Método de Espectrofotometría de Absorción Atómica por Lama (FAAS). (ver Anexo N° 7,)

- Tomar una alícuota de 5.0 mL de con la ayuda de un pipeteador automático y transferirlo a balón volumétrico de 10.0 mL.
- Añadir 2.0 mL de la solución de nitrato de paladio (II) 10.0 ppm (ver **Anexo N° 2**), aforar con agua bidestilada y homogenizar.

- Encender el equipo, cargar las muestras, estándares e introducir los parámetros necesarios para la determinación de hierro:
 - Longitud de onda: 217.0 nm
 - Estándares a utilizar: 0.2, 0.5, 3.0, 5.0 ppm de Pb.
 - Corriente de lámpara: 12 mA
 - Ancho de rejilla: 0.2 nm
 - Modo de corrección: BGC-D2
 - Número de repeticiones por cada lectura.
- Dejar que el equipo se estabilice durante 15 minutos.
- El aparato aspirará el blanco preparado, este se utilizará para corregir cualquier interferencia producida por los reactivos.
- El aparato aspirará los estándares en el equipo para luego realizar la curva de calibración.
- Aspirar la muestra.
- Anotar la lectura de la muestra obtenida directamente del equipo; si se realizara alguna dilución de la muestra, multiplicar por el factor de dilución para obtener el resultado.
- Corregir el resultado con el blanco si es necesario.
- Aspirar agua destilada para limpiar el equipo.
- El resultado estará expresado en ppm de plomo.

NOTA: La muestra tratada será utilizada directamente en caso de que la concentración de plomo en la muestra sea pequeña. En caso de ser necesario, se realizará diluciones adecuadas de la muestra tratada.

G. Zinc por el Método de Espectrofotometría de Absorción Atómica por Lama (FAAS). (ver Anexo N° 7)

- Encender el equipo, cargar las muestras, estándares e introducir los parámetros necesarios para la determinación de zinc:
 - Longitud de onda: 213.9 nm
 - Estándares a utilizar: 0.05, 0.10, 0.50 y 1.0 ppm de Zn
 - Corriente de lámpara: 8 mA
 - Ancho de rejilla: 0.7 nm
 - Modo de corrección: BGC-D2
 - Número de repeticiones por cada lectura.
- Dejar que el equipo se estabilice durante 15 minutos.
- El aparato aspirará el blanco preparado, este se utilizará para corregir cualquier interferencia producida por los reactivos.
- El aparato aspirará los estándares en el equipo para luego realizar la curva de calibración.
- Aspirar la muestra.
- Anotar la lectura de la muestra obtenida directamente del equipo; si se realizara alguna dilución de la muestra, multiplicar por el factor de dilución para obtener el resultado.
- Corregir el resultado con el blanco si es necesario.
- Aspirar agua destilada para limpiar el equipo.
- El resultado estará expresado en ppm de zinc.

4.4.5 Comparación de resultados con la Guía técnica para detectar sedimentos contaminados. (Tabla N° 1)

Se compararon los resultados de la concentración promedio del sedimento de cada sitio de muestreo por metal analizado con la finalidad de establecer criterios que permitan categorizar el nivel de contaminación de las muestras de sedimento de manglar la Bahía de Jiquilisco.

Si los sedimentos presentan un nivel de contaminación que pueda ser un riesgo para el ecosistema, la guía establece dos niveles de riesgo de concentración de metales en los sedimentos, El nivel de efecto más bajo y El nivel de efecto severo.

Tabla N° 1. Límites de Concentración de metales en sedimentos contaminados.

Metales	Nivel sin Efecto	Nivel de Efecto Más Bajo (ppm)	Nivel de Efecto Severo (ppm)
Arsénico	-	6.0	33.0
Cadmio	-	0.6	10.0
Cromo	-	26.0	110.0
Cobre	-	16.0	110.0
Hierro (%)	-	2.0	4.0
Plomo	-	31.0	250.0
Níquel	-	16.0	75.0
Zinc	-	120.0	820.0

Fuente: Guía Técnica para Detectar Sedimentos Contaminados.

Un sedimento se considera contaminado si se excede cualquiera de los criterios. Si se exceden ambos criterios, se considera gravemente afectado. Si solo excede el criterio del nivel de efecto más bajo, el impacto se considera moderado. Las unidades son en ppm, a excepción de hierro, que se enumera como un porcentaje.

4.4.6 Análisis estadístico

Debido a la naturaleza de las muestras se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov y de esta forma, comprobar si los resultados obtenidos presentan una distribución normal o no. Posteriormente a las concentraciones promedio por cada sitio de muestreo se analizaron con la Prueba de Kruskal-Wallis. Para cada uno de los valores promedio obtenidos de las lecturas para la cuantificación de los elementos (arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc), se aplicó el análisis estadístico (desviación estándar) a un intervalo de confianza del 95 % y así observar que existió diferencia entre los valores obtenidos de los sitios muestreados de cada zona.

- **Desviación estándar.** ⁽³⁵⁾

La desviación estándar de la muestra es, de hecho, una medida de variabilidad. Una variabilidad grande en un conjunto de datos produce valores relativamente grandes de $(x-\bar{x})^2$ y, por lo consiguiente, una varianza muestral grande. Esta fue calculada por el programa SPSS Statistics 25.

Es útil obtener el intervalo de confianza y se representa con la siguiente ecuación:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Donde:

S = Desviación típica estándar.

X_i = Muestra individual.

\bar{X} = Promedio de muestras.

n = Numero de muestras.

Σ = Sumatoria desde muestra 1 a "n" número de muestras.

- **Intervalo de confianza al 95 %** ⁽³²⁾

La estimación del intervalo de confianza incluye el cálculo de límites dentro de los cuales es “razonable” que resida el parámetro en cuestión.

$$IC(\mu) = \bar{x} \pm t_{n-1} \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Dónde:

IC (μ) = intervalo de confianza

X = Promedio de muestras

t = t de student

n-1 = Grados de libertad

S = Desviación típica estándar

n = número de muestras

Tanto la desviación estándar como los intervalos de confianza, permitieron evidenciar que tan dispersos se encontraban los datos de los valores promedios; fueron calculados mediante IBM SPSS Statistics 25.

- **Prueba de Kolmogorov-Smirnov.** ⁽²⁾ ⁽¹⁹⁾

Se empleó esta prueba para analizar el promedio de las concentraciones de cada sitio por elemento (arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc) con la finalidad de determinar si el comportamiento de los resultados sigue una distribución normal o no normal.

La prueba de Kolmogorov-Smirnov se realizó a un nivel de significancia del 95% en donde el P-valor debe ser menor al 0.05 para clasificar los datos como una distribución no normal o el P-valor mayor al 0.05 para clasificar los datos como una distribución normal y así elegir un método estadístico adecuado para la naturaleza de la muestra.

- **Prueba Kruskal-Wallis.** ⁽¹¹⁾ ⁽¹³⁾

Al conocer que las concentraciones promedio de cada sitio por metal analizado presentaron una distribución no normal, fue necesario aplicar la prueba de Kruskal-Wallis, la cual es análoga a la prueba para distribuciones normales ANOVA de una vía.

La prueba de Kruskal-Wallis no supone la normalidad de la población (concentración de los metales en sedimentos por sitio de recolección en el manglar de la Bahía de Jiquilisco), ni la homogeneidad de la varianza.

Se realizó mediante el programa SPSS Statistics 25 a un nivel de significancia del 5%, planteándose las siguientes hipótesis:

- Hipótesis nula: las concentraciones promedio de cada sitio por metal analizado son iguales.
- Hipótesis alternativa: al menos la concentración promedio de un sitio por metal analizado es diferente.

Análisis de conglomerados (cluster). ⁽²⁵⁾

Es una técnica multivariante busca agrupar elementos (o variables) tratando de lograr la máxima homogeneidad en cada grupo y la mayor diferencia entre los grupos.

Se basa en los algoritmos jerárquicos acumulativos (forman grupos haciendo conglomerados cada vez más grandes), aunque no son los únicos posibles. El Dendograma es la representación gráfica que mejor ayuda a interpretar el resultado de un análisis cluster de manera cualitativa.

El análisis de conglomerados se puede combinar con el Análisis de Componentes Principales (ACP), ya que mediante ACP se puede homogeneizar los datos, lo cual permite realizar posteriormente un análisis cluster sobre los componentes obtenidos.

CAPITULO V

DISCUSIÓN E INTERPRETACION DE RESULTADOS

5.0 DISCUSIÓN E INTERPRETACION DE RESULTADOS

5.1 Identificación de los sitios de muestreo y recolección de muestras de sedimentos de manglar en Bahía de Jiquilisco, Usulután, El Salvador.

Para lograr la identificación de los sitios de recolección de muestras, se aplicaron dos criterios, en primer lugar, se evaluaron las zonas más susceptibles a la contaminación antropogénica, por ejemplo, desembocaduras de ríos, zonas habitadas por humanos, canales donde se transite constantemente, entre otros; los cuales pueden arrastrar contaminantes que inciden directamente en la concentración de metales en los sedimentos.

En segundo lugar, se obtuvo información recolectada con los guardarecursos del MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales) y de personas que se dedican diariamente a la extracción de curil (curileros), en las zonas de reproducción de la especie *Anadara tuberculosa* (concha peluda).

El equipo investigador tuvo a buen criterio, dividir la Bahía de Jiquilisco en dos zonas: zona occidental y zona oriental; esto debido a la amplia extensión territorial, tomando como punto de partida el sitio de embarcación Puerto Parada que pertenece al municipio de San Dionisio. Luego de cada zona se seleccionaron tres sitios de muestreo. (ver Anexo N° 1)

En la primera visita se identificaron los seis sitios de muestreo correspondientes a cada zona (occidental y oriental) de la Bahía, así mismo, se le otorgó una codificación a cada sitio para diferenciarlos unos de otros (ver Cuadro N° 3).

En la segunda y tercera visita, se realizó la recolección de muestras en la zona occidental y oriental de la Bahía de Jiquilisco, se realizó el monitoreo de las mareas bajas que favorecen la entrada a los sitios de recolección de muestras (sedimentos de manglar), en el mes de julio de 2018.

Cuadro N° 3. Codificación de sitios de muestreo.

Zona de la Bahía	Sitio	Coordenadas	Imagen	Código de Muestra
Bahía de Jiquilisco Oriental (BJO)	Desembocadura del río Grande de San Miguel (S1)	N: 13°11'39.3'' E: 88°19'56.4''		S1P1
				S1P2
				S1P3
	Lado norte de la desembocadura del río Grande de San Miguel (S2)	N: 13°11'52.3'' E: 88°19'54.0''		S2P1
				S2P2
				S2P3
	Isla Samuria (S3)	N: 13°12'6.40'' E: 88°20'14.8''		S3P1
				S3P2
				S3P3
Bahía de Jiquilisco Occidental (BJOC)	Canal de Barias (S4)	N: 13°11'24.5'' E: 88°19'45.5''		S4P1
				S4P2
				S4P3
	Desembocadura del río San Lucas (S5)	N: 13°11'20.4'' E: 88°19'35.8''		S5P1
				S5P2
				S5P3
	Canal de Comunidad Puerto Ramírez (S6)	N: 13°11'8.3'' E: 88°19'40''		S6P1
				S6P2
				S6P3

5.2 Cuantificación e interpretación de la concentración de metales en sedimentos de manglar por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica y comparación con la Guía para detectar sedimentos contaminados.

Después de haber realizado el pre-tratamiento de la muestra para obtener las soluciones de los elementos por medio de la digestión húmeda (arsénico) y digestión seca (cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc); se utilizó el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Generador de Hidruros (arsénico), así como el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Llama para los metales restantes; para cuantificar la concentración de dichos metales en los sedimentos de manglar.

Con el fin de interpretar adecuadamente los resultados de las concentraciones obtenidas, se compararon los valores promedio de cada sitio muestreado con los criterios que establece la Guía técnica para detectar sedimentos contaminados. Estos son: Nivel de Efecto Más Bajo (NEMB) y Nivel de Efecto Severo (NES) los cuales están dados en valores de concentración para cada metal.

Los sedimentos con concentraciones que superen los criterios antes mencionados, se consideran contaminados y pueden causar daños a los ecosistemas marinos y acuáticos.

CRITERIO CONTAMINACIÓN	Nivel de efecto más bajo (NEMB)	Nivel de efecto severo (NES)
No Contaminado	-	-
Contaminación leve	X	-
Contaminación grave	X	X

Cuadro N° 4. Resumen de guía técnica.

5.2.1 Resultados del análisis de arsénico. (ver Anexo N° 8)

Para arsénico, los valores promedio encontrados en los sitios en estudio, se muestran en el cuadro N° 5.

Cuadro N° 5. Resultados del análisis de arsénico en las muestras de sedimento de manglar clasificados según la normativa estadounidense.

Sitio de recolección	Muestra	Concentración Promedio (ppm)	Normativa ⁽²⁶⁾ ⁽²⁷⁾
Desembocadura del río Grande de San Miguel	S1	7.30	Nivel de efecto más bajo: 6 ppm; Nivel de efecto severo: 33 ppm
Lado norte de la desembocadura del río Grande de San Miguel	S2	12.02	
Isla Samuria	S3	6.64	
Canal de Barias	S4	8.43	
Desembocadura del río San Lucas	S5	8.61	
Canal de Comunidad Puerto Ramírez	S6	8.28	

Fuente: Elaboración propia

El Cuadro N° 5 presenta los valores de concentración promedio de arsénico en comparación con los límites: Nivel de efecto más bajo y Nivel de efecto severo que dicta la referencia estadounidense: “Guía técnica para detectar sedimentos contaminados”.

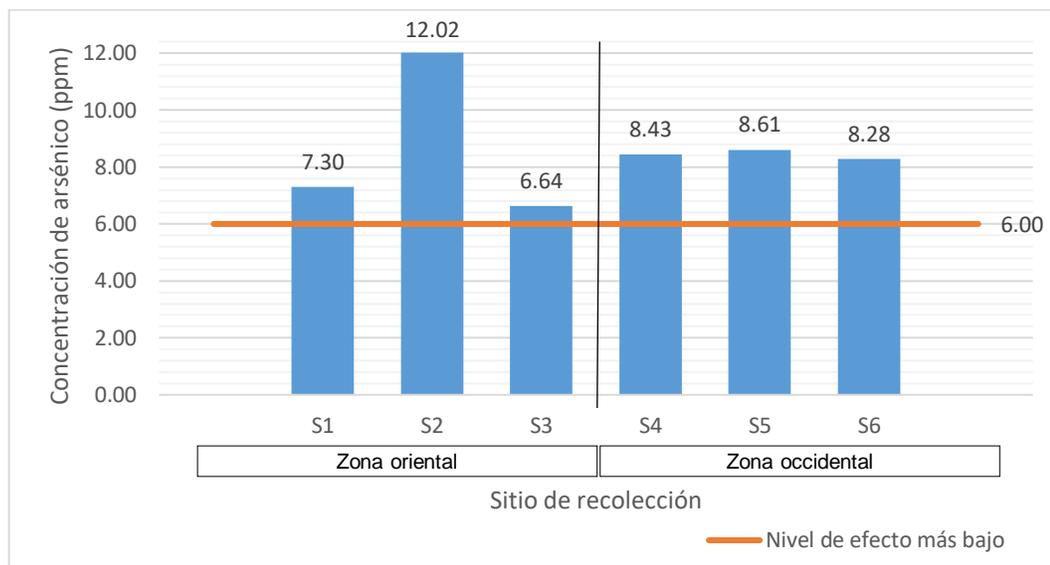


Figura N° 6. Comparación de la concentración promedio de arsénico con respecto a la Guía técnica para detectar sedimentos contaminados.

En la Figura N° 6 la concentración promedio de arsénico por sitio de muestreo se representa con barras y el valor de Nivel de efecto más bajo que establece la normativa está representado por una línea horizontal.

Todos los valores promedio sobrepasan el límite (Nivel de efecto más bajo) establecido por la normativa, aunque no exceden el Nivel de efecto severo que es 33 ppm de arsénico; se dictaminó contaminación moderada en los sedimentos analizados.

El valor de concentración de arsénico se ve afectado por diferentes factores: contaminación antropogénica, que aportan las comunidades cercanas a la zona así como altas concentraciones de arsénico pueden deberse al origen mismo de los suelos, atribuibles específicamente a los de origen volcánico por ejemplo, debido a esto, las personas que consumen productos provenientes de la Bahía pueden verse afectadas porque algunos metales se acumulan en el organismo perjudicando de gran manera la salud, causando una disminución de la producción de glóbulos rojos y blancos, irritaciones severas en la piel y fuertes daños a nivel respiratorio.

5.2.2 Resultado del análisis de cobre. (ver Anexo N° 8)

En el caso del cobre, los valores promedio encontrados en los sedimentos de los sitios estudiados, se presentan en el Cuadro N° 6.

Cuadro N° 6. Resultados del análisis de cobre en las muestras de sedimento de manglar clasificados según la normativa estadounidense.

Sitio de recolección	Muestra	Concentración Promedio (ppm)	Normativa ⁽⁸⁾ ⁽⁹⁾
Desembocadura del río Grande de San Miguel	S1	18.07	Nivel de efecto más bajo: 16 ppm; Nivel de efecto severo: 110 ppm
Lado norte de la desembocadura del río Grande de San Miguel	S2	9.80	
Isla Samuria	S3	24.89	
Canal de Barias	S4	27.03	
Desembocadura del río San Lucas	S5	19.05	
Canal de Comunidad Puerto Ramírez	S6	17.25	

Fuente: Elaboración propia

El Cuadro N° 6 presenta los valores de concentración promedio de cobre en comparación con los límites: Nivel de efecto más bajo y Nivel de efecto severo que dicta la referencia estadounidense: “Guía técnica para detectar sedimentos contaminados”.

