

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



**DETERMINACION DE METALES PESADOS EN SEDIMENTOS DE  
MANGLAR DEL HABITAT DE *Anadara tuberculosa* (CONCHA PELUDA) EN  
BARRA DE SANTIAGO DEPARTAMENTO AHUACHAPAN EL SALVADOR**

**TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADOR POR  
CLARISA ESTEFANNI LAINEZ MOLINA**

**PARA OPTAR AL GRADO DE  
LICENCIADA EN QUIMICA Y FARMACIA**

**JULIO 2019**

**SAN SALVADOR EL SALVADOR CENTROAMERICA**

**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 Haydee Gallardo de Velásquez

**TRIBUNAL CALIFICADOR**

**ASESORA DE AREA EN INDUSTRIA DE ALIMENTOS Y TOXICOLOGIA**

MAE. Nancy Zuleyma González Sosa

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

MSc. Eliseo Ernesto Ayala Mejía

**DOCENTES ASESORES**

MSc. Norbis Salvador Solano Melara

Lic. Mario Antonio Hernández Melgar

MSc. Juan Milton Flores Tensos

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, agradecer a Dios todo poderoso y a la Virgen Santísima por permitirme culminar esta etapa, cuidarme, guiarme en todo momento a pesar que en algún momento decaí, infinitas gracias padre celestial y madre mía.

A mis padres, Reina Coralia Molina y José Luis Laínez por su amor, apoyo incondicional en todo momento quienes me han impulsado día a día alcanzar esta meta, gracias mami y papi por ser mi motor, el regalo más bello que Dios me ha otorgado, los amo inmenso; a mis hermanos y demás familia gracias por su apoyo incondicional y sus palabras de aliento.

A mis docentes asesores MSc. Norbis Salvador Solano Melara, Lic. Mario Antonio Hernández Melgar, MSc. Juan Milton Flores Tensos quienes me guiaron durante el trayecto y desarrollo de este proyecto, me brindaron su apoyo, tiempo, dedicación y una linda amistad.

A mis buenos amigos de Química y Farmacia David Miranda, Oscar Rivas, Alex Parada gracias por su apoyo, ayuda durante el desarrollo de la investigación, así como de las molestias que les cause, gracias amigos míos. Como olvidar a mis amigos de Agronomía, Ingeniero Melissa Hernández, Luis Lovo “Balú”, Totorá Nancy, Rodd Franco Y Carlos Romero gracias por su apoyo y amistad.

Al equipo del Departamento de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas en especial Msc. Norbis Solano, Lic. Mario Hernández, Lic. Yanira de Linares, Lic. Freddy Carranza, Licda. Lorena de Torres, Msc. Milton Flores quienes me demostraron que aparte de ser excelentes docentes, son personas increíbles, gracias infinitas por su ayuda, por sus conocimientos compartidos, experiencias, consejos, dedicación y por depositar su confianza en mí.

A la Directora General de Procesos de Graduación MSc. Cecilia Gallardo de Velázquez y a los Coordinadores de área MAE. Nancy Zuleyma González Sosa

MSc. Eliseo Ernesto Ayala Mejía, por el tiempo y esfuerzo que dedicaron a examinar, evaluar y corregir el trabajo de graduación.

A mis compañeros de estudio, compañeros de trabajo, amigos de la Iglesia gracias a todos por demostrarme el don de la fortaleza constantemente, y a ser perseverante, gracias infinitas.

Finalmente, y no menos importante agradecer a los guardarecursos encargados del Complejo Barra de Santiago, quienes muy amablemente ayudaron en la contribución de recolección de información y muestras requeridas para llevar a cabo la determinación de metales pesados.

## INDICE

	Pág. N°
Resumen	
Capítulo I	
1.0 Introducción	xxii
Capítulo II	
2.0 Objetivos	
Capítulo III	
3.0 Marco teórico	27
3.1 Contaminación ambiental	27
3.2 Sedimentos superficiales	28
3.3 Contaminación de sedimentos por metales	29
3.4 Generalidades de metales	30
3.4.1 Arsénico	31
3.4.1.1 Generalidades de arsénico	31
3.4.1.2 Fuentes naturales de arsénico	31
3.4.1.3 Efectos tóxicos del arsénico en el ser humano	31
3.4.2 Cobre	32
3.4.2.1 Generalidades de cobre	32
3.4.2.2 Fuentes naturales del cobre	33
3.4.2.3 Efectos tóxicos del cobre en el ser humano	33
3.4.3 Cromo	34
3.4.3.1 Generalidades del cromo	34
3.4.3.2 Fuentes naturales de cromo	34
3.4.3.3 Efectos tóxicos del cromo en el ser humano	34
3.4.4 Hierro	35

3.4.4.1	Generalidades de hierro	35
3.4.4.2	Fuentes naturales del hierro	35
3.4.4.3	Concentración natural de hierro en el suelo	35
3.4.4.4	Concentración natural de hierro en agua	36
3.4.4.5	Toxicidad del hierro en el ser humano	36
3.4.5	Níquel	36
3.4.5.1	Generalidades de níquel	36
3.4.5.2	Fuentes naturales de níquel	37
3.4.5.3	Efectos tóxicos de níquel en el ser humano	37
3.4.6	Plomo	38
3.4.6.1	Generalidades del plomo	38
3.4.6.2	Fuentes naturales de plomo	38
3.4.6.3	Efectos tóxicos del plomo en el ser humano	39
3.4.7	Zinc	39
3.4.7.1	Generalidades del zinc	39
3.4.7.2	Fuentes naturales del zinc	40
3.4.7.3	Concentración natural de zinc en el suelo	40
3.4.7.4	Concentración natural de zinc en el agua	40
3.4.7.5	Toxicidad del zinc en el ser humano	41
3.5	Comportamiento de los metales en sedimentos superficiales	41
3.6	Importancia de la evaluación de los metales	43
3.7	Factores del grado de toxicidad potencial y de biodisponibilidad que un metal presenta en el ambiente	44
3.7.1.	Factores abióticos	44
3.7.2.	Factores bióticos	44
3.8	Método de cuantificación de metales: Espectrometría de absorción atómica	45
3.8.1	Espectrofotometría de Absorción atómica con llama	45

3.8.1.1	Generalidades del método	45
3.8.1.2	Descripción de la técnica	45
3.8.2	Espectrofotometría de Absorción Atómica con Generador de Hidruros	46
3.8.3	Equipo de Absorción Atómica	47
3.8.4	Aplicaciones	49
3.8.5	Algunas características importantes de la Espectrofotometría de Absorción Atómica	49
3.9	Normativa internacional de metales en sedimentos	50
3.9.1	Technical Guidance for Screening Contaminated Sediments (Orientación técnica para detectar sedimentos contaminados)	50
3.9.2	Establecimiento de concentraciones de nivel de detección	50
3.9.3	Uso de Criterios de Sedimento en Decisiones de Gestión de Riesgos	51
3.10	Ecosistemas Marinos de El Salvador	52
3.11	Sitios Ramsar en El Salvador	53
3.11.1	Sitio Ramsar Complejo Barra de Santiago	55
 Capítulo IV		
4.0	Diseño metodológico	57
4.1	Tipo de estudio	57
4.2	Investigación bibliográfica	57
4.3	Investigación de campo	57
4.3.1	Descripción de la zona de estudio	58
4.3.2	Ubicación de los sitios de recolección de muestras de Sedimento	59
4.3.3	Recolección de muestras	60



4.4 Parte experimental	61
4.4.1 Pre tratamiento de la muestra	62
4.4.2 Tratamiento de la muestra	62
4.4.3 Procedimiento para la cuantificación de los metales por Espectroscopia de absorción atómica	64
4.4.3.1 Determinación de Arsénico (As)	64
4.4.3.2 Determinación de Cobre (Cu)	66
4.4.3.3 Determinación de Cromo (Cr)	67
4.4.3.4 Determinación de Hierro (Fe)	68
4.4.3.5 Determinación de Níquel (Ni)	69
4.4.3.6 Determinación de Plomo (Pb)	70
4.4.3.7 Determinación de Zinc (Zn)	71
4.5 Análisis estadístico	71
Capítulo V	
5.0 Resultados y discusión de los resultados	75
5.1 Resultados del análisis de arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc en las muestras de sedimentos de manglar.	76
5.1.1 Resultados del análisis de arsénico en las muestras de sedimentos	76
5.1.2 Resultados del análisis de cobre en las muestras de sedimentos	79
5.1.3 Resultados del análisis de cromo en las muestras de sedimentos	82

5.1.4 Resultados del análisis de hierro en las muestras de sedimentos	84
5.1.5 Resultados del análisis de níquel en las muestras de sedimentos	86
5.1.6 Resultados del análisis de plomo en las muestras de sedimentos	88
5.1.7 Resultados del análisis de zinc en las muestras de sedimentos	90
5.2 Análisis estadístico	92
5.2.1 Comprobación de prueba estadístico a utilizar	93
5.2.2 Resultados análisis de prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc en las muestras de sedimentos.	96
Capítulo VI	
6.0 Conclusiones	100
Capítulo VII	
7.0 Recomendaciones	103
Bibliografía	
Anexos	

## INDICE DE ANEXOS

### ANEXO N°

1. Método de cuantificación: Espectroscopia de Absorción Atómica
2. Criterios de contaminación por Normativa estadounidense  
Orientación Técnica para detectar sedimentos contaminados
3. Ecosistemas marinos
4. Ubicación de zona de estudio
5. Recolección de muestras
6. Materiales, cristalería, equipo, reactivos y preparación de reactivos para la determinación de metales
7. Pre- tratamiento y tratamiento de las muestras de sedimentos
8. Planteamiento de cálculos para la preparación de solución stock de 100 ppb arsénico, 20 ppm de cobre, hierro, níquel y plomo, 40 ppm de cromo y zinc y sus soluciones estándares
9. Cascadas de dilución, esquemas de dilución para la preparación de las soluciones estándares y cálculos para la determinación de arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc.
10. Esquemas para la preparación de las soluciones estándares en la determinación de arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc.
11. Curvas de calibración para cada uno de los metales pesados: arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc.
12. Lecturas obtenidas de As, Cu, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn por espectroscopia de absorción atómica y resultados de cálculos de concentración.
13. Análisis de Kruskal-Wallis de las concentraciones promedio de arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc.