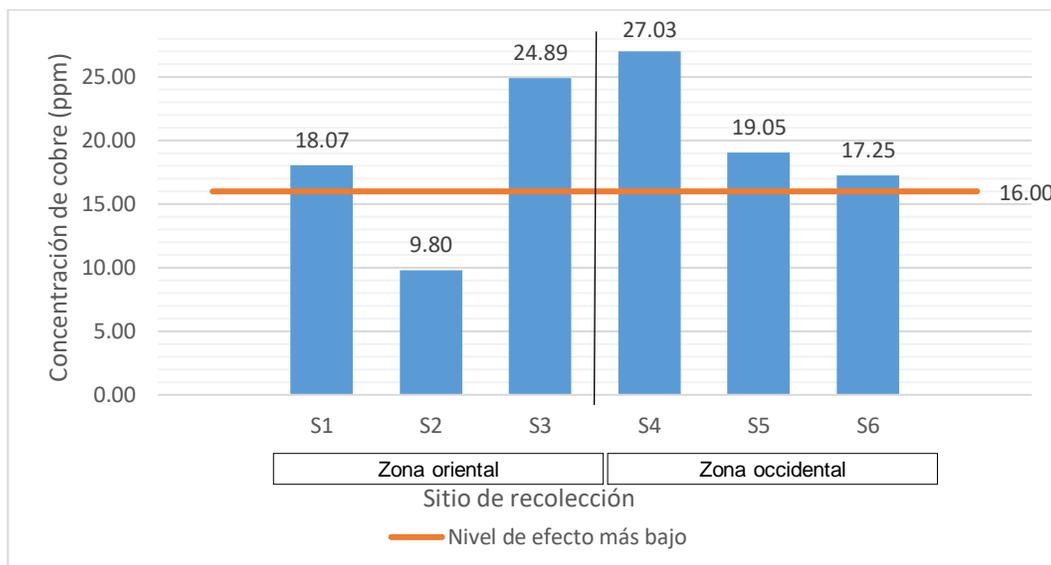


Figura N° 7. Comparación de la concentración promedio de cobre con respecto a la Guía técnica para detectar sedimentos contaminados.

En la Figura N° 7 la concentración promedio de cobre por sitio de muestreo se representa con barras y el valor de Nivel de efecto más bajo que establece la normativa para cobre está representado por una línea horizontal.

Exceptuando al S2 (Lado norte de la desembocadura del Rio Grande de San Miguel), todos los valores promedio sobrepasan el límite Nivel de efecto más bajo, establecido por la normativa, aunque ningún valor excede el Nivel de efecto severo 110.0 ppm de cobre; para dicho metal, se reportó una contaminación moderada en los sedimentos analizados.

Como se observa en la Figura N° 7, son los sitios que pertenecen a la zona occidental de la Bahía de Jiquilisco los que evidencian las concentraciones más altas de cobre, esto se debe a características propias del área como, la incidencia directa de contaminación por las comunidades cercanas a la zona u otros factores que deben tomarse en cuenta para futuras evaluaciones.

Si bien se sabe que el cobre es un elemento esencial para los organismos vivos, también resulta perjudicante en concentraciones inadecuadas, lo que puede causar daños graves en el hígado y riñones.

5.2.3 Resultados del análisis de cromo. (ver Anexo N° 8)

Para la representación de los valores promedio encontrados en los sedimentos en los sitios en estudio, se muestra el Cuadro N° 7.

Cuadro N° 7. Resultados del análisis de cromo en las muestras de sedimento de manglar clasificados según la normativa estadounidense.

Sitio de recolección	Muestra	Concentración Promedio (ppm)	Normativa ⁽⁸⁾ ⁽⁹⁾
Desembocadura del río Grande de San Miguel	S1	2.47	Nivel de efecto más bajo: 26 ppm; Nivel de efecto severo: 110 ppm
Lado norte de la desembocadura del río Grande de San Miguel	S2	3.56	
Isla Samuria	S3	2.07	
Canal de Barias	S4	2.70	
Desembocadura del río San Lucas	S5	1.69	
Canal de Comunidad Puerto Ramírez	S6	2.15	

Fuente: Elaboración propia

El Cuadro N°7 presenta los valores de concentración promedio de cromo en comparación con los límites: Nivel de efecto más bajo y Nivel de efecto severo que dicta la referencia estadounidense: "Guía técnica para detectar sedimentos contaminados".

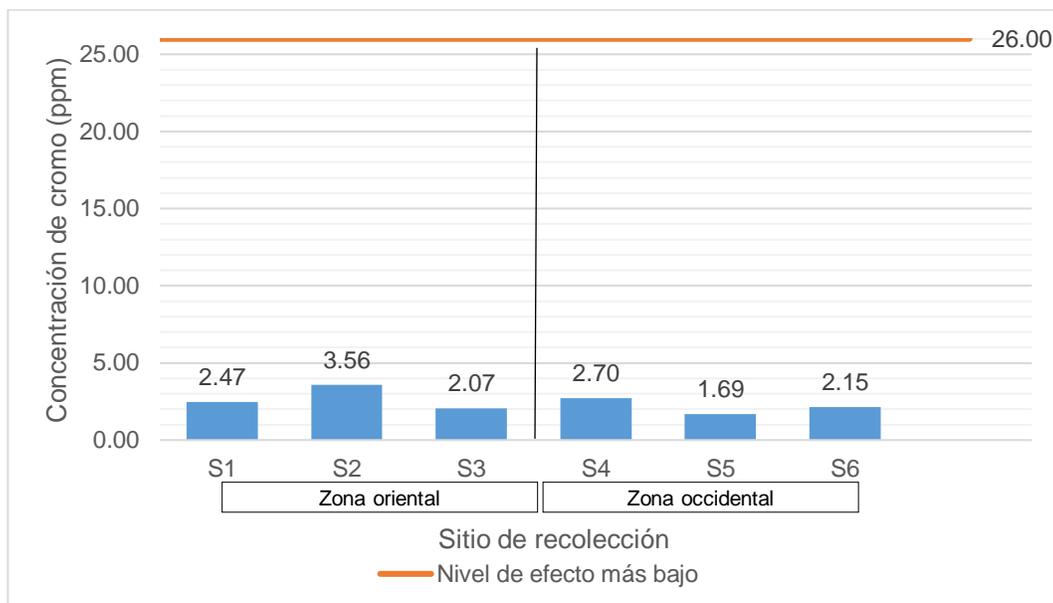


Figura N° 8. Comparación de la concentración promedio de cromo con respecto a la Guía técnica para detectar sedimentos contaminados.

En la Figura N° 8 la concentración promedio de cromo por sitio de muestreo se representa con barras y el valor de Nivel de efecto más bajo que establece la normativa para cromo está representado por una línea horizontal.

Todos los valores promedio de las concentraciones están por debajo del límite (Nivel de efecto más bajo) establecido en la normativa; si bien, para dicho metal no se encontró contaminación en los sitios analizados.

Las concentraciones de cromo son menores al valor 26 ppm (Nivel de efecto más bajo), existe la posibilidad que el cromo encontrado provenga del tipo de suelo de la zona, ya que suelos de origen volcánico tienen cierta concentración normal de algunos metales.

De ahí la importancia de realizar monitoreos constantes de metales pesados en los sitios analizados debido a que, si los valores aumentan con el tiempo, se puede relacionar dichas concentraciones elevadas con actividades de origen antropogénico.

5.2.4 Resultados del análisis de hierro. (ver Anexo N° 8)

En el caso del hierro, los valores promedio encontrados en los sedimentos de los sitios estudiados se presentan en el Cuadro N° 8. Las concentraciones de hierro se presentan en porcentaje.

Cuadro N° 8. Resultados del análisis de hierro en las muestras de sedimento de manglar clasificados según la normativa estadounidense.

Sitio de recolección	Muestra	Concentración Promedio (%)	Normativa ⁽⁸⁾ ⁽⁹⁾
Desembocadura del río Grande de San Miguel	S1	1.50	Nivel de efecto más bajo: 2 %; Nivel de efecto severo: 4 %
Lado norte de la desembocadura del río Grande de San Miguel	S2	1.53	
Isla Samuria	S3	1.59	
Canal de Barías	S4	1.64	
Desembocadura del río San Lucas	S5	1.31	
Canal de Comunidad Puerto Ramírez	S6	1.23	

Fuente: Elaboración propia

El Cuadro N° 8 presenta los valores de concentración promedio de hierro en comparación con los límites: Nivel de efecto más bajo y Nivel de efecto severo que establece la referencia estadounidense: “Guía técnica para detectar sedimentos contaminados”.

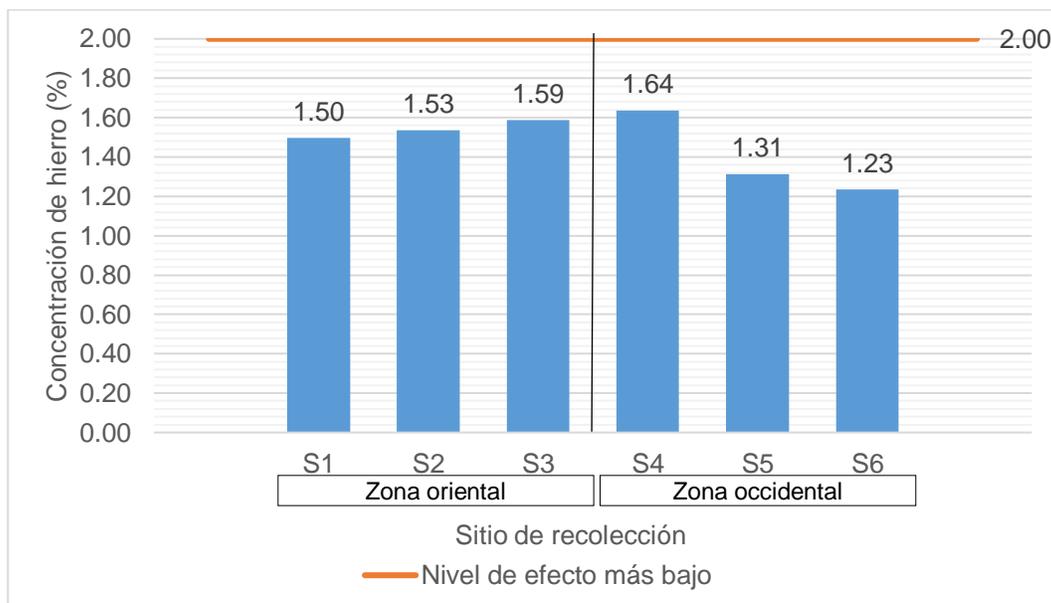


Figura N° 9. Comparación de la concentración promedio de hierro con respecto a la Guía técnica para detectar sedimentos contaminados.

En la Figura N° 9 la concentración promedio de hierro por sitio de muestreo se representa con barras y el valor de Nivel de efecto más bajo que establece la normativa está representado por una línea horizontal.

Todos los valores promedio de concentración están por debajo del límite (Nivel de efecto más bajo) establecido en la normativa; con respecto a hierro no se encontró contaminación en los sitios analizados.

Es importante hacer ver a la población que dichas cifras pueden seguir aumentando con el tiempo en caso de que exista una fuente de contaminación en la zona y pueden alcanzar concentraciones contaminantes.

En caso de periodos de exposición constantes con sedimentos contaminados esto presenta un serio problema para la salud humana, con consecuencias directas a la salud estas pueden ser: conjuntivitis, coriorretinitis, y retinitis, entre otros.

5.2.5 Resultados del análisis de níquel. (ver Anexo N° 8)

Para la representación de los valores promedio encontrados en los sedimentos en los sitios en estudio, se muestra el Cuadro N° 9.

Cuadro N° 9. Resultados del análisis de níquel en las muestras de sedimento de manglar clasificados según la normativa estadounidense.

Sitio de recolección	Muestra	Concentración Promedio (ppm)	Normativa ⁽⁸⁾ ⁽⁹⁾
Desembocadura del río Grande de San Miguel	S1	0.38	Nivel de efecto más bajo: 16 ppm; Nivel de efecto severo: 75 ppm
Lado norte de la desembocadura del río Grande de San Miguel	S2	0.61	
Isla Samuria	S3	0.91	
Canal de Barías	S4	0.48	
Desembocadura del río San Lucas	S5	0.26	
Canal de Comunidad Puerto Ramírez	S6	0.14	

Fuente: Elaboración propia.

El Cuadro N° 9 presenta los valores promedio de concentración de níquel en comparación con los límites: Nivel de efecto más bajo y Nivel de efecto severo que establece la referencia estadounidense: “Guía técnica para detectar sedimentos contaminados”.



Figura N° 10. Comparación de la concentración promedio de níquel con respecto a la Guía técnica para detectar sedimentos contaminados.

En la Figura N° 10 la concentración promedio de níquel por sitio de muestreo se representa con barras y el valor de Nivel de efecto más bajo que dicta la normativa está representado por una línea horizontal.

Todos los valores promedio de concentración están muy por debajo del límite Nivel de efecto más bajo establecido en la normativa; con respecto a níquel no se encontró contaminación en los sitios analizados.

En la Figura N° 10 se observa que las concentraciones promedio de níquel encontradas son muy bajas, estos valores de concentración no son considerados como contaminantes.

Se recomienda continuar monitoreando la zona y así descartar posibles fuentes de contaminación que incidan en la concentración de níquel directamente. Estos metales representan un riesgo a la salud, como severos fallos respiratorios, entre otros problemas antes mencionados.

5.2.6 Resultados del análisis de plomo. (ver Anexo N° 8)

En el caso del plomo, los valores promedio encontrados en los sedimentos de los sitios estudiados se presentan en el Cuadro N° 10.

Cuadro N° 10. Resultados del análisis de plomo en las muestras de sedimento de manglar clasificados según la normativa estadounidense.

Sitio de recolección	Muestra	Concentración Promedio (ppm)	Normativa ⁽⁸⁾ ⁽⁹⁾
Desembocadura del río Grande de San Miguel	S1	5.75	Nivel de efecto más bajo: 31 ppm; Nivel de efecto severo: 250 ppm
Lado norte de la desembocadura del río Grande de San Miguel	S2	4.89	
Isla Samuria	S3	7.46	
Canal de Barías	S4	8.94	
Desembocadura del río San Lucas	S5	8.68	
Canal de Comunidad Puerto Ramírez	S6	9.27	

Fuente: Elaboración propia

El Cuadro N° 10 presenta los valores promedio de concentración de plomo en comparación con los límites: Nivel de efecto más bajo y Nivel de efecto severo que dicta la referencia estadounidense: “Guía técnica para detectar sedimentos contaminados”.

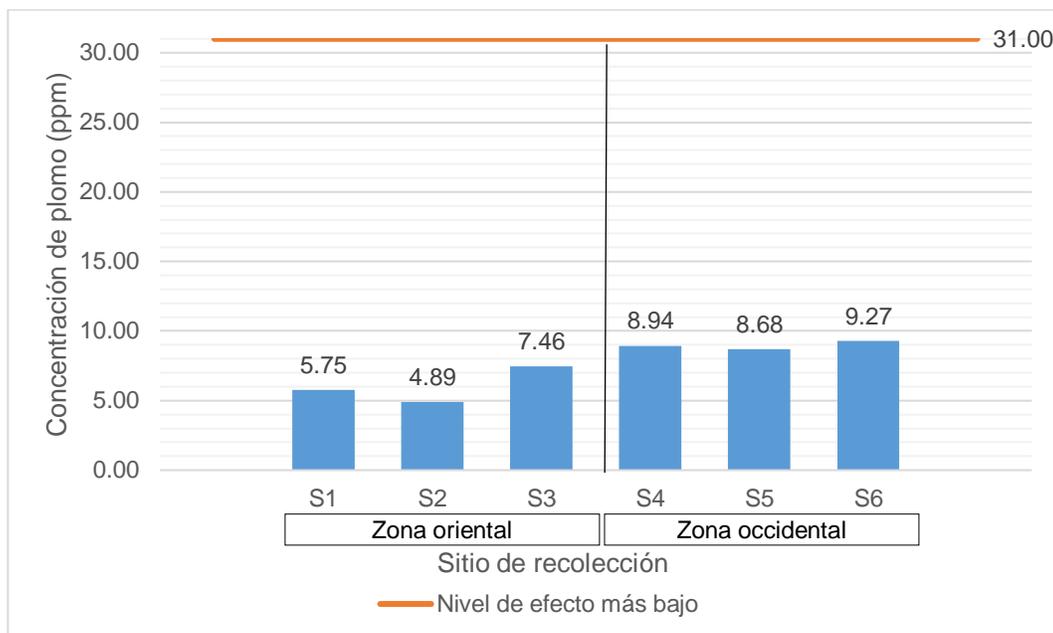


Figura N° 11. Comparación de la concentración promedio de plomo con respecto a la Guía técnica para detectar sedimentos contaminados.

En la Figura N° 11 la concentración promedio de plomo por sitio de muestreo se representa con barras y el valor de Nivel de efecto más bajo que establece la normativa está representado por una línea horizontal.

Todos los valores promedio de concentración están muy por debajo del límite Nivel de efecto más bajo establecido en la normativa; con respecto a plomo no se reportó contaminación en los sitios analizados.

Si bien, las concentraciones de plomo encontradas no superan lo establecido en la guía técnica, los resultados obtenidos son un signo de alerta que debe ser monitoreada periódicamente, y así ubicar las posibles fuentes de contaminación en la Bahía de Jiquilisco.

Dado que, el plomo es un metal altamente peligroso sí el grado de exposición es elevado, puede causar daños en el sistema nervioso, convulsiones, estado de coma, y en peores casos la muerte.

5.2.7 Resultados de los análisis de zinc. (ver Anexo N° 8)

Para la representación de los valores promedio encontrados en los sedimentos en los sitios estudiados, se muestra el Cuadro N° 11.

Cuadro N° 11. Resultados del análisis de zinc en las muestras de sedimento de manglar clasificados según la normativa estadounidense.

Sitio de recolección	Muestra	Concentración Promedio (ppm)	Normativa
Desembocadura del río Grande de San Miguel	S1	37.66	Nivel de efecto más bajo: 120 ppm; Nivel de efecto severo: 820 ppm
Lado norte de la desembocadura del río Grande de San Miguel	S2	33.38	
Isla Samuria	S3	45.10	
Canal de Barías	S4	51.79	
Desembocadura del río San Lucas	S5	46.77	
Canal de Comunidad Puerto Ramírez	S6	41.24	

Fuente: Elaboración propia

El Cuadro N° 11 presenta los valores promedio de concentración de zinc en comparación con los límites: Nivel de efecto más bajo y Nivel de efecto severo que establece la referencia estadounidense: “Guía técnica para detectar sedimentos contaminados”.