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°		Pág. N°
1.	Gráfica de resultados del análisis de arsénico en sedimentos por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica por Llama	78
2.	Gráfica de resultados del análisis de cobre en sedimentos por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica por Llama	81
3.	Gráfica de resultados del análisis de cromo en sedimento por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica por Llama	83
4.	Gráfica de resultados del análisis de hierro en sedimentos por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica por Llama	85
5.	Gráfica de resultados del análisis de níquel en sedimentos por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica por Llama	87
6.	Grafica de resultados del análisis de plomo en sedimentos por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica con llama	89
7.	Grafica de resultados del análisis de zinc en sedimentos por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica por llama	91
8.	Dendograma de los seis sitios de muestreo de sedimentos	97
9.	Ubicación geográfica de los sitios de muestreo	98
10.	Diagrama típico del quemador en Espectroscopia de Absorción Atómica con llama	114

11.	Diagrama de Absorción Atómica Generador de Hidruro	114
12.	Componentes básicos de un equipo de absorción atómica	116
13.	Distribución de Manglares en El Salvador	119
14.	Sitios Ramsar en El Salvador	120
15.	Ubicación del Área Natural Protegida Barra de Santiago, departamentos de Ahuachapán y Sonsonate	122
16.	Zona costera occidental Barra de Santiago	123
17.	Sitios de recolección de muestras de sedimentos	124
18.	Selección y recolección de muestras de sedimentos	126
19.	Pre-tratamiento de las muestras de sedimentos	133
20.	Preparación de soluciones de trabajo de las muestras a partir de las cenizas	134
21.	Tratamiento de muestras para determinación de Cu, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn; por EEA con llama	135
22.	Tratamiento de muestras para determinación de As por EEA por técnica Generador de Hidruros	138
23.	Preparación de solución estándar de arsénico	170
24.	Preparación de solución estándar de cobre	171
25.	Preparación de solución estándar de cromo	172
26.	Preparación de solución estándar de hierro	173
27.	Preparación de solución estándar de níquel	174
28.	Preparación de solución estándar de plomo	175
29.	Preparación de solución estándar de zinc	176
30.	Determinación de arsénico por el método de EEA con Generador de Hidruros	177

31.	Determinación de cobre, cromo, hierro, níquel y zinc por el método de EEA con llama	179
32.	Determinación de plomo por el método de EEA con llama	180
33.	Curva de calibración de arsénico	182
34.	Curva de calibración de cobre	182
35.	Curva de calibración de cromo	183
36.	Curva de calibración de hierro	183
37.	Curva de calibración de níquel	184
38.	Curva de calibración de plomo	184
39.	Curva de calibración de zinc	185
40.	Parámetros del equipo Espectroscopia de Absorción Atómica	185

## INDICE DE TABLAS

TABLA N°		Pág. N°
1.	Los sitios recolectados de sedimentos de manglar	75
2.	Resultados del análisis promedio de arsénico en ppm	76
3.	Resultados del análisis promedio de cobre en ppm	79
4.	Resultados del análisis promedio de cromo en ppm	82
5.	Resultados del análisis promedio de hierro en %	84
6.	Resultados del análisis promedio de níquel en ppm	86
7.	Resultados del análisis promedio de plomo en ppm	88
8.	Resultados del análisis promedio de zinc en ppm	90
9.	Resumen de promedios de la determinación de arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc en sedimentos.	93
10.	Prueba de Kolmogorov-Sminorv para arsénico	94
11.	Prueba de Kruskal Wallis para hierro	95
12.	Resumen de P-value de cada metal pesado en estudio	96
13.	Diluciones de las muestras para determinación de hierro.	163
14.	Concentración de arsénico en sedimentos obtenidas por el Espectrofotómetro de Absorción Atómica	190

## INDICE DE CUADROS

CUADRO N°		Pág. N°
1.	Codificación de las muestras de sedimentos recolectados de acuerdo a los puntos de muestreo	59
2.	Total de análisis de los metales pesados en muestras de sedimentos.	62
3.	Normativa Estadounidense Orientación técnica para detectar sedimentos contaminados	117



## **ABREVIATURAS Y SIGLAS**

<b>CO<sub>2</sub>:</b>	Dióxido de carbono
<b>EAA:</b>	Espectrofotometría de Absorción Atómica
<b>FAAS:</b>	Espectrofotometría de absorción atómica con Llama
<b>HCl:</b>	Ácido clorhídrico
<b>HNO<sub>3</sub>:</b>	Ácido nítrico
<b>MARN:</b>	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales
<b>msnm:</b>	Metros sobre nivel del mar
<b>p/v:</b>	Peso sobre volumen
<b>Ramsar:</b>	Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional

## SIMBOLOGIAS

<b>µg/g:</b>	Microgramos por gramos
<b>µL:</b>	Microlitro
<b>µm:</b>	Micrómetro
<b>As:</b>	Arsénico
<b>Cd:</b>	Cadmio
<b>Cr:</b>	Cromo
<b>Cu:</b>	Cobre
<b>Fe:</b>	Hierro
<b>g/L:</b>	Gramos por litros
<b>g:</b>	Gramos
<b>Kg:</b>	Kilogramo
<b>mg/kg:</b>	Microgramos por kilogramos
<b>mg:</b>	Miligramo
<b>mm:</b>	Milímetro
<b>Ni:</b>	Níquel
<b>nm:</b>	Nanómetro
<b>Pb:</b>	Plomo
<b>ppb:</b>	Partes por billón
<b>ppm:</b>	Partes por millón
<b>Zn:</b>	Zinc

## RESUMEN

Los sedimentos forman parte de cualquier ambiente acuático por ello se les puede considerar como un medio disponible para evaluar e identificar fuentes de contaminación por metales pesados, Es de gran utilidad conocer la concentración de estos metales por la tendencia a bioacumularse en el ambiente provocada por la contaminación natural y antropogénica esta última que contribuye al alto grado de contaminación por la desembocadura de los ríos, por arrastre de las corrientes de agua, por consiguiente, esta contaminación afecta a las especies que se desarrollan y alimentan de sedimentos y materiales arrastrados por las corrientes tal el caso de *Anadara tuberculosa* la cual es comercializada para consumo humano.

Esta investigación tuvo como finalidad analizar los sedimentos de manglar; se llevó a cabo una investigación de campo visitando Barra de Santiago del Departamento de Ahuachapán, área protegida que está constituida en su mayor parte por bosque de mangle y estero.

Además, se realizó la determinación de metales pesados en los sedimentos (arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc); utilizando Espectrofotometría de Absorción Atómica: Generador de hidruros para arsénico y llama para resto de metales.

Los resultados se compararon con la Normativa Orientación Técnica para detectar sedimentos contaminados, en la que describe dos niveles de contaminación: nivel de efecto más bajo y nivel de efecto severo; y se evaluaron estadísticamente aplicando Kruskal-Wallis; para evaluar el comportamiento de los datos experimentales obtenidos.

La investigación se desarrolló en el periodo de febrero 2018 a julio 2019, las muestras se recolectaron en la época lluviosa en el mes de agosto 2018 y la parte experimental se llevó a cabo de agosto a septiembre del 2018, en el laboratorio

de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

Los resultados revelan presencia de arsénico en concentraciones que sobrepasan el nivel de efecto más bajo; sin alcanzar niveles de efecto severo, para hierro un sitio sobrepasa el nivel de efecto más bajo. Las concentraciones encontradas de elementos como Cu, Cr, Ni, Pb y Zn no alcanzan ninguno de los niveles críticos.

CAPITULO I  
INTRODUCCION

## 1.0 INTRODUCCION

El desarrollo tecnológico, el crecimiento poblacional y la industrialización son factores que contribuyen a que ingresen al ambiente de manera continua un gran número de sustancias tóxicas, dichos contaminantes tóxicos las cuales son aquellas formas de materia que exceden las concentraciones naturales en un sistema y causa impactos negativos en el medio ambiente, entre estos contaminantes tenemos los pesticidas, aceites y grasas, y los metales.

Los metales tienen la capacidad de bioacumularse en formas que son difíciles de remover, debido a sus propiedades físicas y química, pueden desplazarse o resuspenderse hacia la columna de agua, convirtiéndose en fuentes secundarias de contaminación.

En la investigación se determinó metales en los sedimentos asociados a las zonas de mayor reproducción de *Anadara tuberculosa* especie comestible de moluscos marinos perteneciente a la familia Arcidae; ya que su hábitat son fondos lodosos de los manglares donde puede verse alterado por contaminantes antropogénicos como también naturales, por lo que existe la necesidad de estudiar el nivel de contaminación presente en los sedimentos donde esta especie se reproduce, crece y alimenta.

El estudio se desarrolló en 2 fases; una bibliográfica y una investigación de campo, en la cual se identificaron los sitios luego se recolectaron por triplicado las muestras de sedimentos a una profundidad de 15 a 20 cm, obteniéndose 1kg por muestra con una distancia de 10 metros por cada una, con un total de 18 muestras de 6 sitios con ayuda de un guarda recursos que tienen conocimiento de las zonas de mayor contaminación o reproducción de la especie *Anadara tuberculosa*. Siendo la zona de estudio “el sitio Ramsar Complejo Barra de Santiago ubicado en el Departamento de Ahuachapán”, la cual es considerada como la zona de manglar de mayor importancia.

La investigación se desarrolló en el periodo de febrero 2018 a julio 2019, las muestras se recolectaron en la época lluviosa en el mes de agosto 2018 y la parte experimental se desarrolló de agosto a septiembre del 2018, en el laboratorio de Química agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

La parte experimental de la investigación se basó en un análisis químico e instrumental para la determinación de metales (arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel y zinc); aplicando el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica por dos técnicas: Generador de Hidruros para arsénico por vía húmeda; Espectroscopia de Llama para cobre, cromo, hierro y zinc por vía seca.

Los valores obtenidos en los análisis de dichos metales se compararon con la normativa estadounidense Orientación técnica para detectar sedimentos contaminados para determinar si los sedimentos se encuentran leve o severamente contaminados. La evaluación de los resultados se realizó aplicando la prueba estadística Kruskal-Wallis para refutar la hipótesis nula y el análisis de conglomerados para facilitar la interpretación de resultados; utilizando el programa SPSS Statistics.

La investigación reveló presencia de arsénico en concentraciones que sobrepasan el nivel de efecto más bajo; sin alcanzar niveles de efecto severo, para hierro un sitio sobrepasa el nivel de efecto más bajo. Las concentraciones encontradas de elementos como el Cu, Cr, Ni, Pb y Zn no alcanzan ninguno de los niveles críticos (nivel de efecto más bajo y nivel de efecto severo).

A partir de estos resultados se recomienda que se lleven a cabo monitoreos periódicos de la concentración de metales en los sedimentos en el sitio RAMSAR tanto en época seca como lluviosa para determinar si la escorrentía y las precipitaciones pluviales son factores que puedan incidir en la contaminación proveniente de la parte alta de la cuenca y la consecuente acumulación de dichos contaminantes en los sedimentos.

## CAPITULO II

### OBJETIVOS



## **2.0 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Determinar metales pesados en sedimentos de manglar del hábitat de *Anadara tuberculosa* (concha peluda) en Barra de Santiago, Departamento de Ahuachapán, El Salvador.

### **2.2 Objetivos específicos**

- 2.2.1 Identificar los sitios de muestreo de mayor incidencia de reproducción *Anadara tuberculosa* (concha peluda).
- 2.2.2 Recolectar las muestras de sedimentos utilizando técnicas adecuadas.
- 2.2.3 Cuantificar la concentración de metales (arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc) en sedimentos por el método de Absorción Atómica.
- 2.2.4 Comparar resultados obtenidos con los límites establecidos por Normativa estadounidense para sedimentos “Orientación técnica para detectar sedimentos contaminados” (Technical Guidance for Screening Contaminated Sediments).
- 2.2.5 Realizar el análisis estadístico de los resultados utilizando la prueba de Kruskal Wallis con el fin de comprobar si existe diferencias significativas entre los sitios de muestreo.

CAPITULO III  
MARCO TEORICO

### 3.0 MARCO TEORICO

#### 3.1 Contaminación ambiental. <sup>(22)</sup>

La contaminación ambiental básicamente es la presencia en el ambiente de cualquier agente (físico, químico o biológico) puede estar en diversas formas y concentraciones en donde estas pueden ser nocivos para la salud, la seguridad o para el bienestar de la población, o bien, que puedan ser perjudiciales para la vida vegetal o animal, o impidan el uso normal de las propiedades y lugares de recreación y goce de los mismos, actualmente se sabe que la mayoría de los seres vivos residen en áreas donde la contaminación ambiental es superior a los límites establecidos como saludables.

El tipo de combinaciones tóxicas presentes y su concentración en el ambiente dependerán estrechamente del nivel de desarrollo industrial de cada país, de la actividad industrial predominante y de las medidas de protección al ambiente que tenga.

Las alteraciones que causan algunas sustancias sobre la salud son relativamente fáciles de reconocer y evaluar, sobre todo cuando estos efectos son inmediatos, como en los envenenamientos o las intoxicaciones agudas, los problemas respiratorios o en la piel. Es más difícil establecer una asociación causa-efecto cuando el agente tóxico produce daños a la salud después de un tiempo largo o cuando las manifestaciones metabólicas, fisiológicas o patológicas aparecen mucho tiempo después de la exposición. Es el caso de algunas sustancias tóxicas que inducen afecciones cardiovasculares o cáncer. Para ello es necesario que proteja los recursos renovables y no renovables y que tome conciencia de que el saneamiento del ambiente es fundamental para la vida sobre el planeta.

La contaminación puede surgir a partir de varias manifestaciones de la naturaleza (fuentes naturales) o bien debido a los diferentes procesos productivos del

hombre (fuentes antropogénicas) que conforman las actividades de la vida diaria.

Este contacto con contaminantes tóxicos puede darse durante procesos de producción, distribución o utilización de productos como medicamentos, alimentos, productos de limpieza, insecticidas, pesticidas, formulaciones industriales y artículos para el hogar, o bien cuando éstos son desechados al ambiente. Los casos de exposición a un solo producto tóxico son raros, y pueden presentarse debido a la actividad laboral o descubrirse en estudios con animales de laboratorio, aunque prácticamente no se observan en animales de vida silvestre.

### **3.2 Sedimentos superficiales**

Los sedimentos están constituidos por compuestos orgánicos e inorgánicos, provenientes de fuentes internas o externas al cuerpo de agua. La materia orgánica de los sedimentos está compuesta de microorganismos (fitoplancton, zooplancton y bacterias), restos de macrófitas, organismos de gran tamaño y derivados de la descomposición de la materia orgánica. Por su parte, la materia inorgánica está compuesta por elementos provenientes de la erosión de las rocas, causada por las corrientes de agua y el viento, el cual arrastra y levanta partículas, mientras que la lluvia o granizo impacta el terreno movilizandopartículas de rocas y suelos, que son transportadas hacia los sistemas acuáticos.

(21)

La acción del agua que fluye en los ríos transporta los materiales sedimentarios a grandes distancias. Los materiales sedimentarios pueden ser llevados por el agua que fluye en esas corrientes, de las siguientes formas<sup>(33)</sup>:

- Carga disuelta.
- Carga suspendida de materiales sedimentarios sólidos llevados en suspensión.
- Carga de fondo transportada a lo largo del fondo del cauce del río.

Bajo condiciones normales, el lodo finamente dividido, la arcilla o la arena muy fina constituyen la mayor parte de la carga en suspensión. El grado y la velocidad de movimiento del material sedimentario en suspensión en las corrientes están en función de la velocidad de flujo de agua y de la velocidad de sedimentación de las partículas en suspensión. <sup>(31)</sup>

Los ríos movilizan los materiales sedimentarios mediante la erosión, los transportan junto con el flujo del río y posteriormente son depositados. Los depósitos de sedimentos llevados por los ríos se llaman aluviones. <sup>(31)</sup>

Los sedimentos transportados por los ríos son reservorios de metales pesados en el medio acuático. <sup>(30)</sup>

### **3.3 Contaminación de sedimentos por metales**

Los sedimentos forman parte de cualquier ambiente acuático por ello se les puede considerar como un medio disponible para evaluar e identificar fuentes de contaminación por metales pesados. Los sedimentos nos dan una perspectiva acerca del grado de contaminación y además de ello son capaces de dar información acerca de la influencia que ejerce la contaminación inducida por actividades del ser humano. <sup>(51)</sup>

Los metales no son retenidos en los sedimentos permanentemente, debido a la influencia de los cambios en algunas propiedades fisicoquímicas del sistema tales como: pH, potencial redox y temperatura, por lo que los sedimentos pueden actuar como portadores de metales y posibles fuentes de contaminación. <sup>(50)</sup>

Los metales ligados a los sedimentos en altas concentraciones ejercen efectos adversos sobre la biota en la cual residen. El Hg, Co, Ni, Pb, Co, Cd, entre otros, son los metales que pueden ser considerados más tóxicos para las plantas, si estos se encuentran en concentraciones elevadas. Esta toxicidad, también puede

afectar otros niveles superiores de la cadena alimenticia, tanto por ingesta directa como por la potencial transmisión a través de la cadena trófica. <sup>(1)</sup>

### **3.4 Generalidades de metales**

Los metales pesados son elementos químicos que poseen una densidad igual o superior a  $6 \text{ g/cm}^3$ , cuando están presentes en su forma elemental. Se encuentran localizados entre los números atómicos (Z) 22 al 34, 40 al 52 y 72 al 84, además de la serie lantánida y actínida. Los metales más comunes en sedimentos y aguas son Fe, Cu, Zn, Pb, Ni, As, Hg y Cd. Los riesgos producidos son función, entre otros, de la toxicidad y el carácter acumulativo de cada elemento. <sup>(12)</sup>

Los metales pesados provienen generalmente de aguas residuales comerciales e industriales. Aunque algunos de estos metales son necesarios para la vida, las concentraciones elevadas de éstos pueden interferir en procesos de autodepuración y por supuesto que su vertido al medio acuático podría poner en peligro el aprovechamiento de las aguas naturales dada su alta toxicidad. <sup>(49)</sup>

El transporte y la movilidad de metales pesados en sedimentos no sólo dependen de su concentración, sino también de la especiación y solubilidad de sus compuestos.

Procesos como la precipitación, absorción, co-precipitación, intercambio catiónico, formación microbiana y absorción por las plantas que pueden ocurrir por cambios en las condiciones ambientales, determinan la concentración de iones de metales pesados transferidos de la columna de agua al sedimento. <sup>(46)</sup>

De esta forma, los sedimentos constituyen un medio de acumulación donde los metales pesados pueden estar disponibles para las plantas y otros organismos acuáticos. <sup>(37)</sup>

### **3.4.1 Arsénico**

#### **3.4.1.1. Generalidades del arsénico.** <sup>(25)</sup>

El arsénico es un elemento ampliamente distribuido en la corteza terrestre. El arsénico 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. El arsénico combinado con estos elementos se conoce como arsénico inorgánico. El arsénico combinado con carbono e hidrógeno se conoce como arsénico orgánico.

#### **3.4.1.2 Fuentes naturales de arsénico.** <sup>(7)</sup>

En la naturaleza el arsénico se encuentra libre y combinado en un gran número de minerales, generalmente se encuentra en forma pentavalente. Existen más de 150 minerales que lo contienen algunos de estos son: Arsenolita, Cobaltita, Oropimento y Arseniuros. El promedio de arsénico en la corteza terrestre es de 2 ppm. No obstante, su distribución es muy heterogénea en los suelos que yacen sobre depósitos de sulfuros, se ha encontrado en concentraciones de hasta 8000 mg/Kg.

#### **3.4.1.3 Efectos tóxicos del arsénico en el ser humano**

El arsénico es uno de los más tóxicos elementos que pueden ser encontrados. Debido a sus efectos tóxicos, los enlaces de arsénico inorgánico ocurren en la tierra naturalmente en pequeñas cantidades. Los humanos pueden ser expuestos al Arsénico a través de la comida, agua y aire.

Los niveles de arsénico en la comida son bastante bajos, no es añadido debido a su toxicidad, pero los niveles de arsénico en peces y mariscos puede ser alta,

porque los peces absorben arsénico del agua donde viven. Por suerte esto es mayormente la forma de arsénico orgánico menos dañina, pero peces que contienen significantes cantidades de arsénico inorgánico pueden ser un peligro para la salud humana.

La exposición al arsénico inorgánico puede causar varios efectos sobre la salud, como es irritación del estómago e intestinos, disminución en la producción de glóbulos rojos y blancos, cambios en la piel, e irritación de los pulmones. Algunos estudios plantean que es posible que la ingesta de significantes cantidades de arsénico inorgánico puede intensificar las posibilidades de desarrollar cáncer, especialmente de cáncer de piel, pulmón e hígado.

A exposiciones muy altas de arsénico inorgánico puede causar infertilidad y abortos en mujeres, puede causar perturbación de la piel, pérdida de la resistencia a infecciones, perturbación en el corazón y daño del cerebro tanto en hombres como en mujeres. <sup>(17)</sup>

Finalmente, el arsénico inorgánico puede dañar el ácido desoxirribonucleico (ADN). El arsénico orgánico no puede causar cáncer, ni tampoco daño al ADN. Pero exposiciones a dosis elevadas puede causar ciertos efectos sobre la salud humana, como es lesión de nervios y dolores de estómago.

### **3.4.2 Cobre.** <sup>(9) (19)</sup>

#### **3.4.2.1 Generalidades de cobre**

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) o, expresado de otra manera, 50 gramos de cobre por 1, 000,000 de gramos de suelo (1.8 onzas ó 0.11 libras de cobre por 2,220 libras de suelo). 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.

#### **3.4.2.2 Fuentes naturales del cobre**

Se encuentra en muchas mezclas de metales, llamadas aleaciones, como por ejemplo latón y bronce. Existen muchos compuestos (sustancias formadas por dos o más sustancias químicas) de cobre. Estos incluyen a minerales que ocurren naturalmente como también a productos manufacturados. El compuesto de cobre que se usa más comúnmente es el sulfato de cobre. Muchos compuestos de cobre pueden ser reconocidos por su color azul-verdoso.

El cobre es minado y procesado extensamente en los Estados Unidos y es usado principalmente por sí solo o en aleaciones en la manufactura de alambre, láminas de metal, cañerías y otros productos de metal. Los compuestos de cobre se usan comúnmente en agricultura para tratar enfermedades de las plantas, por ejemplo, hongos, o para el tratamiento de aguas y como preservativo para madera, cuero y telas.

#### **3.4.2.3 Efectos tóxicos del cobre en el ser humano.** <sup>(19)</sup>

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. Beber agua que contiene niveles de cobre más altos que lo normal, puede sufrir 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. No sabemos si el cobre puede producir cáncer en seres humanos. La EPA no ha clasificado al cobre en cuanto carcinogenicidad en seres humanos porque no hay estudios adecuados en seres humanos o en animales.

### **3.4.3 Cromo.** <sup>(20)</sup>

#### **3.4.3.1 Generalidades del cromo**

Es el sexto elemento más abundante de la corteza terrestre y se presenta en combinación con otros elementos mostrando una gran variedad de colores. Es un metal duro, blanco, brillante y frágil. Presenta una configuración electrónica  $[\text{Ar}] 3d^5 4s^1$  y estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo (bcc). Su estructura cristalina lo ha convertido en un aleante de propiedades interesantes a nivel industrial, como son la resistencia al calor y a la corrosión. Se disuelve en ácido clorhídrico y sulfúrico, pero se pasiva con ácido nítrico o agua regia. A elevadas temperaturas reacciona con halógenos, oxígeno, carbón, azufre, silicio y boro.

#### **3.4.3.2 Fuentes naturales de cromo.** <sup>(3)</sup>

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. El cromo también puede ser liberado al ambiente al quemar gas natural, petróleo o carbón.

#### **3.4.3.3 Efectos tóxicos del cromo en el ser humano.** <sup>(4) (43)</sup>

El Cromo (VI) es un peligro para la salud de los humanos, mayoritariamente para la gente que trabaja en la industria del acero y textil. La gente que fuma tabaco también puede tener un alto grado de exposición al Cromo. El Cromo (VI) es conocido porque causa varios efectos sobre la salud. Cuando es un compuesto en los productos de la piel, puede causar reacciones alérgicas, como es erupciones cutáneas. Después de ser respirado el Cromo (VI) puede causar irritación de la nariz y sangrado de la nariz. Otros problemas de salud que son causados por el Cromo (VI) son: Erupciones cutáneas, malestar de estómago y

úlceras, problemas respiratorios, debilitamiento del sistema inmune, daño en los riñones e hígado, alteración del material genético, cáncer de pulmón, muerte.