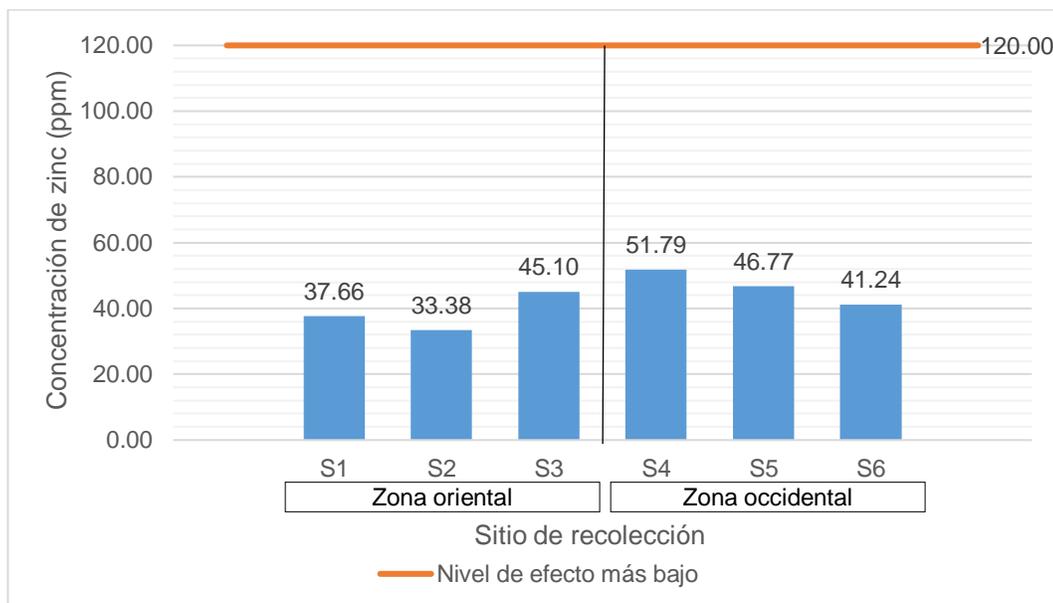


Figura N° 12. Comparación de la concentración promedio de zinc con respecto a la Guía técnica para detectar sedimentos contaminados.

En la Figura N° 12 la concentración promedio de zinc por sitio de muestreo se representa con barras y el valor de Nivel de efecto más bajo que establece la normativa para zinc está representado por una línea horizontal.

Todos los valores promedio de concentración están por debajo del límite (Nivel de efecto más bajo) establecido en la normativa; con respecto a zinc las concentraciones son muy bajas como para ser categorizadas como contaminantes, no obstante, al seguir aumentando estas cifras, sí pueden representar un peligro potencial para el ambiente y para las personas de las comunidades cercanas que dependen de los recursos de la Bahía de Jiquilisco para vivir.

Es conocido que la ingestión de dosis muy altas de zinc, aun durante un período breve de tiempo puede producir los siguientes efectos en los humanos: calambres estomacales, náusea y vómitos.

La ingestión de niveles altos durante varios meses puede producir anemia, daño del páncreas y disminución del tipo de colesterol beneficioso (HDL) en la sangre.

Tabla N° 2. Resultados de la determinación arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc en sedimentos de manglar

Sitio de recolección	Código de Muestra	Concentración Promedio (ppm)						
		Arsénico	Cobre	Cromo	Níquel	Plomo	Zinc	Hierro (%)
Bocana de la desembocadura del río Grande de San Miguel	S1	7.30	18.07	2.47	0.38	5.75	37.66	1.50
Lado norte de la desembocadura del río Grande de San Miguel	S2	12.02	9.80	3.56	0.61	4.89	33.38	1.53
Isla de Samuria	S3	6.64	24.89	2.07	0.91	7.46	45.10	1.59
Canal de barías	S4	8.43	27.03	2.70	0.48	8.94	51.79	1.64
Canal de desembocadura Río San Lucas	S5	8.61	19.05	1.69	0.26	8.68	46.77	1.31
Canal de la Comunidad Puerto Ramírez	S6	8.28	17.25	2.15	0.14	9.27	41.24	1.23

Fuente propia

En la Tabla N° 2 se presenta una recopilación de los resultados de concentraciones promedio de los metales analizados por sitio de muestreo, los valores para arsénico y cobre son los que sobrepasaron el nivel de efecto más bajo que establece la normativa estadounidense para detectar sedimentos contaminados.

Los valores de la Tabla N° 2 de concentración para los metales zinc y hierro, son los que no están categorizados como contaminantes, pero si su concentración sigue incrementando gradualmente, representará un peligro para la fauna y la población local. Los valores de concentración para los metales cromo, níquel y plomo; son los que tienen concentraciones demasiado bajas para causar peligro en el ser humano.

5.3 Análisis estadístico

Con el propósito de evaluar el comportamiento de los datos experimentales obtenidos en el análisis sobre metales pesados, el estudio se dividió estadísticamente en 3 etapas:

- En la primera etapa, se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov, es una prueba de bondad de ajuste, la cual permitió determinar la distribución normal o no normal de las muestras analizadas, y así con el resultado saber interpretar de forma acerrada los datos (Ver tabla N° 3), dicha prueba arrojó que el comportamiento no es normal.

- En la segunda etapa, debido a que las muestras provenían de una distribución no normal, se utilizó la prueba Kruskal-Wallis, la cual, es no paramétrica y análoga a la prueba paramétrica ANOVA de una vía. Kruskal-Wallis permite conocer si existe diferencia significativa entre las concentraciones de los metales analizados de los diferentes sitios de muestreo, y con esto, aceptar o refutar las hipótesis planteadas. (Ver Tabla N° 4)

- En la tercera etapa, se aplicó el análisis de conglomerados, el cual es una técnica multivariante que permitió agrupar variables con las que se pueda aplicar la máxima homogeneidad en cada grupo y la mayor diferencia entre grupos.

Para ello, las variables fueron los datos de concentraciones de los metales arsénicos, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc con respecto a los seis sitios

de muestreo. Para facilitar la comprensión de este análisis se utilizó su representación gráfica llamada Dendograma. (Ver Figura N° 13).

5.3.1 Resultado de la prueba de Kolmogorov-Smirnov

Tabla N° 3. Prueba Kolmogorov-Smirnov para las concentraciones promedio de arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc en las muestras de sedimento de manglar.

Elemento	Parámetros normales		Máximas diferencias extremas			Sig. Asintótica (p valor)
	Media	Desv. Desviación	Absoluto	Positivo	Negativo	
Arsénico	8.54630	1.900035	0.237	0.237	-0.115	0.000
Cobre	19.34870	7.276876	0.099	0.099	-0.096	0.020
Cromo	2.44111	1.112605	0.160	0.160	-0.093	0.001
Hierro	1.46685	0.223740	0.156	0.088	-0.156	0.002
Níquel	0.55000	0.574808	0.185	0.185	-0.169	0.000
Plomo	7.50111	1.889547	0.137	0.076	-0.137	0.014
Zinc	42.65759	7.889059	0.168	0.168	-0.136	0.001

Fuente propia

En la Tabla N° 3 se observan los resultados de la prueba Kolmogorov-Smirnov, es importante resaltar el valor de significancia asintótica de la columna número 7, ya que todos los valores por cada metal analizado están por debajo de $p < 0.05$ que establece la prueba, con este resultado, se define que las muestras analizadas provienen de una distribución no normal, debido a la naturaleza de dichas muestras que están influenciadas por diferentes factores únicos para cada

punto y poco repetibles entre ellos (corrientes o mareas, ríos o afluentes que caracterizan las concentraciones para cada elemento estudiado).

Por lo anterior, se concluyó que el mejor camino para la interpretación estadística de datos es la prueba de Kruskal-Wallis, la que permitió hacer una comparación entre varias medias.

5.3.2 Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis

Tabla N° 4. Prueba Kruskal-Wallis para las concentraciones promedio de arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc en las muestras de sedimento de manglar.

Elemento	H de Kruskal-Wallis	Grados de libertad	Sig. Asintótica (p valor)
Arsénico	37.055	5	0.000
Cobre	31.870	5	0.000
Cromo	13.226	5	0.021
Hierro	24.013	5	0.000
Níquel	14.066	5	0.015
Plomo	41.045	5	0.000
Zinc	27.363	5	0.000

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla N° 4 evidencia los resultados del análisis de Kruskal-Wallis, la que no asume la normalidad de las muestras, dicha prueba es idónea porque los datos provienen de una distribución no normal.

Los valores de significancia asintótica (p valor) obtenidos, se observan en la cuarta columna de la tabla y en color rojo, se comprueba que todos son menores a $p < 0.05$ que evidencia la prueba, rechazando la hipótesis nula y aceptándose la

hipótesis alternativa; que establece que la concentración de un sitio es significativamente diferente entre las medias de la concentración de arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc en el análisis de sedimentos de manglar.

Es más notorio la valides de la hipótesis alternativa al observar los gráficos de concentración promedio de cada metal analizados anteriormente, los cuales permiten visualizar como las concentraciones de metales encontradas difieren entre cada sitio, siendo al menos la concentración de un sitio menor o mayor con respecto a la tendencia de los sitios restantes, dado que, cada sitio tiene variables que pueden llegar a afectar dichas concentraciones de manera única.

Esas variables pueden ser: el efecto del oleaje en un sitio debido a que se encuentra más cercano a la costa marina, la cantidad y tipo de flora que está presente en cada sitio y que sirve como barrera protectora, la cercanía de cada sitio con respecto a las comunidades que viven en la zona, el uso de los canales para transportarse, así también como la quema de combustibles derivados del petróleo utilizados por los lugareños para transportase, cultivos cercanos a la bahía, así como la afluencia de desembocaduras de ríos, entre otros aspectos.

Con lo antes mencionado, se pretende resaltar las variables que pueden influir entre cada sitio de muestreo seleccionado, y así justificar la elección de la hipótesis aceptada.

5.3.3 Resultados del análisis de conglomerados (cluster)

Se aplicó el análisis de conglomerados utilizando el programa IBM SPSS Statistics 25, con el propósito de identificar la mayor homogeneidad de los resultados entre cada uno de los sitios. En la Figura N° 13 se observa el dendograma, el cual es una representación gráfica de los resultados obtenidos por la prueba, lo que permite visualizar de forma cualitativa la distribución de los datos.

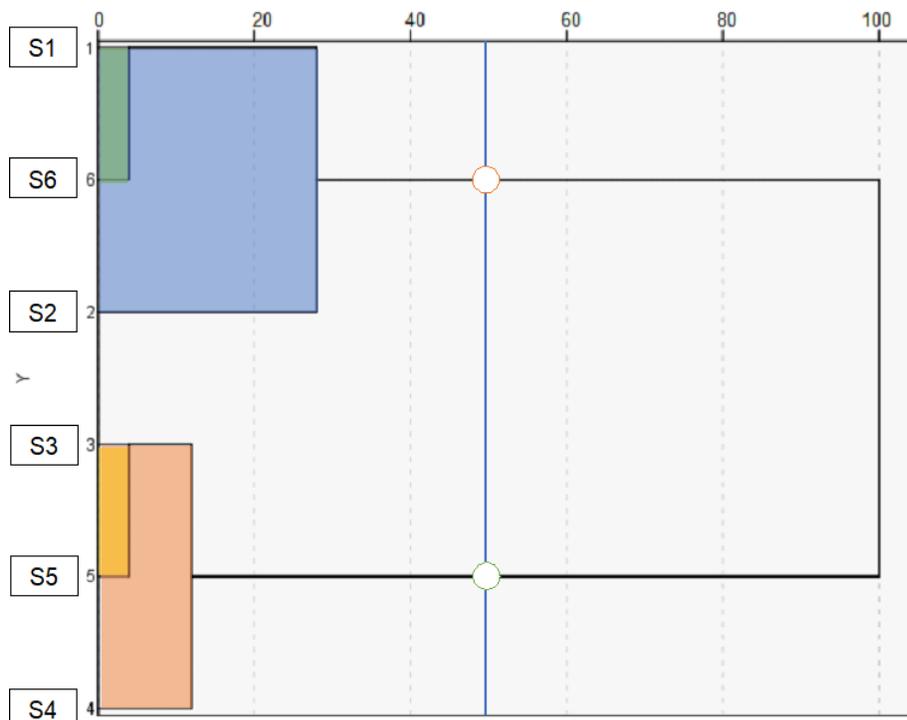


Figura N° 13. Dendrograma de resultados de concentraciones promedio de arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc en sedimentos de manglar.

Al realizar un corte al 50% se puede observar (en la Figura N° 13), que el dendrograma está dividido en dos conglomerados principales: el superior sombreado de color azul y el inferior sombreado de color naranja.

- El conglomerado superior de color azul agrupa a los sitios de muestreo S1 (Desembocadura del río Grande de San Miguel) con el sitio S2 (Lado norte de la desembocadura del río Grande de San Miguel) y el sitio S6 (Canal de Comunidad Puerto Ramírez); se forma un sub-conglomerado en los sitios S1 y S6 sombreado de color verde, el cual representa que, entre estos sitios existe mayor similitud en sus resultados, lo anterior debido a que comparten características propias de cada lugar que influyen directamente en la concentración de los metales analizados, al observar en el Anexo N°1, la Figura N° 14 (Mapa de la Bahía de Jiquilisco), muestra que ambos sitios se

encuentran en desembocaduras de ríos, lo que representa un factor influyente a considerar para que dichas concentraciones sean muy similares.

- El conglomerado inferior de color naranja agrupa el sitio S3 (Isla Samuria), sitio S4 (Canal de Barías) y el sitio S5 (Desembocadura del río San Lucas); donde se forma un sub-conglomerado entre S3 y S5 sombreado de color amarillo, con ello se repite el comportamiento del conglomerado superior, en donde las variables propias de cada sitio afectan de forma directa las concentraciones de los metales en el sedimento, evidenciando nuevamente que existen diferencias significativas entre los resultados obtenidos para estos puntos muestreados.

CAPITULO VI
CONCLUSIONES

6.0 CONCLUSIONES

1. De acuerdo con los resultados obtenidos en la cuantificación de metales por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica en sedimentos de manglar de la Bahía de Jiquilisco, se dictaminó que para arsénico y cobre existe una contaminación leve.
2. Los factores que afectan en forma directa la acumulación de los metales en el sedimento para cada sitio son: afluentes de desechos industriales o de aguas residuales provenientes de comunidades aledañas, la cercanía a desembocaduras de ríos, el uso de combustibles fósiles utilizados para el transporte de los lugareños, entre otros.
3. Los datos obtenidos para los metales (cromo, níquel, hierro, zinc, plomo) evidencian que las concentraciones promedio obtenidas para cada uno de ellos se encuentran por debajo del criterio Nivel de efecto más bajo que establece la guía antes mencionada, por lo anterior pueden clasificarse como no contaminados.
4. Los resultados del análisis de conglomerados arrojaron la mayor homogeneidad entre los valores de concentración para las muestras analizadas, agrupando aquellos sitios que comparten características muy similares entre sí.
5. Esta investigación pone en evidencia la importancia de realizar estudios enfocados en la temática de contaminación en los recursos naturales, los resultados muestran que la contaminación es un problema grave que debe ser abordado con seriedad y buen juicio.

CAPITULO VII
RECOMENDACIONES

7.0 RECOMENDACIONES

1. A las organizaciones que protegen el medio ambiente en El Salvador, concientizar a la población en general, sobre la recuperación de los ecosistemas del mangle; ya que, si bien es cierto los resultados evidencian contaminación leve para algunos metales no deja de ser una alerta a considerar para la implementación de medidas serias.
2. Que investigadores de la Universidad de El Salvador den seguimiento a este tipo de estudios para que se recolecte información que establezca una línea base que registre datos de los monitoreos de metales pesados en sedimento de manglar a realizarse en un futuro con la finalidad que exista un parámetro de referencia y comparación para sedimentos contaminados en El Salvador.
3. Al gobierno de El Salvador, gestionar una normativa en donde se contemplen límites máximos y mínimos de concentración de metales pesados en sedimentos de manglar para el litoral de las costas salvadoreñas.
4. Al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, que tome el papel de realizar monitoreos periódicos de las concentraciones de metales en sedimentos de manglar, contemplando tanto, la época lluviosa como la época seca.

BIBLIOGRAFIA

1. Aragón Briceño, C. (2011). Evaluación de un método analítico para la determinación de níquel y plomo en sedimento de mar por espectroscopia de absorción atómica. [en línea] Ingeniería–Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán. Disponible en: <http://www.revista.ingenieria.uady.mx/> [2018, 29 de abril].
2. Arnal, D.; Girones Muriel, A. y López, S. (2015). No todo es normal. [en línea]. Anestesiari. Disponible en: <http://anestesiari.org> [2018, 27 de julio].
3. Association of Official Analytical Chemistry (AOAC). (1989). Official Methods of Analysis 14th Ed. United State of America: Washington DC.
4. ATSDR (2000). Resumen de Salud Pública: Arsénico. [en línea]. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU. Disponible en: www.atsdr.cdc.gov/es. [2018, 02 de febrero].
5. ATSDR (2000). Resumen de Salud Pública: Cobre. [en línea]. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU. Disponible en: www.atsdr.cdc.gov/es. [2018, 02 de febrero].
6. ATSDR (2000). Resumen de Salud Pública: Cromo. [en línea]. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU. Disponible en: www.atsdr.cdc.gov/es. [2018, 02 de febrero].
7. ATSDR (2000). Resumen de Salud Pública: Níquel. [en línea]. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU. Disponible en: www.atsdr.cdc.gov/es. [2018, 02 de febrero].

8. ATSDR (2000). Resumen de Salud Pública: Plomo. [en línea]. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU. Disponible en: www.atsdr.cdc.gov/es. [2018, 02 de febrero].
9. ATSDR (2000). Resumen de Salud Pública: Zinc. [en línea]. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU. Disponible en: www.atsdr.cdc.gov/es. [2018, 02 de febrero].
10. Barraza, J. (2006). Identificación de Moluscos Marinos Comestibles en El Salvador. [en línea]. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Disponible en: www.marn.gov.sv [2019, 19 de mayo].
11. Bateman, J. V. (1970). Nutrición Animal, Manual de Métodos Analíticos. México: México D. F.
12. Chicas Batres, F. A. (2016). Composición florística y estructura del manglar de la Bahía de La Unión, El Salvador. [en línea]. CBUES. Disponible en: <http://ri.ues.edu.sv> [2018, 20 de febrero].
13. Chiquillan, R. (2014). La prueba de Kruskal Wallis. [en línea]. Universidad Peruana de Cayetano Heredia. Disponible en: <https://www.slideshare.net> [2018, 28 julio].
14. Consumer EROSKI (2001). Metales pesados: toda una amenaza. [en línea]. Revista Consumer. Disponible en: <http://revista.consumer.es> [2018, 05 de febrero].
15. Cornejo, T. (2009). Aves de los manglares. [en línea] Disponible en: <http://lafaunadeelsalvador.blogspot.com> [2018, 02 de mayo]

16. Corrales Vanegas, M. (2015). Acumulación de metales pesados en bivalvos y sus efectos tóxicos en la salud humana: Perspectivas para el estudio en Costa Rica. [en línea]. Costa Rica: Universidad de Costa Rica. Disponible en: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/pensamiento-actual/article/view/22603> [2018, 13 de mayo].
17. Escalante, S. (2014). Determinación de la presencia de cromo hexavalente en muestras de agua del lago de Ilopango por el método de absorción atómica. [en línea] Disponible en: <http://ri.ues.edu.sv/> [2019, 13 de febrero].
18. Fernández Cadena, J. C. (2014). Concentración de metales pesados en los sedimentos de la superficie del manglar de la costa noroeste de América del Sur. [en línea]. Marine Pollution Bulletin. Disponible en: www.elsevier.com/ [2018, 28 de abril].
19. García Bellido, R.; González Such, J. y Jornet Meliá, J. M. (2010). SPSS: Pruebas no paramétricas. [en línea]. Universidad de Valencia. Disponible en: <http://www.uv.es> [2018, 25 de julio].
20. Garrido, J.L. (2000). Evaluación de riesgos en impacto ambiental. [en línea]. Escuela de postgrado. Facultad de ciencias naturales. Salta. Argentina. Disponible en: www.ecured.cu [2019, 19 de mayo].
21. J. Valdez (2009). Composición elemental y contenido de metales en sedimentos marinos de la bahía Mejillones del Sur, Chile: evaluación ambiental de la zona costera. [en línea]. REDALYC. Disponible en: <http://www.redalyc.org/> [2018, 20 de febrero].
22. Jiménez Pérez, I. (2004). Ficha informativa - complejo Bahía de Jiquilisco. [en línea]. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Disponible en: <http://www.marn.gob.sv> [2018, 26 de enero].

23. Johnson, L. E. (2018). Cobre. [en línea]. Manual MSD. Disponible en: <https://www.msdmanuals.com/> [2018. 19 de julio].
24. López, B. (2015). Cuantificación de plomo y arsénico en el arroz del programa de alimentación y salud escolar de El Salvador. [en línea] Disponible en: <http://ri.ues.edu.sv/> [2019, 13 de febrero].
25. Martínez Miranda, M. D. (2008). Análisis cluster en SPSS. [en línea]. Universidad de Granada: Departamento Estadística e I.O. Disponible en: <https://www.ugr.es/> [2018, 01 de agosto].
26. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2016). Manglares. [en línea]. MARN. Disponible en: www.marn.gob.sv/manglares [2018,19 de abril].
27. New York State, Department of Environmental Conservation, Division of Fish, Wildlife and Marine Resources (2014). Screening and Assessment of Contaminated sediment. [en línea]. Division of Fish, Wildlife and Marine Resources. Disponible en: <https://www.dec.ny.gov/> [2018, 14 de marzo].
28. New York State, Department of Environmental Conservation, Division of Fish, Wildlife and Marine Resources (1993). Technical Guidance for Screening Sediment. [en línea]. Division of Fish, Wildlife and Marine Resources. Disponible en: <https://www.lm.doe.gov/> [2018,28 de abril].
29. New York State, Department of Environmental Conservation, Division of Fish, Wildlife and Marine Resources (2014). Screening and Assessment of Contaminated sediment. [en línea]. Division of Fish, Wildlife and Marine Resources. Disponible en: <https://www.dec.ny.gov/> [2018, 14 de marzo].
30. Pérez López, C. (2005). Muestreo estadístico: concepto y problemas resueltos. España: Pearson Educación.

31. Propiedades químicas del Hierro - Efectos del Hierro sobre la salud - Efectos ambientales del Hierro. (2003). [en línea]. Lenntech. Disponible en: <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/fe.htm#ixzz583B59ha8>. [2018, 24 de febrero].
32. Repetto, M. y Sanz, P. ()1995. Glosario de términos toxicológicos. [en línea]. Asociación Española de Toxicología. Disponible en: www.osman.es [2019, 19 de mayo].
33. Shimadzu Corporation. (2012). Atomic absorption spectrophotometry cookbook. Cambridge: Autor.
34. Vásquez Lima, S. (2014). Cromo. [en línea]. Instituto Linus Pauling. Disponible en: <http://lpi.oregonstate.edu/es/mic/minerales/cromo> [2018, 19 de julio].
35. Walpole, E. R. y Myers, R. H. (2012). Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. México: Pearson Educación.

GLOSARIO

Anadara tuberculosa: es un molusco bivalvo de la familia Arcidae. (10)

Bioacumulación, potencial de: Capacidad de un organismo para concentrar una sustancia, directamente desde el medio ambiente o, indirectamente a través de los alimentos. (32)

Bioacumulación: Aumento progresivo de la cantidad de una sustancia en un organismo o parte de él, como consecuencia de que el ritmo de absorción supera la capacidad del organismo para eliminar la sustancia. Sinónimo para bioconcentración. (32)

Carcinógeno: Agente físico, químico o biológico capaz de incrementar la incidencia de neoplasias malignas. Sinónimo de cancerígeno.

Concentración toxica: Concentración de una sustancia en el órgano crítico a la que un porcentaje especificado de la población expuesta ha alcanzado la concentración crítica. (16)

Contaminación antropogénica: El término antropogénico se refiere a los efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas a diferencia de los que tienen causas naturales sin influencia humana y usualmente están en las proximidades de centros urbanos y polos industriales, donde los contaminantes están concentrados en pequeños volúmenes del aire, agua y suelo. (20)

Contaminante: Componente indeseable de un alimento, medicamento o cualquier otro producto, que puede entrañar riesgo al usuario consumidor. (20)

Espectrometría de absorción atómica: es una técnica para determinar la concentración de un elemento metálico determinado en una muestra. Puede utilizarse para analizar la concentración de más de 62 metales diferentes en una solución. (32)

Los sedimentos marinos: constituyen el mayor sumidero de carbono del planeta. Su formación se debe al depósito progresivo de materia orgánica procedente de ecosistemas terrestres o marinos en el fondo marino. (26)

Manglares: son especies de bosques de plantas leñosas que se desarrollan en lagunas, riberas y en costas tropicales protegidas del oleaje. Debido a su ubicación costera siempre están en contacto con cuerpos de agua de origen marino, o en combinación con el agua que llega a través de escorrentías o por la desembocadura de los ríos. Esta agrupación de árboles posee adaptaciones que les permite sobrevivir en terrenos anegados con intrusiones de agua salobre o salada. (26)

Metales pesados: Los metales pesados son un grupo de elementos químicos que presentan una densidad alta. Son en general tóxicos para los seres humanos y entre los más susceptibles de presentarse en el agua destacamos mercurio, níquel, cobre, plomo y cromo. (20)

Picolinato de cromo: tiene propiedades para adelgazar. Es un compuesto producido a partir de cromo y ácido picolínico. Su función en el metabolismo sirve para mejorar la absorción de los alimentos, desperdiciar menos partes y evitar la formación de grasas orgánicas. (6)

Zona Ramsar: La Convención sobre Zonas Húmedas, más conocida como Convención de Ramsar, es un tratado intergubernamental que establece marcos para acciones nacionales y para la cooperación entre países con el objetivo de promover la conservación de las zonas húmedas en el mundo. (26)

ANEXOS

ANEXO N° 1

MAPA DE UBICACIÓN DE SITIOS DE MUESTREO DE LA BAHÍA DE
JIKUILISCO



Figura N° 14. Mapa de la Bahía de Jiquilisco.

ANEXO N° 2

RECOLECCION Y PREPARACION DE LAS MUESTRAS DE
SEDIMENTOS DE MANGLAR



Selección del sitio de muestreo de sedimentos



Recolectar la muestra de sedimentos

Figura N° 15. Recolección y Tratamiento de muestras de sedimentos de manglar.



Codificación de la bolsa



Recolección de la muestra



Transporte de la muestra



Almacenamiento de la muestra

Hielera a
 $T \pm 4^\circ$

Bolsa de
polietileno

Figura N° 15. Continuación.



Ambientar las muestras



Rotular cajas Petri



Taraar cajas Petri



Pesar 50.0 ± 5.0 g de sedimento



Anotar peso de muestras



Colocar en estufa de aire circulante

Figura N° 16. Pretratamiento de las muestras.



Colocar los crisoles limpios y secos en el horno muflas



Sacer crisoles de porcelana y colocarlos en desecador



Pesar 4.000 ± 0.1 g de muestra de sedimento de manglar.



Pesar crisoles de vacíos y anotar su peso.



Pesar 4.000 ± 0.1 g de muestra de sedimento en un crisol.

Figura N° 17. Tratamiento de las muestras.



Colocar en horno mufla,
100°C/h hasta 500°C/2h.



Retirar los crisoles del horno
mufla.



Pesar los crisoles con las
muestras calcinadas



Colocarlos en un desecador
durante 30 minutos.



Anotar el peso del crisol más
muestra calcinada.

Figura N° 17. Continuación.



Solubilizar las cenizas con 2 mL de agua bidestilada.



Agregar 5 mL de ácido clorhídrico concentrado.



Agitar cuidadosamente para disolver las sales.



Agitar cuidadosamente para disolver las sales.



Enfriar los crisoles hasta alcanzar temperatura ambiente.

Figura N° 18. Preparación de las soluciones de muestra para las lecturas de los elementos.



Filtrar las soluciones en papel Whatman # 42.



Recibir el filtrado en balones volumétricos de 50.0 mL.



Aforar los balones volumétricos con agua bidestilada y homogenizar.



Realizar 3 lavados utilizando agua bidestilada.



Pasar las soluciones a tubos plásticos limpios y rotulados.

Figura N° 18. Continuación.



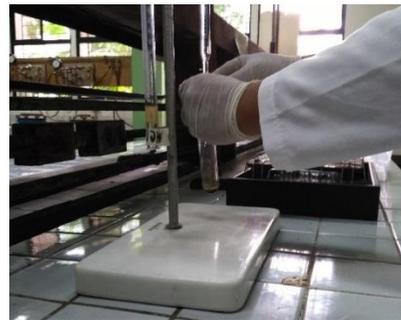
Pesar 0.500 ± 0.01 g de muestra de sedimento seca.



En un tubo de ensayo utilizando una balanza semianalítica.



Tapar el tubo de ensayo con un embudo y un vidrio de reloj.



Agregar 6.0 mL de ácido nítrico concentrado.

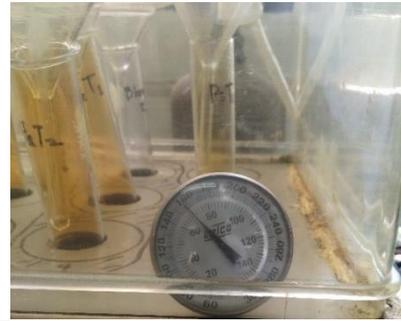


Dejar reposar los tubos de ensayo.

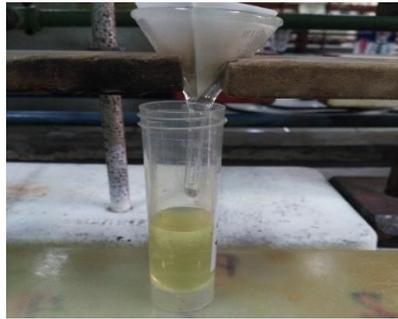
Figura N° 19. Preparación de las soluciones muestra para la cuantificación de arsénico.



Calentar a 80°C utilizando un baño de arena.



Durante 8 h o hasta desaparecer los vapores.



Filtrar con papel Whatman # 42 y recibir en tubo de plástico.



Sacar, enfriar y pasar a un balón volumétrico de 25.0 mL.



Almacenar las soluciones en refrigeración.

Figura N° 19. Continuación.

ANEXO N° 3

MATERIALES, CRISTALERIA, EQUIPO, REACTIVOS Y PREPARACION DE REACTIVOS PARA LA DETERMINACION DE ARSENICO, COBRE, CROMO, HIERRO, NIQUEL Y ZINC.

MATERIALES Y CRISTALERIA

- Agitadores de vidrio
- Balones volumétricos de 25.0 mL y 50.0 mL
- Beakers de 25 mL, 50 mL, 100 mL, y 250 mL
- Bolsas de polietileno con cierre hermético
- Colador plástico
- Crisoles de porcelana
- Embudo de vidrio
- Espátula de plástico
- Gradilla para tubos de ensayo
- Guantes
- Hielera y hielo
- Marcador permanente
- Mascarilla para gases
- Micropipetas de 5.0 y 10.0 mL
- Mortero y pistilo
- Pala plástica
- Papel filtro Whatman # 42
- Papel toalla
- Pipetas Pasteur
- Piseta plástica
- Probetas de 25 mL y 50 mL
- Puntas para Micropipetas
- Soporte de madera para filtrar
- Tubos plásticos de 50 mL FALCON

EQUIPOS

- Balanza analítica
- Balanza semianalítica

- Hotplate
- Mufla
- Espectrofotómetro de Absorción Atómica (Shimadzu) modelo AA-7000
- Unidad de Generador de Vapor de Hidruros
- Unidad de llama para espectrofotómetro de Absorción Atómica modelo AA-7000

REACTIVOS

- Ácido clorhídrico concentrado
- Ácido clorhídrico (1+1)
- Ácido nítrico concentrado
- Agua bidestilada
- Solución Estándar de 1000 ppm de arsénico
- Solución Estándar de 1000 ppm de cobre
- Solución Estándar de 1000 ppm de cromo
- Solución Estándar de 1000 ppm de hierro
- Solución Estándar de 1000 ppm de níquel
- Solución Estándar de 1000 ppm de plomo
- Solución Estándar de 1000 ppm de zinc
- Solución de nitrato de paladio (II)
- Solución de yoduro de potasio
- Solución de tetrahidrobtorato de sodio 0.5

PREPARACION DE REACTIVOS

- Preparación de 500 mL de solución de Hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 M
 1. Pesar 2.0 g de NaOH 1 M en un vaso de precipitado de 50 mL.
 2. Disolver con 20 mL de agua bidestilada y agitar hasta completa solubilización.
 3. Transferir a un balón volumétrico de 500.0 mL y aforar con agua bidestilada.

4. Homogenizar la solución.
- Preparación de 500 mL de solución de Tetrahidroborato de sodio (0.5 P/V)
 1. Pesar 2.5 g de Tetrahidroborato de sodio en un vaso de precipitado de 100 mL.
 2. Disolver con 50 mL de solución de NaOH 0.1 M, agitar hasta completa solubilización en un vaso de precipitado de 250 mL.
 3. Transferir a un balón volumétrico de 500.0 mL y aforar con solución de Hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 M.
 4. Agitar para homogenizar la solución.
 - Preparación de 500 mL de ácido clorhídrico (1:1)
 1. Medir 250 mL de ácido clorhídrico 1 N en una probeta de 250 mL.
 2. Transferir a un balón volumétrico de 500.0 mL.
 3. Aforar con agua bidestilada y homogenizar.
 - Preparación de solución de yoduro de potasio (Preparación reciente)
 1. Pesar 200 g de yoduro de potasio (KI) en un vaso de precipitado de 100 mL.
 2. Agregar 50 mL de agua bidestilada y agitar hasta completa solubilización.
 3. Transferir a un balón volumétrico de 1000.0 mL y llevar a volumen con agua bidestilada.
 4. Homogenizar la solución.
 - Preparación de 100 mL de solución de nitrato de paladio (II) (10 ppm de Pd)
 1. Disolver 0.108 g de Nitrato de paladio en 10 mL de Ácido nítrico (1+1).
 2. Llevar a 500.0 mL con agua y homogenizar.
 3. Agregar agua a 20 mL de esta solución y llevar a 200.0 mL.

ANEXO N° 4

**CALCULOS PARA LA PREPARACION DE SOLUCIONES STOCK Y
ESTANDARES PARA LOS ELEMENTOS**

A. Arsénico

- Cálculos para la preparación de las soluciones stock (100 ppb) de arsénico a partir de una concentración de 1000 ppm para cada elemento.

Ejemplo: Cálculo para la solución stock 1000 ppb de arsénico (As)

$$C_1V_1=C_2V_2 \rightarrow V_1=\frac{C_2V_2}{C_1}$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (1000 ppm de As)

C_2 = Concentración final (1 ppm = 1000 ppb de As)

V_2 = Volumen final (500.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 1000 ppm de As para la preparación de la solución stock (1 ppm = 1000 ppb de As).

$$V_1=\frac{1 \text{ ppm} \times 500 \text{ mL}}{1000 \text{ ppm}}$$

$$V_1=0.5 \text{ mL}$$

Ejemplo: Cálculo para la solución stock 100 ppb de arsénico (As)

$$C_1V_1=C_2V_2 \rightarrow V_1=\frac{C_2V_2}{C_1}$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (1000 ppb de As)

C_2 = Concentración final (100 ppb de As)

V_2 = Volumen final (250.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 1000 ppb de As para la preparación de la solución stock (100 ppb de As).

$$V_1=\frac{100 \text{ ppb} \times 250 \text{ mL}}{1000 \text{ ppb}}=25 \text{ mL}$$

- Cálculos para la preparación de las soluciones estándar arsénico a partir de la solución stock 100 ppb de arsénico

Ejemplo: Cálculo para la solución estándar 0.5 ppb de arsénico (As)

$$C_1V_1 = C_2V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1}$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (100 ppb de As)

C_2 = Concentración final (0.5 ppb de As)

V_2 = Volumen final (50.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 100 ppb de As para la preparación de la solución estándar (0.5 ppb de As).

$$V_1 = \frac{0.5 \text{ ppb} \times 50 \text{ mL}}{100 \text{ ppb}}$$

$$V_1 = 0.25 \text{ mL}$$

Ejemplo: Cálculo para la solución estándar 1 ppb de arsénico (As)

$$C_1V_1 = C_2V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1}$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (100 ppb de As)

C_2 = Concentración final (1.0 ppb de As)

V_2 = Volumen final (50.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 100 ppb de As para la preparación de la solución estándar (1.0 ppb de As).

$$V_1 = \frac{1.0 \text{ ppb} \times 50 \text{ mL}}{100 \text{ ppb}}$$

$$V_1 = 0.5 \text{ mL}$$

Ejemplo: Cálculo para la solución estándar 2.0 ppb de arsénico

$$C_1V_1 = C_2V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1}$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (100 ppb de As)

C_2 = Concentración final (2.0 ppb de As)

V_2 = Volumen final (50.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 100 ppb de As para la preparación de la solución estándar (2.0 ppb de As).

$$V_1 = \frac{2.0 \text{ ppb} \times 50 \text{ mL}}{100 \text{ ppb}}$$

$$V_1 = 1.0 \text{ mL}$$

Ejemplo: Cálculo para la solución estándar 5 ppb de arsénico (As)

$$C_1 V_1 = C_2 V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (100 ppb de As)

C_2 = Concentración final (5.0 ppb de As)

V_2 = Volumen final (50.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 100 ppb de As para la preparación de la solución estándar (5.0 ppb de As).

$$V_1 = \frac{5.0 \text{ ppb} \times 50 \text{ mL}}{100 \text{ ppb}}$$

$$V_1 = 2.5 \text{ mL}$$

B. Cobre

- Cálculos para la preparación de las soluciones stock (20 ppm) de cobre cada una a partir de una concentración de 1000ppm para cada elemento.