#### **3.4.4 Hierro.** <sup>(13)</sup>

##### **3.4.4.1 Generalidades de hierro**

El hierro es esencial para la vida de los organismos, la función dominante del hierro en el cuerpo humano es fijar el oxígeno a la hemoglobina, proteína que se encarga de transportar el oxígeno desde los pulmones a todos los tejidos. Ayuda a la síntesis de mioglobina, a la formación de glóbulos rojos, tejido muscular, ayuda al metabolismo de las vitaminas del complejo B, facilita el transporte de O<sub>2</sub> para la respiración celular.

Es un componente de enzimas de desintoxicación microsomal, ayuda al metabolismo oxidativo, mejora los mecanismos de defensa e inmunológicos, mejora la actividad física y favorece el control de la temperatura corporal. El rápido crecimiento hace de los lactantes y los niños de corta edad un grupo de riesgo particular para la anemia deficiente en hierro. <sup>(44)</sup>

##### **3.4.4.2 Fuentes naturales del hierro.** <sup>(13)</sup>

Este oligoelemento se presenta en las estructuras cristalinas de numerosos minerales y en alimentos como la levadura de cerveza, salchicha, mortadela, soya, germen de trigo, melaza, frijol, garbanzo, hígado de res, melocotón seco, yema de huevo, haba blanca, almeja fresca, harina de cambur, solomo y avena.

##### **3.4.4.3 Concentración natural de hierro en el suelo**

El hierro es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre, después del silicio, oxígeno y aluminio, representa el 5.1% de su peso total y su contenido en suelo se estima en un 3.8%. Al igual que para el resto de nutrientes el punto de partida de este elemento en el suelo son los minerales primarios, que incluyen

silicatos ferromagnéticos; estos minerales junto con las biotitas constituyen la mayor fuente de hierro en las rocas ígneas.

A partir de la meteorización de los minerales primarios se libera hierro soluble, que podrá ser utilizado por los organismos, unirse a distintos ligandos orgánicos, o bien ser transformado a minerales secundarios tales como sulfuros, carbonatos, minerales de arcilla, pero fundamentalmente óxidos e hidróxidos de distinta composición y grados de cristalización que serán los que controlen principalmente la solubilidad de este elemento en el suelo. <sup>(16)</sup>

#### **3.4.4.4 Concentración natural de hierro en agua**

Este oligoelemento está presente en aguas dulces naturales en concentraciones de 0.5-50 mg/L y debido a la utilización de coagulantes de hierro o a la corrosión de tuberías de acero durante la distribución del agua puede haber hierro en el agua de consumo humano. <sup>(16) (30)</sup>

#### **3.4.4.5 Toxicidad del hierro en el ser humano**

La ausencia o exceso en el organismo humano de este elemento puede causar diversos síntomas, una disminución en la concentración de hierro produce anemia microcítica y un exceso fomenta el estrés oxidativo por favorecer la formación de radicales libres (OH), incrementa el riesgo a infecciones, diabetes, siderosis y cáncer. <sup>(20) (43)</sup>

#### **3.4.5 Níquel.** <sup>(10)</sup>

##### **3.4.5.1 Generalidades de níquel**

El níquel puro es un metal duro, blanco-plateado, que tiene propiedades que lo hacen muy deseable para combinarse con otros metales y formar mezclas llamadas aleaciones. Algunos de los metales con los cuales se combina el níquel son el hierro, cobre, cromo y zinc. 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 (se disuelven fácilmente en agua) y tienen un color verde característico. El níquel y sus compuestos no tienen ni olor ni sabor característico. Los compuestos de níquel se usan para niquelado, colorear cerámicas, fabricar baterías, y como sustancias conocidas como catalizadores, que aceleran la velocidad de reacciones químicas.

#### **3.4.5.2 Fuentes naturales de níquel.** <sup>(6)</sup>

El níquel ocurre en forma natural en la corteza terrestre combinado con otros elementos. Se encuentra en todos los suelos y es liberado por volcanes. El níquel ocupa el lugar número 24 en la lista de elementos más abundantes. En el ambiente se encuentra principalmente combinado con oxígeno o azufre en forma de óxidos o sulfuros. El níquel también se encuentra en meteoritos y en el fondo del océano formando masas de minerales llamadas nódulos del fondo del mar. El centro de la tierra está compuesto de 6% de níquel. El níquel es liberado a la atmósfera cuando se mina y por industrias que fabrican o usan níquel, aleaciones de níquel o compuestos de níquel. Estas industrias también pueden desechar níquel en aguas residuales. El níquel también es liberado a la atmósfera por plantas de energía que queman petróleo o carbón y por incineradores de basura.

#### **3.4.5.3 Efectos tóxicos de níquel en el ser humano**

La población general está expuesta a níquel principalmente por inhalación o contacto cutáneo con productos fabricados con aleaciones de níquel, lo que puede provocar reacciones alérgicas. En el organismo de los seres vivos este elemento preferentemente se acumula en los riñones y pulmones. Los efectos agudos por la ingestión de dosis elevadas de compuestos de níquel son irritación

intestinal, convulsiones y asfixia; mientras que los efectos provocados por la inhalación aguda de partículas que contienen níquel causan irritación pulmonar, asma, neumoconiosis, fibrosis y edema pulmonar. <sup>(6)</sup>

### **3.4.6 Plomo.** <sup>(11) (17)</sup>

#### **3.4.6.1 Generalidades del plomo**

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. Generalmente se encuentra combinado con otros dos o más elementos formando compuestos de plomo.

El plomo metálico es resistente a la corrosión (resiste la acción del aire o del agua). Cuando el metal se expone al aire, una capa fina de compuestos de plomo cubre al metal y lo protege de ataque adicional. El plomo es fácil de moldear y tallar. El plomo puede combinarse con otros metales para formar aleaciones. El plomo y las aleaciones de plomo son componentes comunes de cañerías, baterías, pesas, proyectiles y municiones, revestimientos de cables y láminas usadas para protegernos de la radiación. El principal uso del plomo es en baterías para automóviles y otros vehículos.

La densidad del plomo es de 11.85, este valor, el más alto dentro de la familia IVA, es uno de los factores, que, lo convierte en un metal denso, tóxico y acumulativo. <sup>(27) (39)</sup>

#### **3.4.6.2 Fuentes naturales de plomo.** <sup>(29)</sup>

El plomo es un elemento poco abundante en la litosfera (de 10 a 20 µg/g) y su mayor concentración se encuentra en el mineral denominado galena. Los depósitos de plomo por acción de la erosión eliminan plomo, por lo que de esta manera la hidrosfera, adquiere o se convierte en una fuente natural de plomo. Otra fuente importante de este metal en la atmosfera es el plomo depositado de

las expulsiones de la lava meteórica, cuerpos que producen gran cantidad de partículas y aerosoles; todas estas cantidades de plomo se consideran como fuentes naturales de este metal, ya que no intervienen intencionalmente la acción directa o indirecta del hombre.

#### **3.4.6.3 Efectos tóxicos del plomo en el ser humano.** <sup>(23)</sup>

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.
- Daño al cerebro.
- Disminución de la fertilidad del hombre a través del daño en el esperma.
- Disminución de las habilidades de aprendizaje de los niños.
- Perturbación en el comportamiento de los niños, como es agresión, comportamiento impulsivo e hipersensibilidad.

#### **3.4.7 Zinc.** <sup>(8)</sup>

##### **3.4.7.1 Generalidades de zinc**

El zinc es uno de los elementos más comunes en la corteza terrestre. El zinc se encuentra en el aire, el suelo y el agua, y está presente en todos los alimentos. En su forma pura elemental (o metálica), el zinc es un metal brillante de color blanco-azulado. El zinc en polvo es explosivo y puede estallar en llamas si se mantiene en lugares húmedos. El zinc metálico tiene muchos usos en la industria. 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. El zinc metálico también se mezcla con otros metales para formar aleaciones tales

como el latón y bronce. Una aleación de zinc y cobre se usa para fabricar las monedas de un centavo en Estados Unidos. El zinc metálico también se usa para fabricar compartimentos de baterías secas

#### **3.4.7.2 Fuentes naturales del zinc.** <sup>(53)</sup>

El zinc es un mineral el cual no existe libre en la naturaleza, se encuentra en forma de óxido de zinc, silicato de zinc, carbonato de zinc y sulfuro de zinc. Está presente en diversos alimentos como semillas, habas, nueces, germen de trigo, levadura de cerveza, leche, huevo, carne, mariscos y granos.

#### **3.4.7.3 Concentración natural de zinc en el suelo**

La disponibilidad del zinc se reduce de manera significativa en la medida que aumenta el pH del suelo, varias investigaciones han demostrado que su disponibilidad se puede reducir hasta 30 veces por cada unidad de pH que se aumente dentro del rango entre 5.0-7.0.

Además del pH una alta disponibilidad de fósforo disminuye la absorción de zinc, lo cual es poco común en terrenos de El Salvador ya que la mayoría son muy deficientes en fósforo, algunos investigadores han demostrado que un exceso de uno de ellos puede reducir la disponibilidad del otro y viceversa. Otro aspecto importante es cuando los terrenos han sido nivelados para mejorar el manejo del agua de irrigación ya que produce deficiencias de zinc debido a la eliminación de materia orgánica y/o a la compactación de los suelos. <sup>(50)</sup>

#### **3.4.7.4 Concentración natural de zinc en el agua**

Se presenta de forma natural en el agua, la media de concentración presente en el agua de mar es de 0.6-5 ppb y en los ríos generalmente entre 5 y 10 ppb de este elemento. <sup>(53)</sup>



### **3.4.7.5 Toxicidad del zinc en el ser humano**

El zinc es un elemento traza que es esencial para la salud humana, cuando la gente absorbe poco zinc estos pueden experimentar una pérdida del apetito, disminución de la sensibilidad, el sabor y el olor. La deficiencia de zinc perjudica el sistema inmunitario, se relaciona con retraso en el crecimiento y puede causar pérdida del cabello, diarrea, impotencia, lesiones oculares y de piel, pérdida de apetito, pérdida de peso, tardanza en la cicatrización de las heridas y anomalías en el sentido del olfato. Puede dañar a los niños que no han nacido y a los recién nacidos, está relacionado en la dermatitis del lactante por su carencia en leches artificiales o de vaca, siendo abundante en la leche materna, pero cuando sus madres han absorbido grandes concentraciones de zinc puede producir defectos de nacimiento. <sup>(30) (52)</sup>

### **3.5 Comportamiento de los metales en sedimentos de manglar**

Los metales pesados tienden a acumularse en la fracción de menor tamaño de grano del sedimento y pasan a formar parte de los sedimentos de fondo mediante procesos de sedimentación y floculación. <sup>(12)</sup>

Pueden ser absorbidos por la vegetación y otros organismos provocando la afectación a niveles superiores de la cadena trófica. El comportamiento, biodisponibilidad y movilidad de metales pesados en sedimentos depende de distintos procesos físico-químicos. <sup>(40)</sup>

Entre los mecanismos fisicoquímicos que intervienen en los sistemas naturales se encuentran la adsorción, floculación, intercambio iónico, precipitación, co-precipitación y acomplejamiento-quelación.