Ejemplo: Cálculo para la solución stock 20 ppm de cobre (Cu)

$$C_1 V_1 = C_2 V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (1000 ppm de Cu)

C_2 = Concentración final (20 ppm de Cu)

V_2 = Volumen final (250.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 1000 ppm de Cu para la preparación de la solución stock (20 ppm de Cu).

$$V_1 = \frac{20 \text{ ppm} \times 250 \text{ mL}}{1000 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 5 \text{ mL}$$

- Cálculos para la preparación de las soluciones estándar cobre a partir de la solución stock 20 ppm de cobre

Ejemplo: Cálculo para la solución estándar 0.2 ppm de cobre (Cu)

$$C_1 V_1 = C_2 V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (20 ppm de Cu)

C_2 = Concentración final (0.2 ppm de Cu)

V_2 = Volumen final (100.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 20 ppm de Cu para la preparación de la solución estándar (0.2 ppm de Cu).

$$V_1 = \frac{0.2 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}}{20 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 1.0 \text{ mL}$$

Ejemplo: Cálculo para la solución estándar 1.0 ppm de cobre (Cu)

$$C_1 V_1 = C_2 V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (20 ppm de Cu)

C_2 = Concentración final (1.0 ppm de Cu)

V_2 = Volumen final (100.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 20 ppm de Cu para la preparación de la solución estándar (1.0 ppm de Cu).

$$V_1 = \frac{1.0 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}}{20 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 5.0 \text{ mL}$$

Ejemplo: Cálculo para la solución estándar 2.0 ppm de cobre (Cu)

$$C_1V_1=C_2V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1}$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (20 ppm de Cu)

C_2 = Concentración final (2.0 ppm de Cu)

V_2 = Volumen final (100.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 20 ppm de Cu para la preparación de la solución estándar (2.0 ppm de Cu).

$$V_1 = \frac{2.0 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}}{20 \text{ ppm}}$$

$V_1 = 10.0 \text{ mL}$

Ejemplo: Cálculo para la solución estándar 4.0 ppm de cobre (Cu)

$$C_1V_1=C_2V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1}$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (20 ppm de Cu)

C_2 = Concentración final (4.0 ppm de Cu)

V_2 = Volumen final (100.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 20 ppm de Cu para la preparación de la solución estándar (4.0 ppm de Cu).

$$V_1 = \frac{4.0 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}}{20 \text{ ppm}}$$

$V_1 = 20.0 \text{ mL}$

C. Cromo

- Cálculos para la preparación de las soluciones stock (40 ppm) de cromo cada una a partir de una concentración de 1000 ppm para el elemento.

Ejemplo: Cálculo para la solución stock 20 ppm de cromo (Cr)

$$C_1V_1=C_2V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1}$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (1000 ppm de Cr)

C_2 = Concentración final (40 ppm de Cr)

V_2 = Volumen final (250.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 1000 ppm de Cr para la preparación de la solución stock (40 ppm de Cr).

$$V_1 = \frac{40 \text{ ppm} \times 250 \text{ mL}}{1000 \text{ ppm}}$$

$V_1 = 10 \text{ mL}$

- Cálculos para la preparación de las soluciones estándar cromo a partir de la solución stock 40 ppm de cromo

Ejemplo: Cálculo para la solución estándar 0.2 ppm de cromo (Cr)

$$C_1V_1=C_2V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1}$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (40 ppm de Cr)

C_2 = Concentración final (0.2 ppm de Cr)

V_2 = Volumen final (100.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 40 ppm de Cr para la preparación de la solución estándar (0.2 ppm de Cr).

$$V_1 = \frac{0.2 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}}{40 \text{ ppm}}$$

$V_1 = 0.5 \text{ mL}$

Ejemplo: Cálculo para la solución estándar 0.5 ppm de cromo (Cr)

$$C_1V_1=C_2V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1}$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (40 ppm de Cr)

C_2 = Concentración final (0.5 ppm de Cr)

V_2 = Volumen final (100.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 40 ppm de Cr para la preparación de la solución estándar (0.5 ppm de Cr).

$$V_1 = \frac{0.5 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}}{40 \text{ ppm}}$$

$V_1 = 1.25 \text{ mL}$

Ejemplo: Cálculo para la solución estándar 3.0 ppm de cromo (Cr)

$$C_1 V_1 = C_2 V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (40 ppm de Cr)

C_2 = Concentración final (3.0 ppm de Cr)

V_2 = Volumen final (100.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 40 ppm de Cr para la preparación de la solución estándar (3.0 ppm de Cr).

$$V_1 = \frac{3.0 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}}{40 \text{ ppm}}$$

$V_1 = 7.5 \text{ mL}$

Ejemplo: Cálculo para la solución estándar 0.2 ppm de cromo (Cr)

$$C_1 V_1 = C_2 V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (40 ppm de Cr)

C_2 = Concentración final (6.0 ppm de Cr)

V_2 = Volumen final (100.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 40 ppm de Cr para la preparación de la solución estándar (6.0 ppm de Cr).

$$V_1 = \frac{6.0 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}}{40 \text{ ppm}}$$

$$V_1=15.0 \text{ mL}$$

D. Hierro

- Cálculos para la preparación de las soluciones stock (20 ppm) de hierro a partir de una concentración de 1000ppm para cada elemento.

Ejemplo: Cálculo para la solución stock 20 ppm de hierro (Fe)

$$C_1V_1=C_2V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1}$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (1000 ppm de Fe)

C_2 = Concentración final (20 ppm de Fe)

V_2 = Volumen final (250.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 1000 ppm de Fe para la preparación de la solución stock (20 ppm de Fe).

$$V_1 = \frac{20 \text{ ppm} \times 250 \text{ mL}}{1000 \text{ ppm}}$$

$$V_1=5 \text{ mL}$$

- Cálculos para la preparación de las soluciones estándar hierro a partir de la solución stock 20 ppm de hierro

Ejemplo: Cálculo para la solución estándar 0.3 ppm de hierro (Fe)

$$C_1V_1=C_2V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1}$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (20 ppm de Fe)

C_2 = Concentración final (0.3 ppm de Fe)

V_2 = Volumen final (100.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 20 ppm de Fe para la preparación de la solución estándar (0.3 ppm de Fe).

$$V_1 = \frac{0.3 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}}{20 \text{ ppm}}$$

$$V_1=1.5 \text{ mL}$$

Ejemplo: Cálculo para la solución estándar 1.0 ppm de hierro (Fe)

$$C_1V_1=C_2V_2 \rightarrow V_1=\frac{C_2V_2}{C_1}$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (20 ppm de Fe)

C_2 = Concentración final (1.0 ppm de Fe)

V_2 = Volumen final (100.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 20 ppm de Fe para la preparación de la solución estándar (1.0 ppm de Fe).

$$V_1=\frac{1.0 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}}{20 \text{ ppm}}$$

$$V_1=5.0 \text{ mL}$$

Ejemplo: Cálculo para la solución estándar 3.0 ppm de hierro (Fe)

$$C_1V_1=C_2V_2 \rightarrow V_1=\frac{C_2V_2}{C_1}$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (20 ppm de Fe)

C_2 = Concentración final (3.0 ppm de Fe)

V_2 = Volumen final (100.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 20 ppm de Fe para la preparación de la solución estándar (3.0 ppm de Fe).

$$V_1=\frac{3.0 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}}{20 \text{ ppm}}$$

$$V_1=15.0 \text{ mL}$$

Ejemplo: Cálculo para la solución estándar 6.0 ppm de hierro (Fe)

$$C_1V_1=C_2V_2 \rightarrow V_1=\frac{C_2V_2}{C_1}$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (20 ppm de Fe)

C_2 = Concentración final (6.0 ppm de Fe)

V_2 = Volumen final (100.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 20 ppm de Fe para la preparación de la solución estándar (6.0 ppm de Fe).

$$V_1 = \frac{6.0 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}}{20 \text{ ppm}}$$

$V_1 = 30.0 \text{ mL}$

E. Níquel

- Cálculos para la preparación de las soluciones stock (20 ppm) de níquel a partir de una concentración de 1000 ppm para cada elemento.

Ejemplo: Cálculo para la solución stock 20 ppm de níquel (Ni)

$$C_1 V_1 = C_2 V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (1000 ppm de Ni)

C_2 = Concentración final (20 ppm de Ni)

V_2 = Volumen final (250.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 1000 ppm de Ni para la preparación de la solución stock (20 ppm de Ni).

$$V_1 = \frac{20 \text{ ppm} \times 250 \text{ mL}}{1000 \text{ ppm}}$$

$V_1 = 5 \text{ mL}$

- Cálculos para la preparación de las soluciones estándar níquel a partir de la solución stock 20 ppm de níquel

Ejemplo: Cálculo para la solución estándar 0.5 ppm de níquel (Ni)

$$C_1 V_1 = C_2 V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (20 ppm de Ni)

C_2 = Concentración final (0.5 ppm de Ni)

V_2 = Volumen final (100.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 20 ppm de Ni para la preparación de la solución estándar (0.5 ppm de Ni).

$$V_1 = \frac{0.5 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}}{20 \text{ ppm}}$$

$V_1 = 2.5 \text{ mL}$

Ejemplo: Cálculo para la solución estándar 1.0 ppm de níquel (Ni)

$$C_1 V_1 = C_2 V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (20 ppm de Ni)

C_2 = Concentración final (1.0 ppm de Ni)

V_2 = Volumen final (100.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 20 ppm de Ni para la preparación de la solución estándar (1.0 ppm de Ni).

$$V_1 = \frac{1.0 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}}{20 \text{ ppm}}$$

$V_1 = 5.0 \text{ mL}$

Ejemplo: Cálculo para la solución estándar 3.0 ppm de níquel (Ni)

$$C_1 V_1 = C_2 V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (20 ppm de Ni)

C_2 = Concentración final (3.0 ppm de Ni)

V_2 = Volumen final (100.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 20 ppm de Ni para la preparación de la solución estándar (3.0 ppm de Ni).

$$V_1 = \frac{3.0 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}}{20 \text{ ppm}}$$

$$V_1=15.0 \text{ mL}$$

Ejemplo: Cálculo para la solución estándar 5.0 ppm de níquel (Ni)

$$C_1V_1=C_2V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1}$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (20 ppm de Ni)

C_2 = Concentración final (5.0 ppm de Ni)

V_2 = Volumen final (100.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 20 ppm de Ni para la preparación de la solución estándar (5.0 ppm de Ni).

$$V_1 = \frac{5.0 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}}{20 \text{ ppm}}$$

$$V_1=25.0 \text{ mL}$$

F. Plomo

- Cálculos para la preparación de las soluciones stock (20 ppm) de plomo a partir de una concentración de 1000ppm para cada elemento.

Ejemplo: Cálculo para la solución stock 20 ppm de plomo (Pb)

$$C_1V_1=C_2V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1}$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (1000 ppm de Pb)

C_2 = Concentración final (20 ppm de Pb)

V_2 = Volumen final (250.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 1000 ppm de Pb para la preparación de la solución stock (20 ppm de Pb).

$$V_1 = \frac{20 \text{ ppm} \times 250 \text{ mL}}{1000 \text{ ppm}}$$

$$V_1=5 \text{ mL}$$

- Cálculos para la preparación de las soluciones estándar plomo a partir de la solución stock 20 ppm de plomo

Ejemplo: Cálculo para la solución estándar 0.2 ppm de plomo (Pb)

$$C_1V_1=C_2V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1}$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (20 ppm de Pb)

C_2 = Concentración final (0.2 ppm de Pb)

V_2 = Volumen final (100.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 20 ppm de Pb para la preparación de la solución estándar (0.2 ppm de Pb).

$$V_1 = \frac{0.2 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}}{20 \text{ ppm}}$$

$V_1 = 1.0 \text{ mL}$

Ejemplo: Cálculo para la solución estándar 0.5 ppm de plomo (Pb)

$$C_1V_1=C_2V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1}$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (20 ppm de Pb)

C_2 = Concentración final (0.5 ppm de Pb)

V_2 = Volumen final (100.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 20 ppm de Pb para la preparación de la solución estándar (0.5 ppm de Pb).

$$V_1 = \frac{0.5 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}}{20 \text{ ppm}}$$

$V_1 = 2.5 \text{ mL}$

Ejemplo: Cálculo para la solución estándar 3.0 ppm de plomo (Pb)

$$C_1V_1=C_2V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1}$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (20 ppm de Pb)

C_2 = Concentración final (3.0 ppm de Pb)

V_2 = Volumen final (100.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 20 ppm de Pb para la preparación de la solución estándar (3.0 ppm de Pb).

$$V_1 = \frac{3.0 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}}{20 \text{ ppm}}$$

$V_1 = 15.0 \text{ mL}$

Ejemplo: Cálculo para la solución estándar 5.0 ppm de plomo (Pb)

$$C_1 V_1 = C_2 V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (20 ppm de Pb)

C_2 = Concentración final (5.0 ppm de Pb)

V_2 = Volumen final (100.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 20 ppm de Pb para la preparación de la solución estándar (5.0 ppm de Pb).

$$V_1 = \frac{5.0 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}}{20 \text{ ppm}}$$

$V_1 = 25.0 \text{ mL}$

G. Zinc

- Cálculos para la preparación de las soluciones stock (40 ppm) de zinc a partir de una concentración de 1000 ppm para el elemento.

Ejemplo: Cálculo para la solución stock 20 ppm de zinc (Zn)

$$C_1 V_1 = C_2 V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (1000 ppm de Zn)

C_2 = Concentración final (40 ppm de Zn)

V_2 = Volumen final (250.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 1000 ppm de Zn para la preparación de la solución stock (40 ppm de Zn).

$$V_1 = \frac{40 \text{ ppm} \times 250 \text{ mL}}{1000 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 10 \text{ mL}$$

- Planteamiento de cálculos para la preparación de las soluciones estándar zinc a partir de la solución stock 40 ppm de zinc

Ejemplo: Cálculo para la solución estándar 0.05 ppm de zinc (Zn)

$$C_1 V_1 = C_2 V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (40 ppm de Zn)

C_2 = Concentración final (0.05 ppm de Zn)

V_2 = Volumen final (100.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 40 ppm de Zn para la preparación de la solución estándar (0.05 ppm de Zn).

$$V_1 = \frac{0.05 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}}{40 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 0.125 \text{ mL}$$

Ejemplo: Cálculo para la solución estándar 0.10 ppm de zinc (Zn)

$$C_1 V_1 = C_2 V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (40 ppm de Zn)

C_2 = Concentración final (0.10 ppm de Zn)

V_2 = Volumen final (100.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 40 ppm de Zn para la preparación de la solución estándar (0.10 ppm de Zn).

$$V_1 = \frac{0.10 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}}{40 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 0.25 \text{ mL}$$

Ejemplo: Cálculo para la solución estándar 0.50 ppm de zinc (Zn)

$$C_1 V_1 = C_2 V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (40 ppm de Zn)

C_2 = Concentración final (0.50 ppm de Zn)

V_2 = Volumen final (100.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 40 ppm de Zn para la preparación de la solución estándar (0.50 ppm de Zn).

$$V_1 = \frac{0.50 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}}{40 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 1.25 \text{ mL}$$

Ejemplo: Cálculo para la solución estándar 1.00 ppm de zinc (Zn)

$$C_1 V_1 = C_2 V_2 \rightarrow V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (40 ppm de Zn)

C_2 = Concentración final (1.00 ppm de Zn)

V_2 = Volumen final (100.0 mL)

V_1 = Alícuota a tomar de la solución de 40 ppm de Zn para la preparación de la solución estándar (1.00 ppm de Zn).

$$V_1 = \frac{1.00 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}}{40 \text{ ppm}}$$

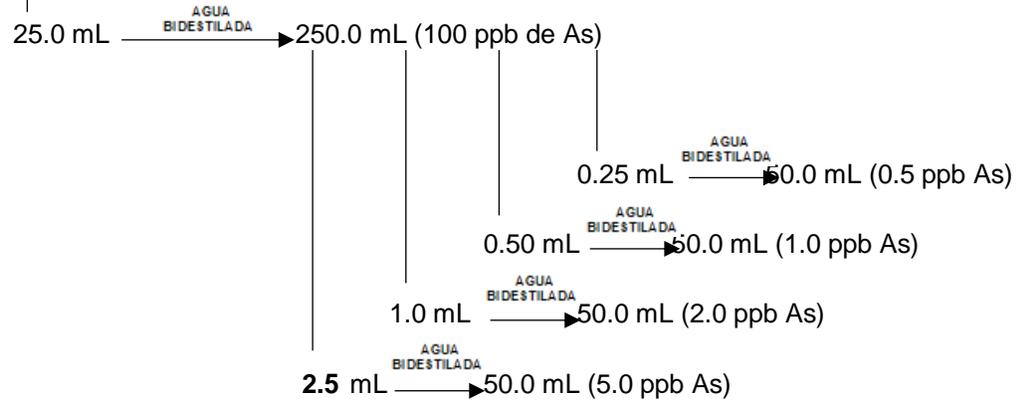
$$V_1 = 2.50 \text{ mL}$$

ANEXO N° 5

ESQUEMA DE DILUCION PARA LA PREPARACION DE LAS SOLUCIONES ESTANDARES Y CALCULOS PARA LA DETERMINACION DE ARSENICO, COBRE, CROMO, HIERRO, NIQUEL, PLOMO Y ZINC.