#### **- Adsorción**

Es un proceso en el cual un soluto contenido en una fase líquida se transfiere

hacia una fase sólida por retención en su superficie. Este proceso significa un exceso de concentración en la superficie de la fase sólida, y es probable que se efectúe en toda la superficie de la misma, esta última es conocida como adsorbente y la sustancia adsorbida se conoce como adsorbato. <sup>(39)</sup>

### **- Floculación**

Este proceso consiste en la aglomeración de partículas pequeñas para formar partículas de mayor tamaño, a través de medios mecánicos, químicos y biológicos. La floculación precede a la coagulación, pero es en la floculación donde las partículas conservan su individualidad, debido a que pueden desplazarse solas. <sup>(5)</sup>

### **- Intercambio iónico**

Es un proceso de separación basada en la transferencia de materia fluido-sólido. Implica la transferencia de uno o más iones de la fase fluida al sólido por intercambio o desplazamiento de iones de la misma carga, que se encuentran unidos por fuerzas electrostáticas a grupos funcionales superficiales. La eficacia del proceso depende del equilibrio sólido-fluido y de la velocidad de transferencia de materia. <sup>(26)</sup>

### **- Precipitación**

Se refiere a la formación de sólidos mediante el proceso de nucleación en una solución por un incremento en la concentración de las especies; es decir, por sobresaturación de la solución. Este proceso está determinado por la naturaleza de las especies presentes y las características fisicoquímicas del medio donde tiene lugar. <sup>(39)</sup>

### **- Co-precipitación**

Es un proceso de impurificación de los precipitados. En la misma el precipitado y la impureza se separan de la solución conjuntamente. La co-precipitación incluye

sólo la impurificación de los precipitados por sustancias que normalmente son solubles. <sup>(39)</sup>

### **- Acomplejamiento- quelatación**

Los quelatos son complejos organometálicos, en los que un catión metálico se encuentra unido a varios ligandos. Por otra parte, una reacción de formación de complejos es aquella en la que una o varias moléculas de un disolvente son reemplazadas por otras especies químicas, estas especies unidas al ion central se les denominan ligandos. <sup>(14)</sup>

### **3.6 Importancia de la evaluación de los metales**

La contaminación en los sedimentos se produce, bien por la presencia de compuestos o elementos que normalmente no estarían sin la acción del hombre, o por un aumento o descenso de la concentración normal de las sustancias ya existentes debido a la acción humana. Uno de los componentes químicos potencialmente más tóxicos son los metales pesados, entre ellos: Sb, As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Se, Zn. El aporte de estos metales al ciclo hidrológico procede de diversas fuentes, siendo una de ellas de origen geoquímico a partir de los minerales que, por causas de la erosión, son arrastrados por el agua; no obstante, actualmente la mayor concentración es de origen antrópico. <sup>(23) (48)</sup>

Los ríos, son grandes receptores y agentes de transporte de metales pesados; además, son ecosistemas susceptibles a desequilibrarse, debido al efecto tóxico que presentan estos metales sobre los sistemas acuáticos, ya que estos no son biodegradables en comparación a otros contaminantes cuando están presentes en su forma elemental. <sup>(54)</sup>

Debido al incremento de la población y el creciente grado de industrialización en las cercanías de los ríos se ha generado gran interés en estudios de metales pesados en sedimentos fluviales ya que los metales pesados poseen elevada

toxicidad, alta persistencia y rápida acumulación por los organismos vivos. <sup>(54)</sup>

### **3.7 Factores del grado de toxicidad potencial y de biodisponibilidad que un metal presenta en el ambiente**

El grado de toxicidad potencial y la biodisponibilidad que un metal pesado presenta en un ambiente dado depende de varios factores, clasificados en dos grupos: factores bióticos y abióticos.

#### **3.7.1. Factores abióticos**

Los factores abióticos se dividen a su vez en dos subgrupos: factores inherentes al metal y factores fisicoquímicos ambientales.

Factores inherentes al metal, como la naturaleza del metal, disponibilidad en el medio y su tiempo de residencia en el sistema. <sup>(54)</sup>

Factores fisicoquímicos ambientales, principalmente el pH, potencial redox, presencia de iones inorgánicos, existencia de minerales de arcilla y oxi-hidróxidos metálicos, cantidad de materia orgánica y temperatura (influye en la solubilidad de los metales). <sup>(54)</sup>

#### **3.7.2. Factores bióticos**

Existen factores biológicos que intervienen en la solubilización e insolubilización de elementos inorgánicos, alteración de minerales y acumulación de metales. La especiación de un metal puede deberse a la acción ejercida por determinados organismos sobre los metales. La actividad metabólica de los microorganismos juega un papel importante en la movilidad de los elementos tóxicos en el medio ambiente. <sup>(54)</sup>

### **3.8 Método de cuantificación de metales: Espectrofotometría de absorción atómica**

### **3.8.1 Espectrofotometría de Absorción atómica con llama**

#### **3.8.1.1 Generalidades del método**

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. <sup>(48)</sup>

#### **3.8.1.2 Descripción de la técnica**

La técnica de atomización más usada es la FAAS (Espectrofotometría de absorción atómica con Llama), 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 avanzar aún más en la llama, se disuelve en átomos por acción del calor (Ver **Anexo N°1**); estos átomos absorben cualitativamente la radiación emitida por la lámpara y la cantidad de radiación absorbida está en función de su concentración.

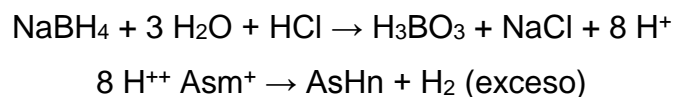
La señal de la lámpara una vez que pasa por la llama llega a un monocromador, que tiene como finalidad el discriminar todas las señales que acompañan la línea de interés. Esta señal de radiación electromagnética llega a un detector o transductor y pasa a un amplificador y por último a un sistema de lectura. <sup>(41)</sup>

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. <sup>(48)</sup>

### 3.8.2 Espectroscopia de Absorción Atómica con Generador de Hidruros <sup>(48)</sup>

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 **Anexo N°1**)

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 Hidroborato de sodio (NaBH<sub>4</sub>) en medio ácido (HCl).



Dónde:

H<sup>+</sup>: es el hidrógeno nascente

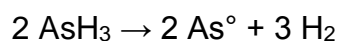
As: el elemento formador de hidruro

m<sup>+</sup>: su estado de oxidación (que puede o no coincidir con “n”, el índice de coordinación).

El reductor utilizado universalmente es el Hidroborato 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. <sup>(2) (44)</sup>

Cuando los gases pasan a través de este tubo calentado, ocurre una descomposición térmica, y se liberan los átomos del elemento:



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 analíto y agotarse los átomos de la celda de absorción.

### 3.8.3 Equipo de Absorción Atómica

**Descripción de cada componente del espectrofotómetro de absorción atómica.** <sup>(48)</sup>

- a) Fuente de radiación:** 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. Estas lámparas están constituidas por un cátodo metálico capaz de emitir radiaciones de las mismas longitudes de onda que son capaces de absorber los

átomos del elemento que se desea analizar. En algunas ocasiones los cátodos están formados por más de un elemento, de manera que se pueden utilizar para su determinación sin necesidad de cambiar la lámpara. También puede disponerse de las llamadas lámparas de descarga gaseosa, en las cuales se produce la emisión por el paso de corriente a través de un vapor de átomos metálicos, y que se emplean tan solo para algunos elementos como el Hg (Ver **Anexo N°1**).

**b) Sistema nebulizador-atomizador:** El nebulizador y el sistema atomizador suelen estar integrados en uno, especialmente en los equipos de absorción atómica. En este sistema, la disolución de la muestra (o parte de ella) es inicialmente aspirada y dirigida como una fina niebla hacia la llama (atomizador), lugar donde se forman los átomos en estado fundamental. Para obtener la llama se requiere un combustible (por ejemplo, acetileno) y un oxidante (como el aire) La óptica de un espectrofotómetro de absorción atómica es similar a la de cualquier otro espectrofotómetro (Ver **Anexo N°1**).

**c) Monocromador:** El monocromador (prismas, redes de difracción) En general, dispone de una rendija o ranura de entrada que limita la radiación lumínica producida por la fuente y la confina en un área determinada, un conjunto de espejos para pasar la luz a través del sistema óptico, un elemento para separar las longitudes de onda de la radiación lumínica, que puede ser un prisma o una rejilla de difracción, y una rendija de salida para seleccionar la longitud de onda con la cual se desea iluminar la muestra. Parte de la radiación no absorbida es dirigida hacia el detector (Ver **Anexo N°1**).

**d) Detector:** (por ejemplo, un fotomultiplicador), El sistema de detección puede estar diseñado con fotoceldas, fototubos, fotodiodos o fotomultiplicadores. Esto depende de los rangos de longitud de onda, de la sensibilidad y de la velocidad de respuesta requeridas. El sistema de detección recibe la energía lumínica proveniente de la muestra y la convierte en una señal eléctrica proporcional a la energía recibida. La señal eléctrica puede ser procesada y amplificada, para que



pueda interpretarse a través del sistema de lectura que una vez procesada es presentada al analista de diferentes maneras (Ver **Anexo N°1**) (por ejemplo, unidades de absorbancia).

**e) Amplificador:** es selectivo y amplifica la señal pasando luego a un dispositivo de lectura que puede ser un voltímetro digital o un registrador u otros (Ver **Anexo N°1**).

### **3.8.4 Aplicaciones**

La Espectrofotometría de Absorción Atómica constituye una de las técnicas empleadas para la determinación de más de 60 elementos, algunas aplicaciones incluyen: el análisis de agua de mar, aguas residuales, agua potable, determinación de metales en sangre, especiación de metales en solución, análisis de metales en solventes orgánicos, determinación de fertilizantes, análisis de suelos, análisis de metales pesados en alimentos contaminados, análisis de metales pesados en hortalizas, determinación de metales en muestras geológicas, composición de aceros, cementos, entre otros.

### **3.8.5 Algunas características importantes de la Espectrofotometría de Absorción Atómica**

- Aplicaciones principales: Análisis cuantitativo de precisión para un metal dado.
- Fenómeno atómico: absorción de la línea atómica característica.
- Ventajas en el análisis cualitativo: no es aplicable.
- Ventajas en el análisis cuantitativo: análisis rápido y fiable de un elemento dado.
- En algunos casos alta sensibilidad Muestra promedio deseable: 100 mg.
- Muestra de inyección: 50  $\mu\text{L}$ , cantidad ideal es de 10  $\mu\text{L}$  a 20  $\mu\text{L}$ .
- Limitaciones del método: los metales se analizan individualmente no simultáneamente. Por lo general no es aplicable a no metales.
- Limitaciones para la muestra: la mayoría de muestras orgánicas líquidas y sólidas requieren de digestión antes del análisis. <sup>(48)</sup>

### **3.9 Normativa estadounidense para detectar concentración de metales en Sedimentos.**

#### **3.9.1 Technical Guidance for Screening Contaminated Sediments (Orientación técnica para detectar sedimentos contaminados) <sup>(40)</sup>**

Esta normativa se empleará con el fin de comparar los resultados a obtener en la determinación de los metales ya que en el país no se cuenta con un parámetro de contaminación en sedimentos por metales pesados, con la finalidad de verificar si estos valores obtenidos se encuentran clasificados como sedimentos levemente o severamente contaminados.

La metodología utilizada describe que los sedimentos con concentraciones de contaminantes (metales pesados) que exceden los criterios enumerados en dicha normativa (Ver **Anexo N°2**) se consideran contaminados, y potencialmente causando impactos nocivos a los ecosistemas marinos y acuáticos.

El objetivo de la normativa es establecer criterios para identificar áreas contaminadas, a través del análisis de los sedimentos. Proporciona máxima garantía de protección ambiental a través de los esfuerzos de remediación, evolución de riesgos, gestión de riesgos y los resultados de otras investigaciones biológicas y químicas.

#### **3.9.2 Establecimiento de concentraciones de nivel de detección**

Debido a la incapacidad para predecir los efectos biológicos de las concentraciones de metales en sedimentos, la mejor alternativa es identificar los efectos ecológicos adversos que son atribuibles a las concentraciones de metales transmitidos por los sedimentos, y miden la concentración que causó el efecto adverso. El Ministerio de Medio Ambiente de Ontario emitió directrices sobre metales derivadas del enfoque de "Concentración de Nivel de Selección".

Para establecer criterios de contaminación de sedimentos, dos niveles de

protección como base se establecieron criterios de cribado de la calidad del sedimento, Siguiendo las definiciones de las Directrices del Ministerio de Ontario. Estos son los niveles de efecto más bajo y el de efecto severo. El nivel de efecto más bajo indica un nivel de contaminación de sedimentos que puede ser tolerada por la mayoría de los organismos bentónicos, pero todavía causa toxicidad a unas pocas especies. El nivel de efecto severo indica la concentración a la cual se pronuncia la perturbación del sedimento.

Si un total de metales la concentración en una muestra de sedimento es menor que el nivel de efecto más bajo, los efectos del metal en el sedimento se consideran aceptables. Si la concentración es mayor que el nivel de efecto más bajo pero menor que la concentración del nivel de efecto severo, el sedimento se considera contaminado, con impactos moderados a la vida bentónica. Si la concentración es mayor que la severa, el sedimento está contaminado y un daño significativo a los organismos bentónicos y se anticipa a la vida de estos organismos.

Estos criterios se consideran adecuados para identificar áreas de sedimento contaminado por metales, evaluar el riesgo potencial e identificando pruebas de seguimiento, estudios y opciones de gestión de riesgos adecuados.

### **3.9.2 Uso de Criterios de Sedimento en Decisiones de Gestión de Riesgos**

Una vez que se ha determinado que un criterio de sedimento es excedido, más se requiere información para determinar si es necesaria la reparación del sedimento.

Los sedimentos son bastante accesibles, la remediación de todos los sedimentos contaminados puede ser la acción más expeditiva. Si los volúmenes de sedimento son grandes y / o difíciles de remediar ya sea por la accesibilidad, la sensibilidad del hábitat deteriorado o la falta de tecnología eficaz, se justifican más evaluaciones de gestión de riesgos.

En general, la extensión del área de los sedimentos contaminados debe ser un factor en tomar en cuenta la necesidad y el método de remediación.

Una vez que se determina la fuente de contaminantes en los sedimentos, la longitud del tiempo en que un área particular de sedimentos permanezca contaminada dependerá de la persistencia de los productos químicos y las características específicas del sitio del sedimento, tales como: tasa de sedimentación; resuspensión biológicos y químicos.

Si un contaminante no es persistente (por ejemplo, concentraciones de contaminantes). se esperaría que cayera a niveles aceptables dentro de seis meses a un año), y si el efecto del contaminante no es severo, entonces la remediación de sedimentos puede no ser necesario. Incluso para un contaminante persistente, puede que no sea necesario remediar los sedimentos si el área contaminada es una zona de deposición, y el enterramiento natural de los sedimentos contaminados debajo de la zona de biología se esperaría que la actividad y la disponibilidad se daría en poco tiempo, y. la resuspensión de los contaminantes era poco probable.

### **3.10 Ecosistemas Marinos de El Salvador.** <sup>(35)</sup>

Los bosques de manglar son ecosistemas costeros, con especies altamente adaptadas a vivir en ambientes litorales, donde son influenciados por el mar y sistemas hídricos continentales. 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 en estos ecosistemas, 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.

Los manglares son considerados ingenieros naturales que integran, mantienen y determinan su ambiente físico. Su resiliencia natural incluye soportar condiciones de salinidad, desecación, inundación y capacidad de sostenerse en sustratos inestables. Las especies de flora nuclear de los manglares (“mangle rojo espigado” *Rhizophoraceae*, “mangle rojo” *R. mangle* *Rhizophoraceae*, “madresal” *Avicennia germinans*, *Avicennia bicolor* *Avicenniaceae*, “iztaten” *Laguncularia racemosa* y “botoncillo” *Conocarpus erecta* *Combretaceae*), se adaptan de diversas maneras a las severas condiciones que les imponen los litorales (geomorfología, factores climáticos y condiciones oceanográficas), lo que determina su distribución espacial en el ecosistema. <sup>(33)</sup>

Los manglares se distribuyen en todas las zonas del país (Ver **Anexo N°3**), pero las principales coberturas ocurren en las bahías 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. <sup>(34)</sup>

### **3.11 Sitios Ramsar en El Salvador.** <sup>(36)</sup>

De acuerdo a la Convención Ramsar, los humedales se definen como las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros. Podrán comprender sus zonas ribereñas o costeras adyacentes, así como las islas o extensiones de agua marina de una profundidad superior a los seis metros en marea baja, cuando se encuentren dentro del humedal.

#### **- Componentes de un humedal**

Un humedal está formado por los siguientes componentes: agua, flora, fauna, sustrato, sedimentos y restos de vegetación (suelo, arena, grava, roca y

materiales orgánicos); siendo el agua el elemento más importante dentro de un humedal.

#### **- Beneficios de los humedales**

Los humedales son fuente de recursos para la sociedad. Gracias a las características que el humedal posee, éste puede ser utilizado para la pesca, generación de energía eléctrica, navegación, turismo, agricultura y para el control de inundaciones.

#### **- Convención Ramsar**

La Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional, conocida también como Convención Ramsar, fue creada en 1971 en la ciudad de Ramsar, Irán, en donde científicos de todas partes del mundo acordaron proteger los humedales por su importancia como hábitat para una gran cantidad de especies de aves migratorias a nivel global. Esta convención se enfoca en procurar el uso racional de estos ecosistemas en beneficio de la humanidad; es un tratado intergubernamental que sirve de marco para la acción nacional y la cooperación internacional en pro de la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos.

Diferentes países se han suscrito a este acuerdo internacional. El Salvador se incorporó a esta convención en el año de 1999. A partir de ese año, se han designado seis sitios Ramsar: Área Natural Protegida Laguna el Jocotal, Complejo Bahía de Jiquilisco, Embalse Cerrón Grande, Laguna de Olomega, Complejo Güija, Complejo Jaltepeque.

Además, existen otros humedales que completan un total aproximado de 130 a nivel nacional, entre los cuales están: Laguna de Apaneca, Laguna Cuzcachapa, Laguna Aramuaca, Laguna de Alegría; así como el Lago de Ilopango y el Lago de Coatepeque.

En El Salvador, el MARN es la institución que implementa los mandatos de la convención, e incluso ejecuta un “Plan Nacional de Mejoramiento de los Humedales”, que abarca componentes para garantizar la gobernanza ambiental y desarrollo sostenible de esos ecosistemas.

Actualmente 7 sitios designados como Humedales de Importancia Internacional (sitios Ramsar), con una superficie de 207,387 hectáreas. (Ver **Anexo N°3**)

### **3.11.1 Sitio Ramsar Complejo Barra de Santiago.** <sup>(35)</sup>

Se ubica en el departamento de Ahuachapán, entre los municipios de Jujutla y San Francisco Menéndez, fue declarado como Humedal de Importancia Internacional el 23 de julio de 2014 por la Convención Ramsar. Destaca por ser la principal zona de manglar del área occidental del país, habitan especies como el caimán y el cocodrilo.

Barra de Santiago destaca por tener la mayor extensión de manglar del lado occidental del país, así como el refugio más importante de vida silvestre de caimanes, cocodrilos, y otros reptiles como las tortugas marinas que anidan en esas playas.

Este sitio tiene un ecosistema único y posee la mayor extensión en El Salvador de los manglares que se denominan manglares del Pacífico Norte de Centroamérica, caracterizado por abundante lluvia, la continuidad de pantanos salobres y dulces, y bosque de saturación que se encuentran cerca.

También sobresalen sus playones intermareales en el estuario y la biodiversidad asociada tanto acuática como terrestre, incluyendo las aves, mamíferos, muchos ríos confluyen aquí, y ocurre mucha migración terrestre y acuática a través de los ríos de la montaña y hacia la montaña El Imposible.

CAPITULO IV  
DISEÑO METODOLOGICO



## 4.0 DISEÑO METODOLOGICO

### 4.1 Tipo de estudio

- **Campo:** Para extraer datos e información de la zona de estudio se empleó el uso de técnicas de recolección (como entrevistas u opiniones a personas encargadas de la zona en este caso los guardabosques) para la identificación de los sitios a muestrear que son de mayor incidencia de contaminación y/o reproducción de la especie *Anadara tuberculosa*, recolección de las muestras de sedimentos y su posterior análisis determinación de los metales pesados arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc.
- **Experimental:** Se llevó a cabo el Análisis Químico Instrumental de cuantificación de metales pesados, en las instalaciones de los Laboratorios de Química Agrícola en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.
- **Exploratorio:** En el país no hay investigaciones realizadas en determinación de metales pesados en sedimentos donde habita *Anadara tuberculosa* (concha peluda), siendo tema novedoso en el país.

### 4.2 Investigación bibliográfica

Se realizaron consultas en las siguientes bibliotecas:

- Dr. Benjamín Orozco de la Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador.
- Central de la Universidad de El Salvador.
- Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.
- Facultad de Ciencias Naturales y Matemática de la Universidad de El Salvador
- Internet.

### 4.3 Investigación de campo

- **Universo:** Todos los manglares que constituyen el área de Barra de Santiago, Zona costera Occidental de El Salvador. (Ver **Anexo N°4**)
- **Muestra:** Sedimentos de manglar de las zonas de mayor reproducción de *Anadara tuberculosa* en la Barra de Santiago, que corresponde a seis sitios por cada uno de ellos se tomaron tres muestras, totalizando 18 muestras de los sitios seleccionados. (Ver **Cuadro N°1**)
- **Tipo de muestreo:** Aleatorio dirigido. <sup>(43)</sup>

#### 4.3.1 Descripción de la zona de estudio. <sup>(34)</sup>

El complejo Barra de Santiago es un área protegida con una extensión de 3,414 hectáreas que se encuentra ubicada geográficamente entre los 13° 42'00" Latitud Norte y 90° 03'00" Longitud Oeste, entre los municipios de Acajutla en el departamento de Sonsonate y los municipios de San Francisco Menéndez y Jujutla en el suroeste del departamento de Ahuachapán, próximo a la frontera con Guatemala, en el kilómetro 95 de la carretera hacia La Hachadura.

La Barra de Santiago está constituida en su mayor parte por bosque de mangle y estero. Su altura sobre el nivel del mar oscila entre los 0 y los 20 m.s.n.m. Pertenece a la cuenca del río Paz y se encuentra dentro de la ecorregión de los manglares de la costa seca del pacífico norte y ha sido propuesto como sitio RAMSAR. (Ver **Anexo N°4**)

Según MARN, el clima de la zona es de tipo sabana tropical caliente dentro de la planicie costera. En cuanto a los elementos del clima, éstos se caracterizan por presentar temperaturas que oscilan entre los 22 y 27°C, así como precipitaciones anuales promedio de 1,500mm. La principal zona de conservación de la Barra de Santiago es el canal El Zapatero, el cual está ubicado en la zona occidental del área, y constituye una zona de veda total a 50 metros tierra adentro desde la orilla

del canal. Colindantes al canal se encuentran las islas de la Chácara al este, El Cajete y El Muerto al oeste.