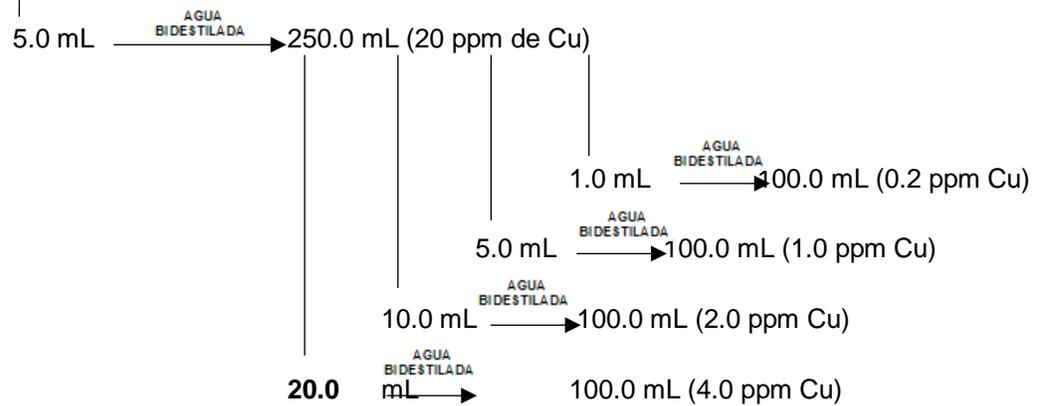
A. Diluciones para preparar la curva de estándares de arsénico.

1,000 ppb de arsénico (As)



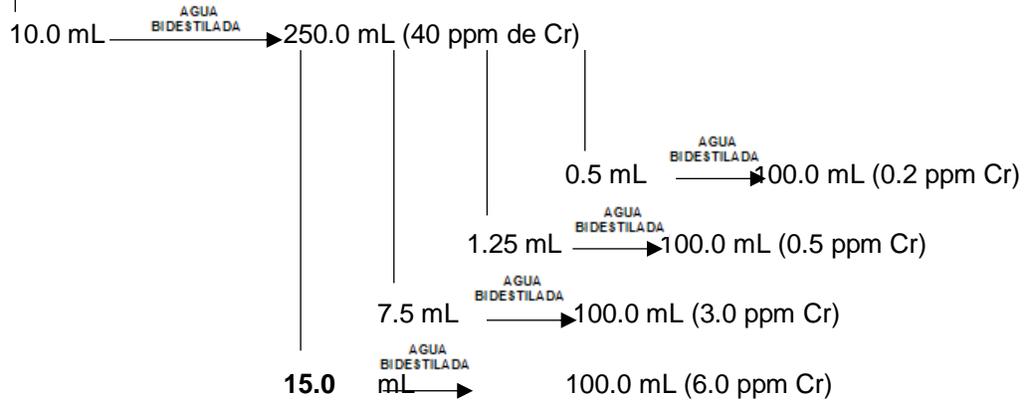
B. Diluciones para preparar la curva de estándares de cobre.

1,000.0 ppm de cobre (Cu)



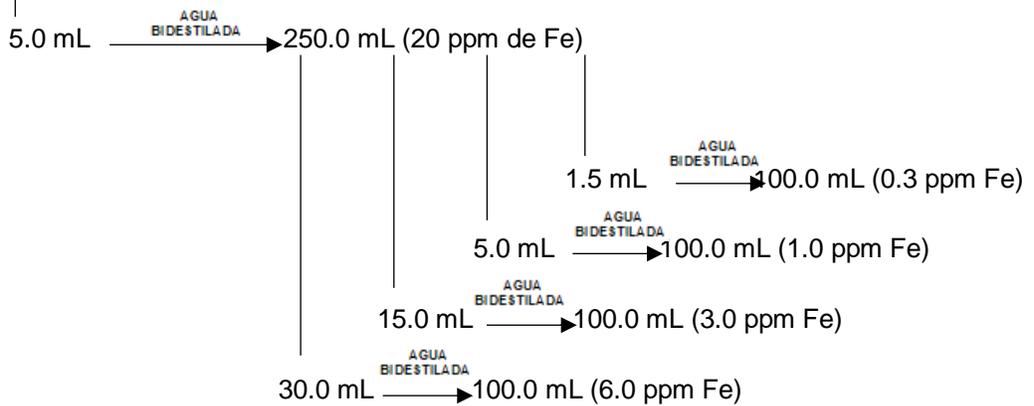
C. Diluciones para preparar la curva de estándares de cromo.

1,000.0 ppm de cromo (Cr)



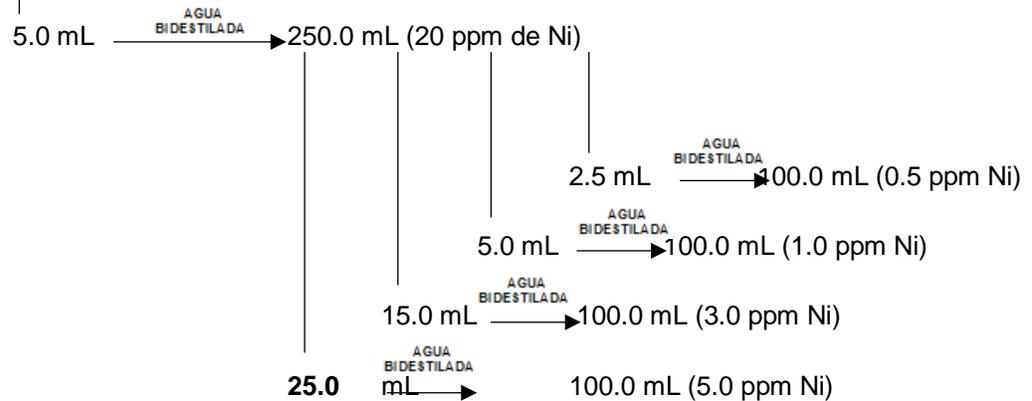
D. Diluciones para preparar la curva de estándares de hierro.

1,000.0 ppm de hierro (Fe)



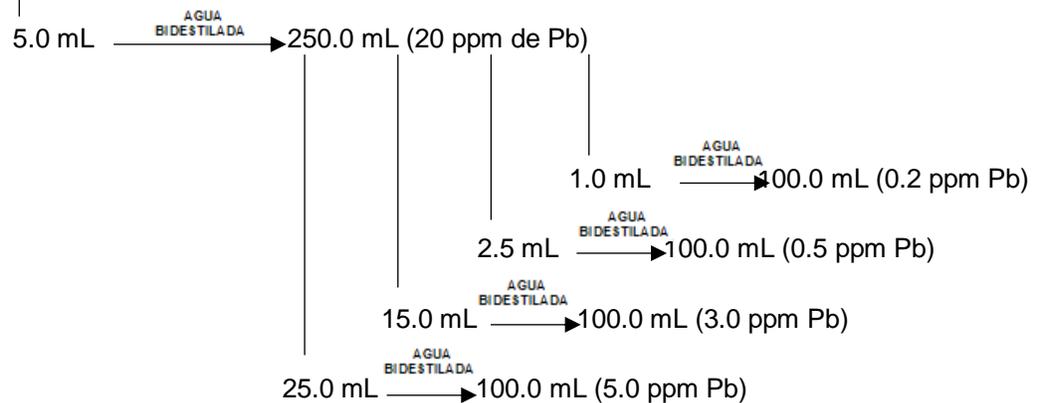
E. Diluciones para preparar la curva de estándares de níquel.

1,000.0 ppm de níquel (Ni)



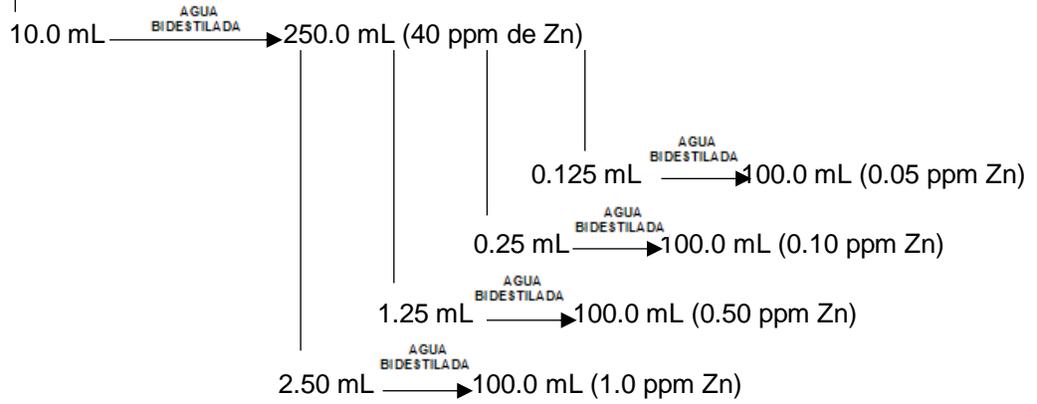
F. Diluciones para preparar la curva de estándares de plomo.

1,000.0 ppm de plomo (Pb)



G. Diluciones para preparar la curva de estándares de zinc.

1,000.0 ppm de zinc (Zn)



ANEXO N° 5

**ESQUEMAS PARA LA PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES STOCK,
SOLUCIONES ESTANDARES**

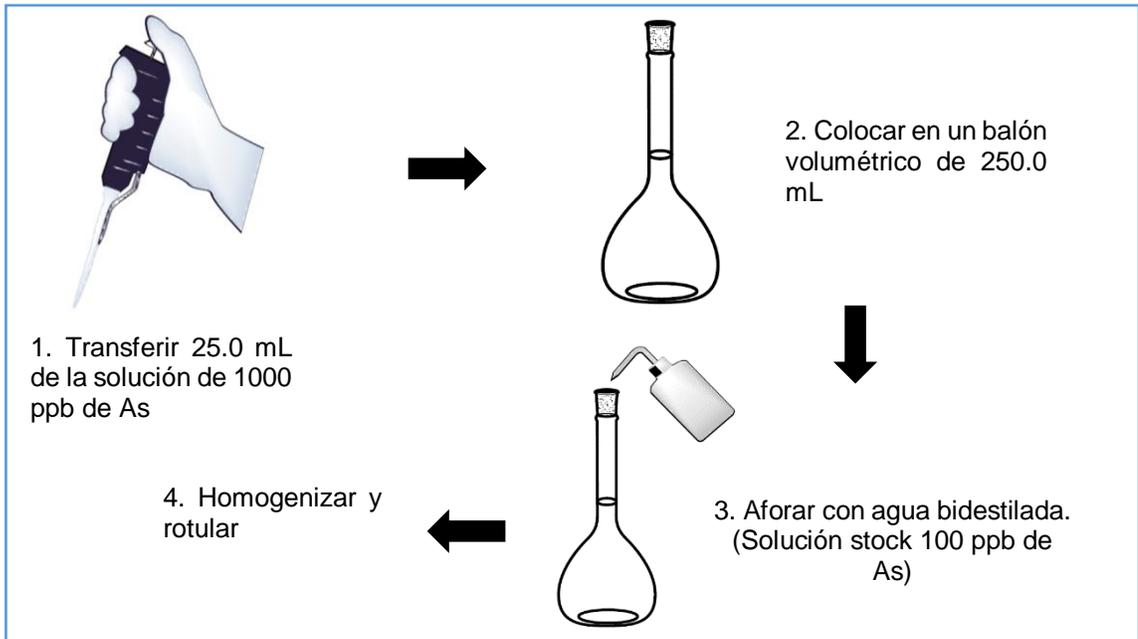


Figura N° 20. Esquema de preparación de solución stock 100 ppb de arsénico.

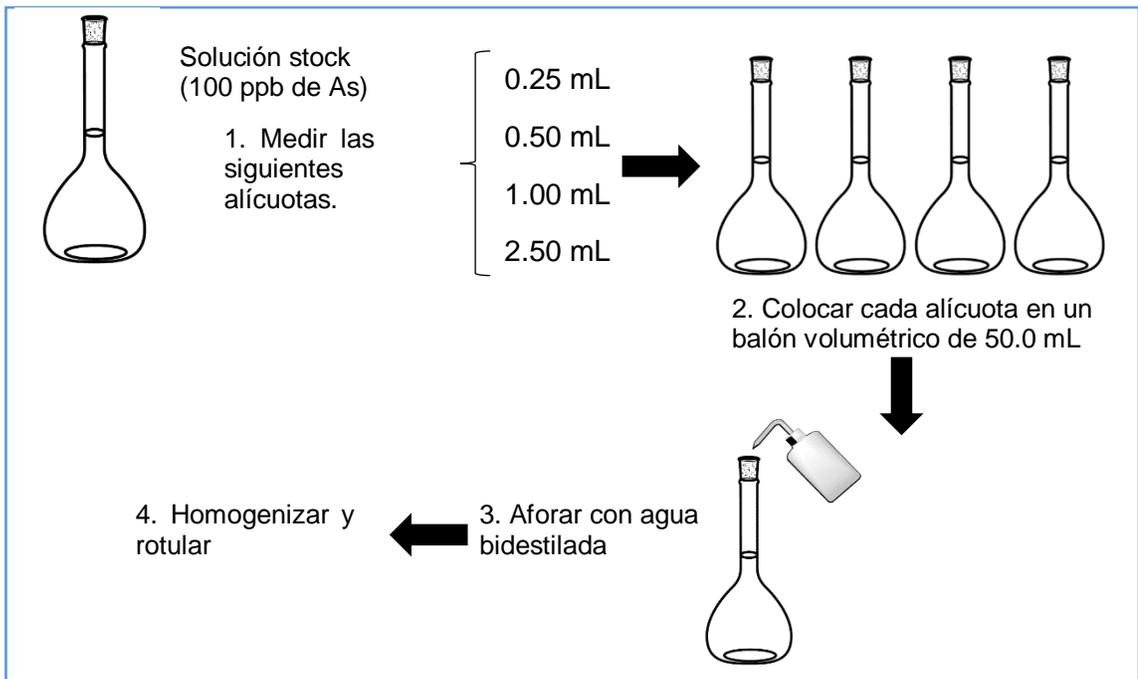


Figura N° 21. Esquema de la preparación de estándares para arsénico.

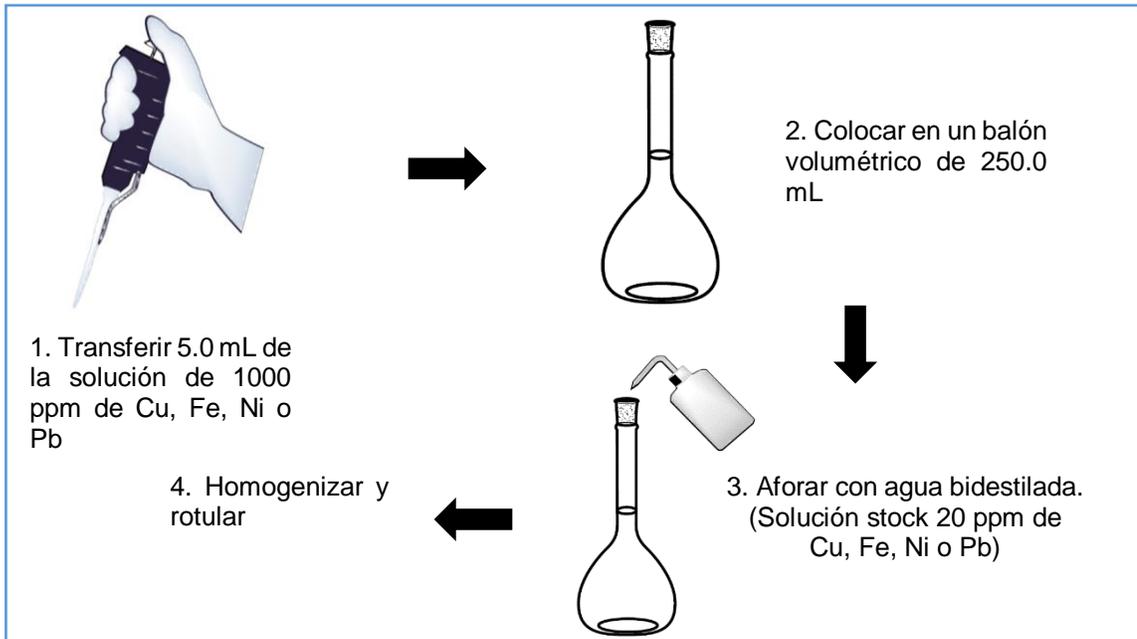


Figura N° 22. Esquema de preparación de solución stock 20 ppm de cobre, hierro, níquel o plomo.

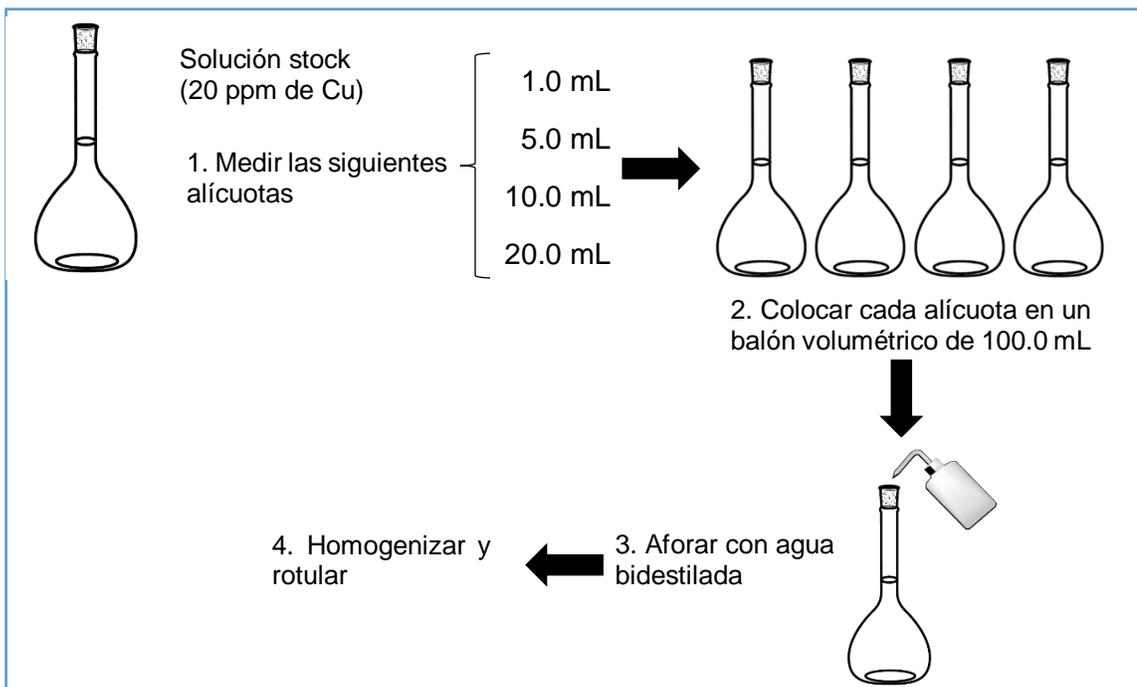


Figura N° 23. Esquema de la preparación de estándares para cobre.

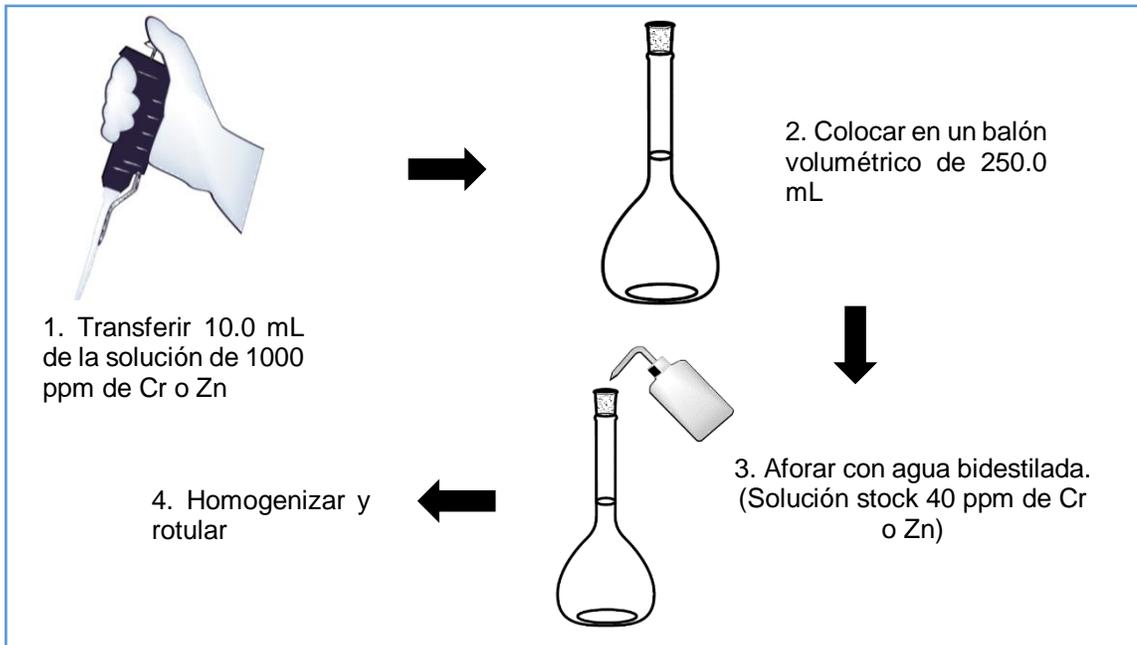


Figura N° 24. Esquema de preparación de solución stock 40 ppm de cromo o zinc.

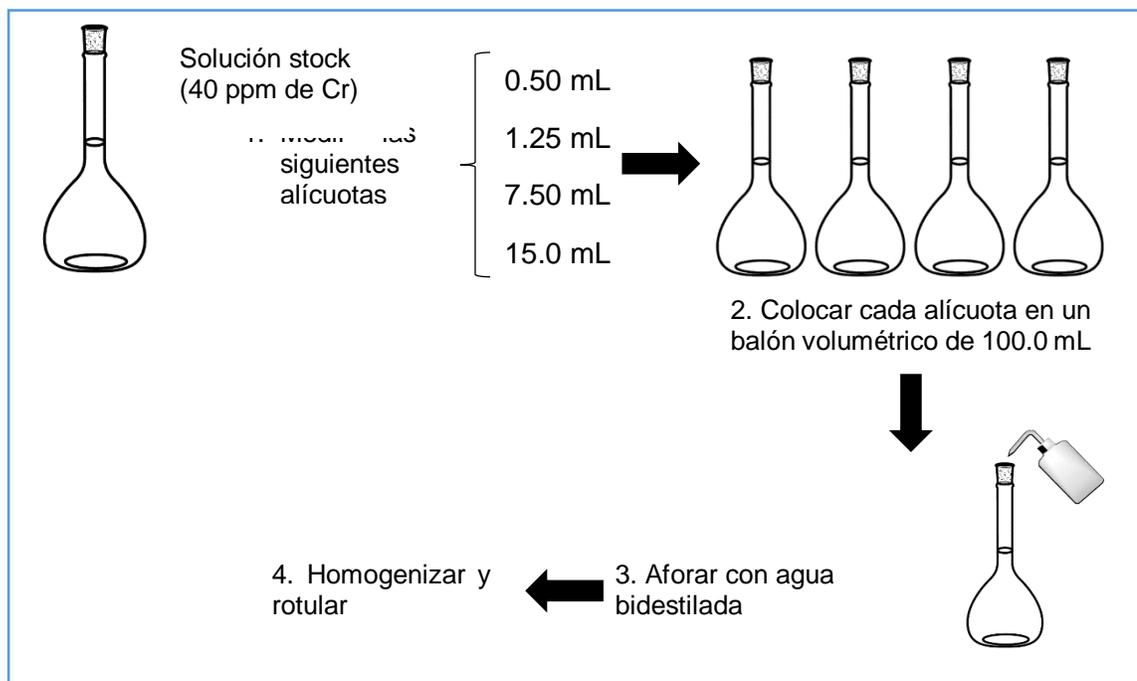


Figura N° 25. Esquema de la preparación de estándares para cromo.

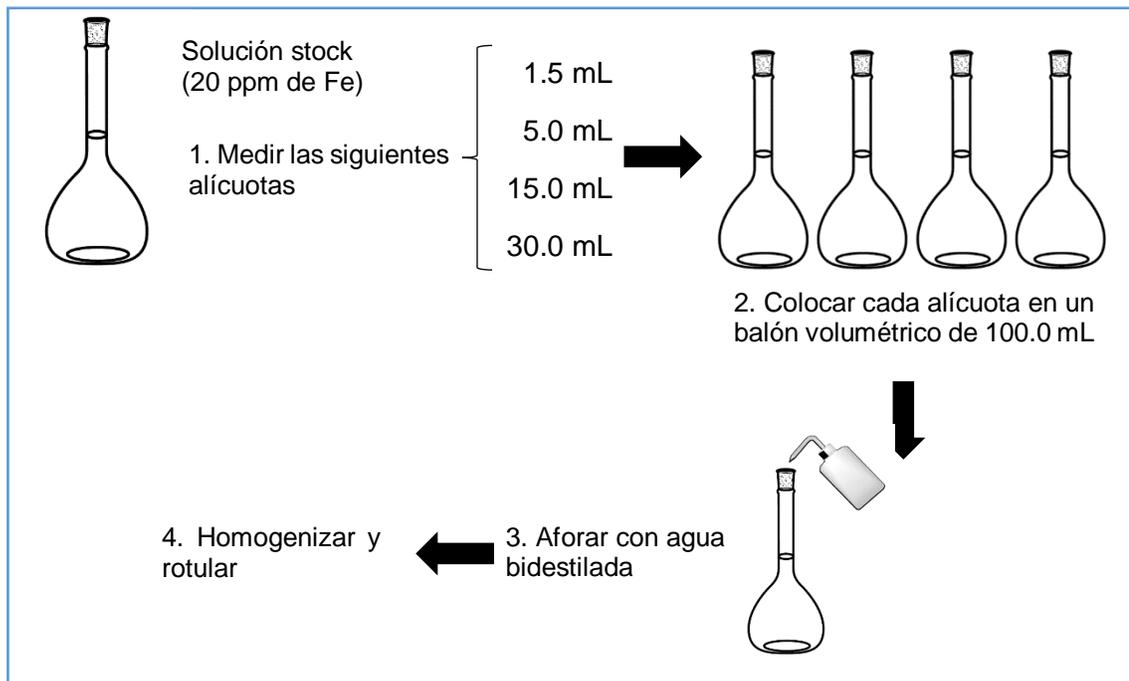


Figura N° 26. Esquema de la preparación de soluciones para hierro.

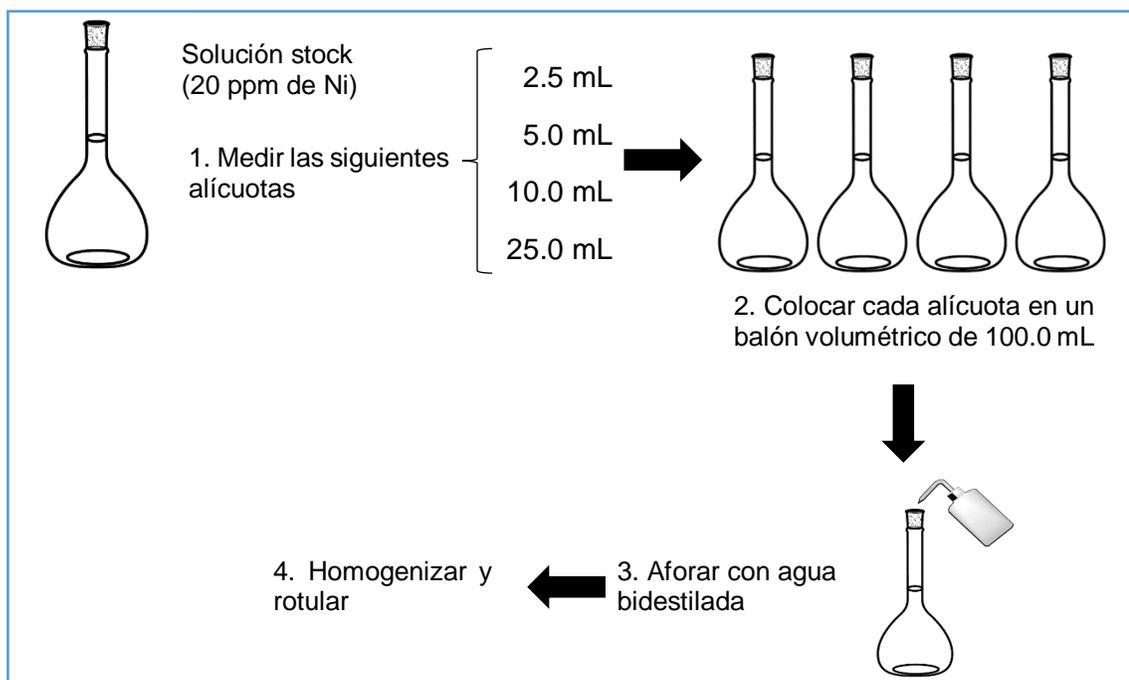


Figura N° 27. Esquema de la preparación de estándares para níquel.

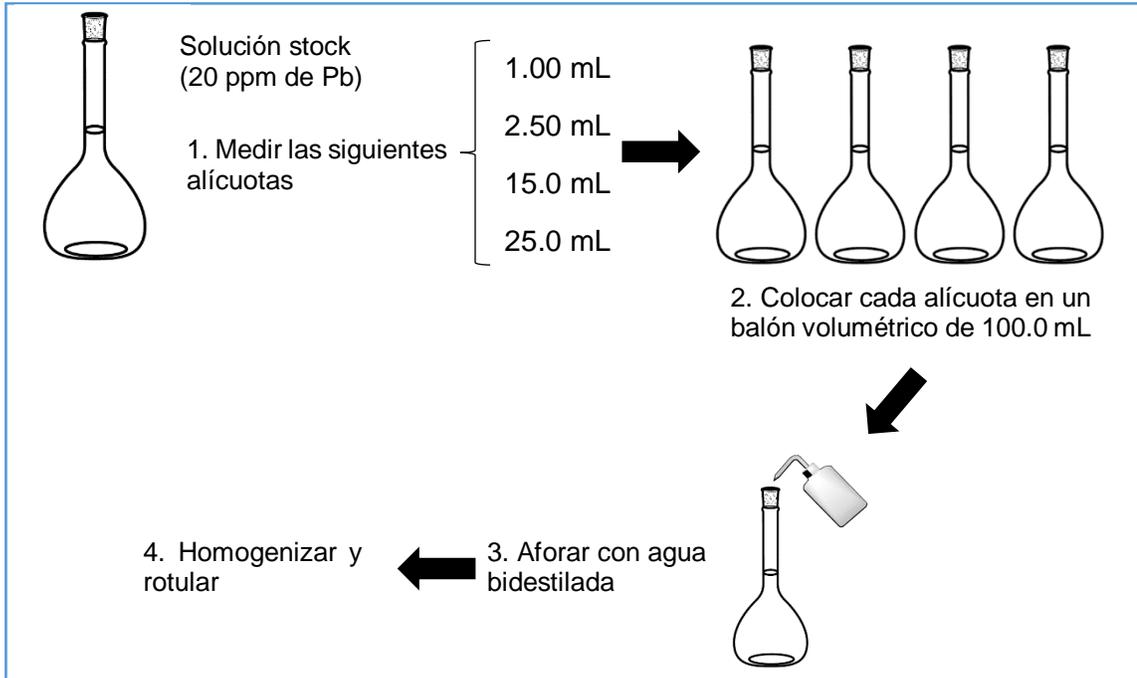


Figura N° 28. Esquema de la preparación de soluciones para plomo.

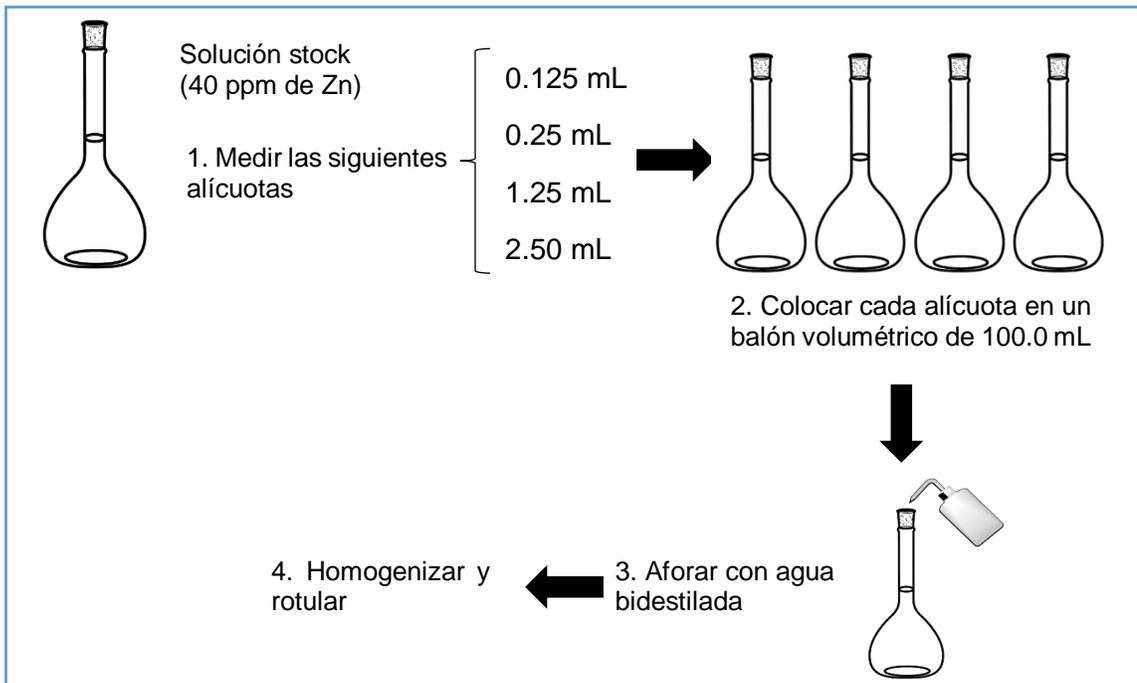


Figura N° 29. Esquema de la preparación de estándares para zinc.

ANEXO N° 6

**CUANTIFICACION DE METALES POR ESPECTROFOTOMETRIA
DE ABSORCION ATOMICA**



Tomar 10.0 mL de muestra y pasar a balón volumétrico de 50.0 mL.



+ 2.0 mL de yoduro de potasio
+ 4.0 mL de ácido clorhídrico.



Dejar enfriar, aforar con agua bidestilada y homogenizar.



Agitar y aplicar calor en hotplate a 85°C por 30 minutos.

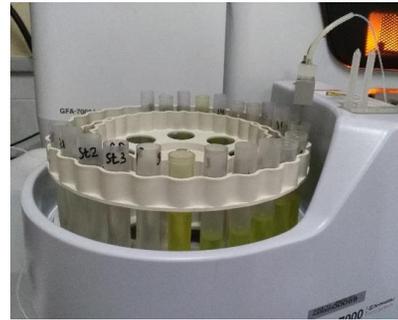


Colocar en el equipo EAA 500 mL de NaBH₄ y 500 mL HCl (1:1).

Figura N° 30. Determinación de arsénico por EAA con Generador de Hidruros.



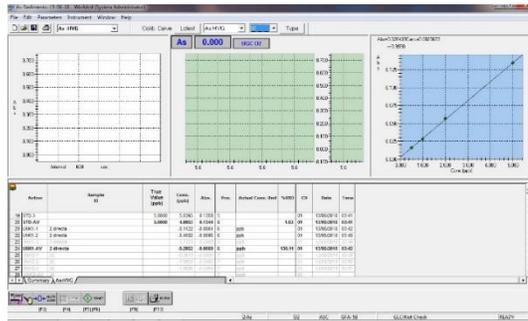
Encender el equipo de EAA e introducir los parámetros para As.