#### 4.3.2 Ubicación de los sitios de recolección de muestras de sedimento

La recolección de muestras de sedimentos se realizó en Barra de Santiago, Departamento de Ahuachapán de El Salvador. (Ver **Anexo N°4**)

**Cuadro N° 1** Codificación de las muestras de sedimentos recolectados de acuerdo a los puntos de muestreo.

Sitios a muestrear	N° de muestras	Código	Punto de muestreo	Coordenadas	Descripción
1	3	P1A	El Espino	N= 13°41'53.4'' W= 090°00'54.6''	Se caracteriza por el asolvamiento que enfrenta producto de los sedimentos que arrastran cerca de los ríos que ahí desembocan y a la contaminación que existe en la parte alta de la zona sur de Ahuachapán.
		P1B			
		P1C			
2	3	P2A	Cajetillo	N= 13°42'30.8'' W= 090°00'44.3''	Ubicada cercana a la isla El Cajete. Presenta vestigios arqueológicos. El cultivo de la caña de azúcar es la actividad que caracteriza la zona, desplazando los cultivos de granos básicos y la ganadería.
		P2B			
		P2C			
3	3	P3A	Laguneta	N= 13°41'24.0'' W= 089°59'54.0''	Constituye un corredor biológico para el paso de los caimanes y otras especies animales hacia el resto del complejo.
		P3B			
		P3C			

**Cuadro N°1. Continuación**

4	3	P4A	El Zapatero	N= 13°42'06.4'' W= 090°00'25.3''	Colindantes al canal se encuentran las islas de la Chácara al este, El Cajete y El Muerto al oeste. el canal del estero está azolvado por malas prácticas que se han realizado en la parte alta de la zona sur de Ahuachapán
		P4B			
		P4C			
5	3	P5A	Zapatero "zona de los enganches"	N= 13°42'24.6'' W=089°59'56.28''	Posee el refugio más importante de vida silvestre de caimanes, cocodrilos, y otros reptiles. Destaca por la variedad de especies de árboles de mangle presentes, las alturas de muchos de sus árboles.
		P5B			
		P5C			
6	3	P6A	Los Pozos	N= 13°41'39.0'' W= 090°00'06.5''	Incluye una zona marino-costera de mar abierto, en la zona continental se encuentran ecosistemas de manglar, sucesiones de vegetación pantanosa.
		P6B			
		P6C			

\*P1A: punto 1; muestra A

### 4.3.3 Recolección de muestras

Se realizaron visitas de campo en la zona de estudio seleccionada ubicada en: Cantón Barra de Santiago ubicada al sur del municipio de Jujutla, en el departamento de Ahuachapán, El Salvador. Para seleccionar los sitios de muestreo se tomó en consideración la opinión de los guardaparques encargados del lugar, y curileros, que ayudaron a identificar los sitios donde posiblemente

existe mayor incidencia de contaminación por metales por la desembocadura de ríos que pueden alterar el hábitat o zonas de reproducción o extracción de concha peluda; para esto se planificó que la recolección coincidiera con la marea baja, las muestras de sedimentos se tomaron de seis sitios diferentes en el manglar ubicados en la zona antes mencionada en época lluviosa, se codificaron (Ver **Cuadro N°1**), en cada sitio se recolectaron tres muestras manualmente haciendo uso de una pala de plástico, la profundidad de recolección varía de 15 a 20 cm con una distancia de 10 metros por cada muestra, obteniendo así una cantidad de 1 kg aproximadamente por cada una. Los sedimentos se almacenaron en bolsas de polietileno transparente con cierre hermético (ziploc). Se colocaron en una hielera de polietileno de una capacidad de 20 litros y se mantuvieron a una temperatura entre 4-6 °C con hielo (Ver **Anexo N°5**), las cuales se trasladaron al laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

#### **4.4 Parte experimental**

Material, equipo y reactivos (Ver **Anexo N°6**)

##### **Análisis del contenido de metales por el Método Espectrofotometría de Absorción Atómica de Llama**

A cada una de las muestras recolectadas (18) se les determinó los metales pesados por el método espectrofotometría de absorción atómica por 2 de sus 3 técnicas: Generador de Hidruros para arsénico; Espectrofotometría de Llama para hierro, cobre, cromo, níquel, plomo y zinc; y cada uno de dichos resultados se compararon con la Normativa Estadounidense Orientación Técnica para detectar sedimentos contaminados debido a que en el país no hay una normativa que permita comparar o identificar el nivel de incidencia o contaminación por estos metales; de esta manera se pretende conocer y

clasificar si existe un nivel de contaminación ya sea efecto más bajo o efecto severo dado por la normativa.

A cada una de las 18 muestras recolectadas en los seis sitios; se le realizaron lecturas por triplicado haciendo un total de 54 lecturas por metal (Ver **Cuadro N°2**), de esta manera resultaron un total de análisis 378.

**Cuadro N°2.** Total de análisis de los metales pesados en muestras de sedimentos.

Técnica	Metal pesado	Número de lecturas	Total de lecturas
Generador de Hidruros	As	3	54
Llama	Cu	3	54
	Cr	3	54
	Fe	3	54
	Ni	3	54
	Pb	3	54
	Zn	3	54
Total de análisis			378

#### 4.4.1 Pre tratamiento de la muestra (Ver Anexo N°7)

Se realizó el pre tratamiento a las 18 muestras compuestas con un peso de 1 kg:

- Secar la muestra de sedimento en una estufa de aire reforzado a temperatura de  $50 \pm 5^{\circ}\text{C}$  durante 48 horas.
- Triturar la muestra utilizando un mortero y pistilo.
- Pasar la muestra por un tamiz plástico.
- Transferir la muestra a recipiente hermético para posterior análisis.

#### 4.4.2 Tratamiento de la muestra

**Preparación de soluciones de las muestras a partir de las cenizas formadas para la cuantificación de metales Cu, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn.**

**Digestión seca:**

- Pesar 4.0 g de muestra en un crisol, utilizando una balanza analítica.
- Colocar el crisol en una mufla y ajustar el aumento de la temperatura a 100°C por una hora.
- Posteriormente calentar a 500°C por 2 horas para calcinarlo.
- Disolución de cenizas de las muestras para la determinación de los metales cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc. (Ver **Anexo N°7**)

**Fundamento**

La ceniza se trata con ácido clorhídrico concentrado, agua destilada, se agita y calienta cerca del punto de ebullición. Después se filtra a través de un papel filtro Whatman 42 libre de cenizas quedando en el filtrado los minerales y en el papel filtro sílice. <sup>(33)</sup>

**Procedimiento (Ver Anexo N°7)**

- Solubilizar las cenizas contenidas en el crisol de porcelana con 5 mL de ácido clorhídrico (1:1) y 5.0 mL de agua bidestilada.
- Agitar cuidadosamente con agitador de vidrio para disolver las sales.
- Evaporar a 10 mL, enfriar a temperatura ambiente.
- Filtrar las cenizas utilizando papel Whatman 42.
- Recibir el filtrado en un balón volumétrico de 50.0 mL y llevar a volumen con agua bidestilada.

**Digestión húmeda:** Para la determinación de arsénico. (Ver Anexo N°7)

- Pesar 0.5 g de muestra seca en tubo digestor.
- Adicionar 6 mL de HNO<sub>3</sub> concentrado con ayuda de una bureta.
- Colocar un embudo y vidrio de reloj sobre el tubo digestor.
- Dejar en reposo por 24-48 horas.
- Colocar los tubos con las muestras sobre el sistema digestor.
- Digerir por 24-48 horas en un rango de temperatura 65-70 °C.

- Una vez concluida la digestión retirar los tubos del sistema.
- Finalmente filtrar la muestra con papel Whatman 42 y llevar a volumen de 50 mL en balón volumétrico para su posterior análisis.

#### **4.4.3 Procedimiento para la cuantificación de los metales por Espectroscopia de absorción atómica.**

##### **Fundamento**

La muestra es atomizada mediante un nebulizador y posteriormente se quema en una llama de aire-acetileno. Se hace pasar un haz de luz utilizando una lámpara de cátodo hueco que proporciona una longitud de onda de acuerdo al metal en estudio dado en nm. La cantidad de energía absorbida por la muestra está relacionada directamente con la concentración del elemento en estudio.

Las muestras de sedimento se les realizaron lectura directamente por triplicado en el espectrofotómetro de absorción atómica AA-7000, marca Shimadzu utilizando viales plásticos. Se obtendrán los resultados en concentración de ppm y ppb para el caso de arsénico. <sup>(24)</sup>

##### **4.4.3.1 Determinación de Arsénico (As)**

###### **a. Preparación de reactivos**

###### **1. Solución Estándar de As (Ver Anexo N°8)**

- A partir de la solución de Arsénico (1000 ppb As), preparar 250.0 mL de una solución stock de 100 ppb.
- A partir de la solución stock preparada anteriormente, hacer las diluciones 0.5, 1.0, 2.0, y 5.0 ppb. (Ver **Anexo N°9**) (Ver **Anexo N°10**)

###### **2. Solución de Tetrahidrobórato de Sodio (0.5% p/v)**

###### **3. Solución de Yoduro de Potasio (200g / L)**

###### **4. Ácido Clorhídrico (1:1)**

- Mezclar ácido clorhídrico en igual cantidad de agua bidestilada y homogenizar.



#### Preparación del blanco

- Adicionar en un tubo digestor, 6.0 mL de ácido nítrico concentrado, pre digerir entre 24-48 horas, digerir en un sistema digestor por 24-48 horas, retirar del sistema y filtrar con papel Whatman 42 recibir filtrado en balón volumétrico 50 mL, finalmente calentar en hot plate a una temperatura de 80 °C durante 30 minutos.

#### **b. Preparación de muestra (Ver Anexo N°10)**

#### **c. Curva de calibración (Ver Anexo N°11)**

-Tomar 0.25 mL, 0.50 mL, 1.0 mL y 2.5 mL de la solución estándar de 100 ppb correspondientemente a los estándares de Arsénico y transferir a balones volumétricos de 50.0 mL.

-Adicionar 4.0 mL de ácido clorhídrico (1:1) y 2.0 mL de solución de yoduro de potasio (200.0 g/L).

- Calentar sin llegar a ebullición durante 30 minutos.

- Dejar enfriar la solución y llevar a volumen con agua bidestilada, homogenizar.

- Utilizar la solución para su medición.

#### **d. Lectura (Espectroscopia de Absorción Atómica Generador de Hidruro)**

1. Tomar una alícuota de 10.0 mL de cada muestra con ayuda de una pipeta de 10.0 mL y transferirla a balones volumétricos de 50.0 mL.

2. Adicionar 4.0 mL de ácido clorhídrico (1:1) y 2.0 mL de solución de yoduro de potasio (200.0 g/L).

3. Agitar para homogenizar y aplicar calor en un hot plate Corning PC-420D a temperatura de  $80 \pm 5$  °C por 30 minutos, sin ebullición.

4. Dejar enfriar hasta temperatura ambiente, agregar agua bidestilada y aforar.

5. Colocar en el equipo de EAA un volumen de 500.0 mL de Tetrahidrobórato de sodio, 500.0 mL de ácido clorhídrico (1:1), 10.0 mL de cada solución estándar

de arsénico (0.50, 1.0, 2.0 y 5.0 ppb) y 4.0 mL de solución de cada una de las muestras.

6. Correr el blanco y ajustar a cero el equipo, a una longitud de onda de 193.7 nm.
7. Elaborar la curva de calibración con los estándares 0.25, 0.50, 1.0, 2.5 ppb de Arsénico.
8. Hacer la lectura de la concentración en ppm de cada muestra para dicho elemento.
9. Realizar tres réplicas

#### **4.4.3.2 Determinación de Cobre (Cu)**

##### **a. Preparación de reactivos**

Solución estándar de Cu. (Ver **Anexo N°8,9 y 10**)

Preparación del blanco para cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc.

- Adicionar en un balón volumétrico de 50.0 mL, 5.0 mL de ácido clorhídrico, llevar a volumen con agua bidestilada y homogenizar.

**NOTA:** El valor obtenido será utilizado para la corrección del valor obtenido en la medición de la muestra.

##### **b. Preparación de la muestra**

- De la muestra tratada pipetear 25.0 mL
- Transferir a un balón volumétrico de 100.0 mL
- Llevar a volumen con agua bidestilada y homogenizar.

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

##### **c. Curva de calibración (Ver Anexo N°11)**

#### **d. Lectura (Espectroscopia de Absorción Atómica con llama)**

1. Colocar en el equipo de EAA un volumen de 10.0 mL de las soluciones estándar de cobre (0.2 ppm, 1.0 ppm, 2.0 ppm y 4.0 ppm) y 4.0 mL de solución de cada muestra.
2. Correr el blanco y ajustar a cero el equipo, a una longitud de onda de 324.7 nm.
3. Elaborar la curva de calibración con los estándares 0.2 ppm, 1.0 ppm, 2.0 ppm y 4.0 ppm de cobre.
4. Hacer la lectura de la concentración en ppm de cada muestra para dicho elemento.
5. Realizar tres réplicas.