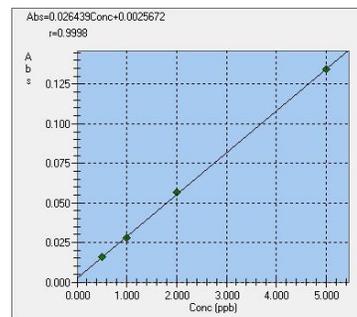
Cargar el automuestreador con estándares y muestras.



Encender la llama y esperar que estabilice.

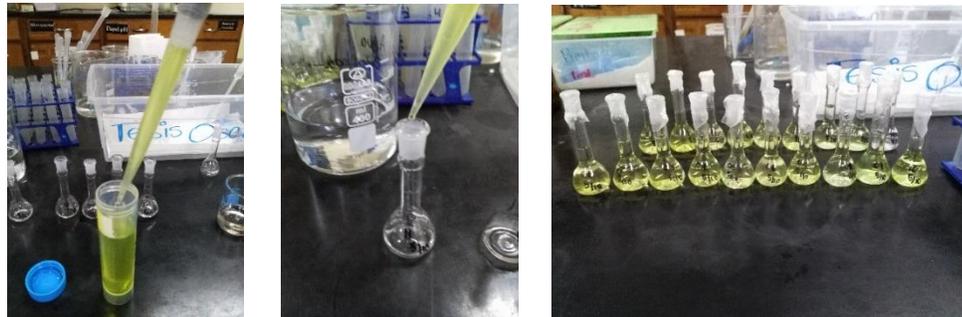


Aspirar el blanco para corregir cualquier interferencia producida por los reactivos
Aspirar los estándares para realizar la curva de calibración.



Anotar el resultado de la muestra directamente del equipo.

Figura N° 30. Continuación.



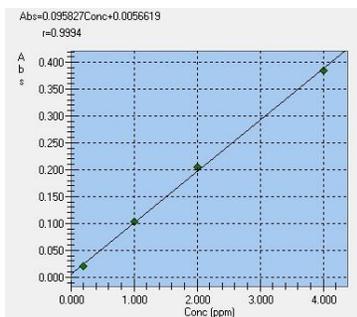
Realización de las diluciones necesarias para la lectura de cada elemento (arsénico, cobre, cromo, hierro y zinc)



Encender el equipo de EAA e introducir los parámetros para el elemento a analizar.



Cargar el automuestreador con estándares y muestras.



Aspirar los estándares para realizar la curva de calibración. Anotar el resultado.



Encender la llama y esperar que estabilice.

Figura N° 31. Determinación de cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc por EAA por Llama.

ANEXO N° 7

**LECTURAS Y CONCENTRACIONES DETECTADAS EN LA DETERMINACION
DE METALES PESADOS**

A. Arsénico

Tabla N° 5. Resultados de la determinación de arsénico para sedimentos de manglar.

Sitio	id de la muestra	Peso de la muestra (g)	Lectura (ppm)	Factor de dilución	Concentración (ppm)	Promedio por sitio (ppm)
S1	S1P1	0.501	0.0029	1250.00	7.32	7.30
	S1P2	0.503	0.0031	1250.00	7.82	
	S1P3	0.506	0.0027	1250.00	6.75	
S2	S2P1	0.506	0.0051	1250.00	12.55	12.02
	S2P2	0.500	0.0046	1250.00	11.43	
	S2P3	0.502	0.0049	1250.00	12.09	
S3	S3P1	0.501	0.0035	1250.00	8.63	6.63
	S3P2	0.503	0.0017	1250.00	4.33	
	S3P3	0.503	0.0028	1250.00	6.94	
S4	S4P1	0.502	0.0036	1250.00	8.97	8.44
	S4P2	0.503	0.0034	1250.00	8.43	
	S4P3	0.501	0.0032	1250.00	7.91	
S5	S5P1	0.500	0.0035	1250.00	8.84	8.61
	S5P2	0.500	0.0035	1250.00	8.76	
	S5P3	0.503	0.0033	1250.00	8.22	
S6	S6P1	0.502	0.0033	1250.00	8.10	8.28
	S6P2	0.503	0.0033	1250.00	8.31	
	S6P3	0.502	0.0034	1250.00	8.43	

- Cálculo de factor de dilución:

$$FD = \frac{\text{volúmenes hechos}}{\text{alícuotas tomadas}} = \frac{25.0 \text{ mL} \times 50.0 \text{ mL} \times 10.0 \text{ mL}}{10.0 \text{ mL} \times 1.0 \text{ mL}} = 1250$$

- Cálculo de ppm de arsénico en peso de muestra

$$\frac{C_{mx} \times FD}{\text{Peso de mx}} = \text{Concentración As}$$

$$\frac{(0.0029 \text{ ppm})(1250)}{0.501 \text{ g}} = 7.32 \text{ ppm}$$

- Cálculo de concentración promedio por sitio

$$\bar{C}_{As} = \frac{C_1 + C_2 + C_3}{3} = \frac{7.32 + 7.82 + 6.75}{3} = 7.30 \text{ ppm}$$

B. Cobre

Tabla N° 6. Resultados de la determinación de cobre para sedimentos de manglar.

Sitio	id de la muestra	Peso de la muestra (g)	Lectura (ppm)	Factor de dilución	Concentración (ppm)	Promedio por sitio (ppm)
S1	S1P1	4.003	1.2577	50.00	15.71	18.08
	S1P2	4.000	1.6075	50.00	20.09	
	S1P3	4.002	1.4746	50.00	18.42	
S2	S2P1	4.003	0.8805	50.00	11.00	9.80
	S2P2	4.008	0.8551	50.00	10.67	
	S2P3	4.000	0.6192	50.00	7.74	
S3	S3P1	4.007	1.9303	50.00	24.09	24.89
	S3P2	4.015	1.3132	50.00	16.35	
	S3P3	4.007	2.7436	50.00	34.23	
S4	S4P1	4.006	2.1449	50.00	26.77	27.03
	S4P2	4.003	2.0882	50.00	26.08	
	S4P3	4.013	2.2659	50.00	28.23	
S5	S5P1	4.000	0.7966	50.00	9.96	19.05
	S5P2	4.003	2.1459	50.00	26.80	
	S5P3	4.001	1.6315	50.00	20.39	
S6	S6P1	4.002	1.8155	50.00	22.68	17.25
	S6P2	4.006	1.3017	50.00	16.25	
	S6P3	4.006	1.0262	50.00	12.81	

- Cálculo de factor de dilución:

$$FD = \frac{\text{volúmenes hechos}}{\text{alícuotas tomadas}} = \frac{50.0 \text{ mL}}{1.0 \text{ mL}} = 50$$

- Cálculo de ppm de arsénico en peso de muestra

$$\frac{C_{mx} \cdot FD}{\text{Peso de mx}} = \text{Concentración As}$$

$$\frac{(1.2577 \text{ ppm})(50)}{4.003 \text{ g}} = 15.71 \text{ ppm}$$

- Cálculo de concentración promedio por sitio

$$\bar{C}_{Cu} = \frac{C_1 + C_2 + C_3}{3} = \frac{15.71 + 20.09 + 18.42}{3} = 18.08 \text{ ppm}$$

C. Cromo

Tabla N° 7. Resultados de la determinación de cromo para sedimentos de manglar.

Sitio	id de la muestra	Peso de la muestra (g)	Lectura (ppm)	Factor de dilución	Concentración (ppm)	Promedio por sitio (ppm)
S1	S1P1	4.003	0.1646	50.00	2.06	2.47
	S1P2	4.000	0.2349	50.00	2.94	
	S1P3	4.002	0.1930	50.00	2.41	
S2	S2P1	4.003	0.3123	50.00	3.90	3.56
	S2P2	4.008	0.0792	50.00	0.99	
	S2P3	4.000	0.4641	50.00	5.80	
S3	S3P1	4.007	0.1527	50.00	1.91	2.07
	S3P2	4.015	0.1337	50.00	1.67	
	S3P3	4.007	0.2112	50.00	2.64	
S4	S4P1	4.006	0.1891	50.00	2.36	2.70
	S4P2	4.003	0.2404	50.00	3.00	
	S4P3	4.013	0.2207	50.00	2.75	
S5	S5P1	4.000	0.0579	50.00	0.72	1.69
	S5P2	4.003	0.2128	50.00	2.66	
	S5P3	4.001	0.1353	50.00	1.69	
S6	S6P1	4.002	0.2159	50.00	2.70	2.15
	S6P2	4.006	0.1654	50.00	2.06	
	S6P3	4.006	0.1361	50.00	1.70	

- Cálculo de factor de dilución:

$$FD = \frac{\text{volúmenes hechos}}{\text{alícuotas tomadas}} = \frac{50.0 \text{ mL}}{1.0 \text{ mL}} = 50$$

- Cálculo de ppm de arsénico en peso de muestra

$$\frac{C_{mx} \cdot FD}{\text{Peso de mx}} = \text{Concentración As}$$

$$\frac{(0.1646 \text{ ppm})(50)}{4.003 \text{ g}} = 2.06 \text{ ppm}$$

- Cálculo de concentración promedio por sitio

$$\bar{C}_{Cr} = \frac{C_1 + C_2 + C_3}{3} = \frac{2.06 + 2.94 + 2.41}{3} = 2.47 \text{ ppm}$$

D. Hierro

Tabla N° 8. Resultados de la determinación de hierro para sedimentos de manglar.

Sitio	id de la muestra	Peso de la muestra (g)	Lectura (ppm)	Factor de dilución	Concentración (ppm)	Concentración (%)	Promedio por sitio (%)
S1	S1P1	4.003	5.6784	10000.00	14185.44	1.42	1.50
	S1P2	4.000	6.3221	10000.00	15805.17	1.58	
	S1P3	4.002	5.9662	10000.00	14908.00	1.49	
S2	S2P1	4.003	6.9381	10000.00	17332.13	1.73	1.53
	S2P2	4.008	4.9058	10000.00	12239.98	1.22	
	S2P3	4.000	6.5833	10000.00	16458.13	1.65	
S3	S3P1	4.007	6.5398	10000.00	16320.98	1.63	1.59
	S3P2	4.015	5.5025	10000.00	13704.82	1.37	
	S3P3	4.007	7.0617	10000.00	17623.45	1.76	
S4	S4P1	4.006	6.6348	10000.00	16562.07	1.66	1.64
	S4P2	4.003	6.1644	10000.00	15399.37	1.54	
	S4P3	4.013	6.8866	10000.00	17160.69	1.72	
S5	S5P1	4.000	3.8912	10000.00	9728.08	0.97	1.31
	S5P2	4.003	6.5801	10000.00	16437.80	1.64	
	S5P3	4.001	5.2727	10000.00	13178.33	1.32	
S6	S6P1	4.002	5.3078	10000.00	13262.83	1.33	1.23
	S6P2	4.006	4.7827	10000.00	11938.80	1.19	
	S6P3	4.006	4.7377	10000.00	11826.39	1.18	

- Cálculo de factor de dilución:

$$FD = \frac{\text{volúmenes hechos}}{\text{alícuotas tomadas}} = \frac{(50.0 \times 10.0 \times 10.0 \times 10.0) \text{ mL}}{(1.0 \times 1.0 \times 5.0) \text{ mL}} = 10000$$

- Cálculo de ppm de arsénico en peso de muestra

$$C_{Fe} = \frac{C_{mx} \times FD}{\text{Peso de mx}} = \frac{(5.6784 \text{ ppm})(10000)}{4.003 \text{ g}} = 14185.44 \text{ ppm}$$

- Pasar de ppm a porcentaje de hierro

$$\%_{Fe} = \frac{C_{Fe} \text{ en ppm}}{10000} = \frac{14185.44}{10000} = 1.42\%$$

- Cálculo de concentración promedio por sitio en porcentaje

$$\bar{C}_{Fe} = \frac{C_1 + C_2 + C_3}{3} = \frac{1.42 + 1.58 + 1.49}{3} = 1.50\%$$

E. Níquel

Tabla N° 9. Resultados de la determinación de níquel para sedimentos de manglar.

Sitio	id de la muestra	Peso de la muestra (g)	Lectura (ppm)	Factor de dilución	Concentración (ppm)	Promedio por sitio (ppm)
S1	S1P1	4.003	0.0091	50.00	0.11	0.38
	S1P2	4.000	0.0558	50.00	0.70	
	S1P3	4.002	0.0265	50.00	0.33	
S2	S2P1	4.003	0.1366	50.00	1.71	1.20
	S2P2	4.008	nd	50.00	nd	
	S2P3	4.000	0.1506	50.00	1.88	
S3	S3P1	4.007	0.0685	50.00	0.85	0.84
	S3P2	4.015	0.0158	50.00	0.20	
	S3P3	4.007	0.1173	50.00	1.46	
S4	S4P1	4.006	0.0398	50.00	0.50	0.48
	S4P2	4.003	0.0318	50.00	0.40	
	S4P3	4.013	0.0445	50.00	0.55	
S5	S5P1	4.000	nd	50.00	nd	0.26
	S5P2	4.003	0.0332	50.00	0.41	
	S5P3	4.001	0.0285	50.00	0.36	
S6	S6P1	4.002	0.0318	50.00	0.40	0.14
	S6P2	4.006	0.0024	50.00	0.03	
	S6P3	4.006	nd	50.00	nd	

nd=no detectado

- Cálculo de factor de dilución:

$$FD = \frac{\text{volúmenes hechos}}{\text{alícuotas tomadas}} = \frac{50.0 \text{ mL}}{1.0 \text{ mL}} = 50$$

- Cálculo de ppm de arsénico en peso de muestra

$$C_{Ni} = \frac{C_{mx} * FD}{\text{Peso de mx}} = \frac{(0.0091 \text{ ppm})(50)}{4.003 \text{ g}} = 0.11 \text{ ppm}$$

- Cálculo de concentración promedio por sitio

$$\bar{C}_{Ni} = \frac{C_1 + C_2 + C_3}{3} = \frac{0.11 + 0.70 + 0.33}{3} = 0.38 \text{ ppm}$$

F. Plomo

Tabla N° 10. Resultados de la determinación de plomo para sedimentos de manglar.

Sitio	id de la muestra	Peso de la muestra (g)	Lectura (ppm)	Factor de dilución	Concentración (ppm)	Promedio por sitio (ppm)
S1	S1P1	4.003	0.2103	100.00	5.25	5.75
	S1P2	4.000	0.2206	100.00	5.52	
	S1P3	4.002	0.2599	100.00	6.49	
S2	S2P1	4.003	0.2001	100.00	5.00	3.85
	S2P2	4.008	0.1257	100.00	0.00	
	S2P3	4.000	0.2620	100.00	6.55	
S3	S3P1	4.007	0.2620	100.00	6.54	7.46
	S3P2	4.015	0.3115	100.00	7.76	
	S3P3	4.007	0.3239	100.00	8.08	
S4	S4P1	4.006	0.3079	100.00	7.69	8.94
	S4P2	4.003	0.3693	100.00	9.23	
	S4P3	4.013	0.3982	100.00	9.92	
S5	S5P1	4.000	0.3094	100.00	0.00	6.10
	S5P2	4.003	0.3837	100.00	9.59	
	S5P3	4.001	0.3487	100.00	8.71	
S6	S6P1	4.002	0.3752	100.00	9.38	9.27
	S6P2	4.006	0.3817	100.00	9.53	
	S6P3	4.006	0.3569	100.00	8.91	

- Cálculo de factor de dilución:

$$FD = \frac{\text{volúmenes hechos}}{\text{alícuotas tomadas}} = \frac{(50.0 \times 10.0) \text{ mL}}{5.0 \text{ mL}} = 100$$

- Cálculo de ppm de arsénico en peso de muestra

$$C_{Pb} = \frac{C_{mx} \times FD}{\text{Peso de mx}} = \frac{(0.2103 \text{ ppm})(100)}{4.003 \text{ g}} = 5.25 \text{ ppm}$$

- Cálculo de concentración promedio por sitio

$$\bar{C}_{Pb} = \frac{C_1 + C_2 + C_3}{3} = \frac{5.23 + 5.52 + 6.49}{3} = 5.75 \text{ ppm}$$

G. Zinc

Tabla N° 11. Resultados de la determinación de zinc para sedimentos de manglar.

Sitio	id de la muestra	Peso de la muestra (g)	Lectura (ppm)	Factor de dilución	Concentración (ppm)	Promedio por sitio (ppm)
S1	S1P1	4.003	0.3052	500.00	38.12	37.66
	S1P2	4.000	0.3092	500.00	38.65	
	S1P3	4.002	0.2898	500.00	36.21	
S2	S2P1	4.003	0.2863	500.00	35.76	24.76
	S2P2	4.008	0.2073	500.00	0.00	
	S2P3	4.000	0.3081	500.00	38.52	
S3	S3P1	4.007	0.3940	500.00	49.16	45.10
	S3P2	4.015	0.2946	500.00	36.68	
	S3P3	4.007	0.3964	500.00	49.47	
S4	S4P1	4.006	0.3968	500.00	49.53	51.79
	S4P2	4.003	0.4141	500.00	51.72	
	S4P3	4.013	0.4345	500.00	54.13	
S5	S5P1	4.000	0.2895	500.00	0.00	34.70
	S5P2	4.003	0.4322	500.00	53.98	
	S5P3	4.001	0.4012	500.00	50.13	
S6	S6P1	4.002	0.3599	500.00	44.96	41.24
	S6P2	4.006	0.3440	500.00	42.94	
	S6P3	4.006	0.2871	500.00	35.83	

- Cálculo de factor de dilución:

$$FD = \frac{\text{volúmenes hechos}}{\text{alícuotas tomadas}} = \frac{(50.0 \times 10.0) \text{ mL}}{1.0 \text{ mL}} = 500$$

- Cálculo de ppm de arsénico en peso de muestra

$$C_{Zn} = \frac{C_{mx} \cdot FD}{\text{Peso de mx}} = \frac{(0.3052 \text{ ppm})(500)}{4.003 \text{ g}} = 38.12 \text{ ppm}$$

- Cálculo de concentración promedio por sitio

$$\bar{C}_{Zn} = \frac{C_1 + C_2 + C_3}{3} = \frac{38.12 + 38.65 + 36.21}{3} = 37.66 \text{ ppm}$$