#### **4.4.4.3 Determinación de Cromo (Cr)**

##### **a. Preparación de reactivos**

Solución estándar de Cr. (Ver **Anexo N°8,9 y 10**)

##### **b. Preparación de la muestra**

- La muestra tratada se utiliza directamente para las lecturas.

**Nota:** Realizar las diluciones según sea necesario.

##### **c. Curva de calibración (Ver Anexo N°11)**

#### **d. Lectura (Espectroscopia de Absorción Atómica con llama)**

1. 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 Cr.
  - Corriente de lámpara: 10 mA
  - Ancho de rejilla: 0.7 nm

- Modo de corrección: BGC-D2
- Número de repeticiones por cada lectura.
- 2. Dejar que el equipo se estabilice durante 15 minutos.
- 3. Aspirar el blanco preparado, este se utilizó para corregir cualquier interferencia producida por los reactivos.
- 4. Aspirar los estándares en el equipo para realizar la curva de calibración.
- 5. Aspirar la muestra.
- 6. Anotar la lectura de la muestra obtenida directamente del equipo; si se realizó alguna dilución de la muestra multiplicar por el factor de dilución para obtener el resultado.
- 7. Corregir el resultado con el blanco si es necesario.
- 8. Aspirar agua destilada para limpiar el equipo y apagar.
- 9. El resultado esta expresado en mg/l de cromo.

#### **4.4.3.4 Determinación de Hierro (Fe)**

##### **a. Preparación de reactivos**

Solución estándar de Fe. (Ver **Anexo N°8**) (Ver **Anexo N°9**) (Ver **Anexo N°10, Figura N°27**)

##### **b. Curva de calibración (Ver Anexo N°11)**

##### **c. Lectura (Espectroscopia de Absorción Atómica con llama)**

1. Tomar una alícuota de 1.0 mL de la solución madre de minerales, transferirla a un balón de 10.0 mL y llevar a aforo con agua bidestilada.
2. Colocar en el equipo de EAA un volumen de 10.0 mL de cada solución estándar de hierro (0.3, 1.0, 3.0 y 6.0 ppm) y 4.0 mL de solución de cada muestra y correr el blanco.
3. Ajustar a cero el equipo a una longitud de onda de 248.3 nm.

4. Elaborar la curva de calibración con los estándares 0.3, 1.0, 3.0 y 6.0 ppm de hierro.
5. Hacer la lectura de la concentración en ppm de cada muestra para dicho elemento.
6. Realizar tres réplicas.

#### **4.4.3.5 Determinación de Níquel (Ni)**

##### **a. Preparación de reactivos**

Solución estándar de Ni. (Ver **Anexo N°8,9 y 10**)

##### **c. Curva de calibración (Ver Anexo N°11)**

##### **c. Lectura (Espectroscopia de Absorción Atómica con llama)**

1. Encender el equipo 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.
2. Dejar que el equipo se estabilice durante 15 minutos.
3. Aspirar el blanco preparado, este se utilizó para corregir cualquier interferencia producida por los reactivos.
4. Aspirar los estándares en el equipo para realizar la curva de calibración.
5. Aspirar la muestra.
6. Anotar la lectura de la muestra obtenida directamente del equipo; si se realizó alguna dilución de la muestra multiplicar por el factor de dilución para obtener el resultado.

7. Corregir el resultado con el blanco si es necesario.
8. Aspirar agua destilada para limpiar el equipo y apagar.
9. El resultado esta expresado en mg/l de níquel.

#### **4.4.3.6 Determinación de Plomo (Pb)**

##### **a. Preparación de la muestra (Ver Anexo N°9) (Ver Anexo N°10)**

- Adicionar solución de nitrato de paladio (II) (10 µg Pd/mL) a cada frasco. Llevar a volumen con agua bidestilada
- Mezclar bien para la medición.
- Colocar la muestra en equipo de Absorción Atómica y leer.

**Nota:** si la muestra tratada se sale del rango de la curva de calibración, realizar las diluciones necesarias.

##### **b. Curva de calibración (Ver Anexo N°11)**

##### **c. Lectura (Espectroscopia de Absorción Atómica con llama)**

1. Añadir un volumen de 1.0 mL de la solución de nitrato de paladio (II), 10 mL de cada solución estándar de plomo (0.2, 0.5, 3.0 y 5.0 ppm) y 2.0 mL de cada solución muestra en viales.
2. Colocar los viales en el carrusel del automuestreador del equipo de EAA.
3. Correr el blanco y ajustar a cero el equipo, a una longitud de onda de 283.3 nm.
4. Elaborar la curva de calibración con los estándares 0.2 ppm, 0.5 ppm, 3.0 ppm y 5.0 ppm de plomo.
5. Hacer la lectura de la concentración en ppm de cada muestra para dicho elemento.
6. Realizar tres réplicas.

#### **4.4.3.7 Determinación de Zinc (Zn)**

##### **a. Preparación de reactivos**

Solución estándar de Zn. (Ver **Anexo N°8,9 y 10**)

##### **b. Curva de calibración (Ver Anexo N°11)**

##### **c. Lectura (Espectroscopia de Absorción Atómica con llama)**

1. Tomar una alícuota de 1.0 mL de la solución madre de minerales, transferirla a un balón de 10.0 mL y llevar a aforo con agua bidestilada.
2. Colocar en el equipo de EAA un volumen de 10.0 mL de las soluciones estándar de zinc (0.05 ppm, 0.1 ppm, 0.5 ppm y 1.0 ppm) y 4.0 mL de solución de cada muestra.
3. Correr el blanco y ajustar a cero el equipo, a una longitud de onda de 213.9 nm.
4. Elaborar la curva de calibración con los estándares 0.05 ppm, 0.1 ppm, 0.5 ppm y 1.0 ppm de zinc.
5. Hacer la lectura de la concentración en ppm de cada muestra para dicho elemento.
6. Realizar tres réplicas.

#### **4.5 Análisis estadístico**

Con el objetivo de inferir estadísticamente sobre los resultados obtenidos para comprobar si existen diferencias significativas entre los sitios de muestreos (que hay evidencias estadísticas de que hay una diferencia; no significa que la diferencia sea grande, importante o radicalmente diferente).; y concluir sobre algunas características del Complejo Barra de Santiago que puedan influir en el grado de contaminación por metales pesados.

### **Prueba Kolmogorov-sminorv**

Se aplicó la prueba Kolmogorov-sminorv para conocer como es el comportamiento de los datos obtenidos a un nivel de confianza 95% es decir, si el “Valor P” resulta menor a 0.05 se confirma la hipótesis alternativa. Para el desarrollo de este análisis se utilizó el programa SPSS Statistics 21 y al iniciar se plantearon las siguientes hipótesis:

- a) Hipótesis Nula: No hay diferencia estadísticamente significativa o los datos presentan distribución Normal.
- b) Hipótesis Alternativa: Hay diferencia estadísticamente significativa o los datos provienen de una distribución no paramétrica.

La hipótesis nula indica que los datos presentan distribución continua, sus medidas de tendencia central (media, mediana y moda) son todas idénticas y la hipótesis alternativa demuestra que el resultado de los datos posee distribución no paramétrica, es decir, no se puede determinar la distribución original ni la distribución de los estadísticos; el criterio de aceptación en el que se basó para conocer si existe diferencia significativa a un 95% de confianza fue el valor-P (un valor-P menor a 0.05 confirma la hipótesis alternativa e invalida la hipótesis nula).

Para evaluar el comportamiento de los datos experimentales obtenidos en el análisis de sedimentos por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica, se aplicó el análisis de prueba Kolmogorov-sminorv<sup>(47)</sup>; el resultado de este análisis fue distribución no paramétrica por lo que se prosigue a emplear la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis por ser una prueba con más de 2 muestras independientes.

A cada uno de los resultados obtenidos en la investigación se le aplicó el análisis de prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis dado que es uno de los métodos más adecuado para comparar poblaciones cuyas distribuciones no son normales.

(15)



Luego para visualizar de una mejor manera los resultados de Kruskal-Wallis se empleó el análisis de Cluster, conocido como análisis de Conglomerados, es una técnica estadística multivariante que busca agrupar elementos (o variables) tratando de lograr la máxima homogeneidad en cada grupo y la mayor diferencia entre los grupos, conglomerados o clusters. <sup>(3)</sup>

## CAPITULO V

### RESULTADOS Y DISCUSION DE RESULTADOS

## 5.0 RESULTADOS Y DISCUSION DE RESULTADOS

Para llevar a cabo la determinación de los metales pesados en sedimentos de manglar se realizaron visitas previas para la identificación de los sitios de mayor incidencia de contaminación o reproducción de la especie *Anadara tuberculosa* tomando en cuenta que su hábitat son fondos lodosos de manglar; esto se logró con ayuda, opinión o entrevistas a personas encargadas de la zona (guarda parques); como también curileros (extractores) quienes explotan esta especie, monitorean constantemente el sitio. (Ver **Tabla N°1**)

Luego de seleccionar los 6 sitios se procedió a la recolección de muestras, se tomaron 3 muestras por cada sitio, utilizando una pala plástica a una distancia de 10 metros por muestra en cada sitio tomando porciones de sedimento; luego se identificaron en bolsas con cierre hermético con su codificación, se colocaron en hieleras a 4°C y se llevaron a los laboratorios de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas para su posterior análisis. (Ver **Anexo N°5**)

**Tabla N°1.** Los sitios recolectados de sedimentos de manglar

Sitios muestreados	Sitios	Coordenadas
1	El Espino	N= 13°41'53.4'' W= 090°00'54.6''
2	Cajetillo	N= 13°42'30.8'' W= 090°00'44.3''
3	Laguneta	N= 13°41'24.0'' W= 089°59'54.0''
4	Zapatero	N= 13°42'06.4'' W= 090°00'25.3''
5	Zapatero "zona de los enganches"	N= 13°42'24.6'' W= 089°59'56.28''
6	Los Pozos	N= 13°41'39.0'' W= 090°00'06.5''

## 5.1 Resultados del análisis de arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc en las muestras de sedimentos de manglar.

### 5.1.1 Resultados del análisis de arsénico en las muestras de sedimentos

Para determinar la concentración de arsénico en la muestra analizada se esquematizó la cascada de dilución de la muestra y a través de dicho esquema se calculó el factor de dilución (FD), con dicho valor se calculó la concentración total en unidades de ppb y también en ppm (Ver **Anexo N°9**).

#### - Concentración de arsénico en ppm:

Los valores presentados en la **Tabla N°2**, son las concentraciones promedio de arsénico de cada uno de los sitios, para ello se utilizó el Método de Absorción Atómica con Generador de Vapor de Hidruro y se aplicó la Ley de Bourguer-Lambert-Beer obteniendo los resultados en ppm para cada una de las tres réplicas que se promediaron para comparar con los valores de la normativa. (Ver **Anexo N°12**).

$$C_{mx} = \frac{(C_{st})(A_{mx})}{A_{st}} \times FD$$

Formula de Ley de Bourguer-Lambert-Beer;

Donde:

C<sub>mx</sub>: Concentración de muestra

A<sub>mx</sub>: Absorbancia de muestra

A<sub>st</sub>: Absorbancia de estándar

FD: Factor de dilución

**Tabla N°2.** Resultados del análisis promedio de arsénico en ppm.

Sitios muestreado	Sitio de muestreo	Promedio de arsénico (ppm) por sitio
1	El Espino	9.4565
2	Cajetillo	7.9846

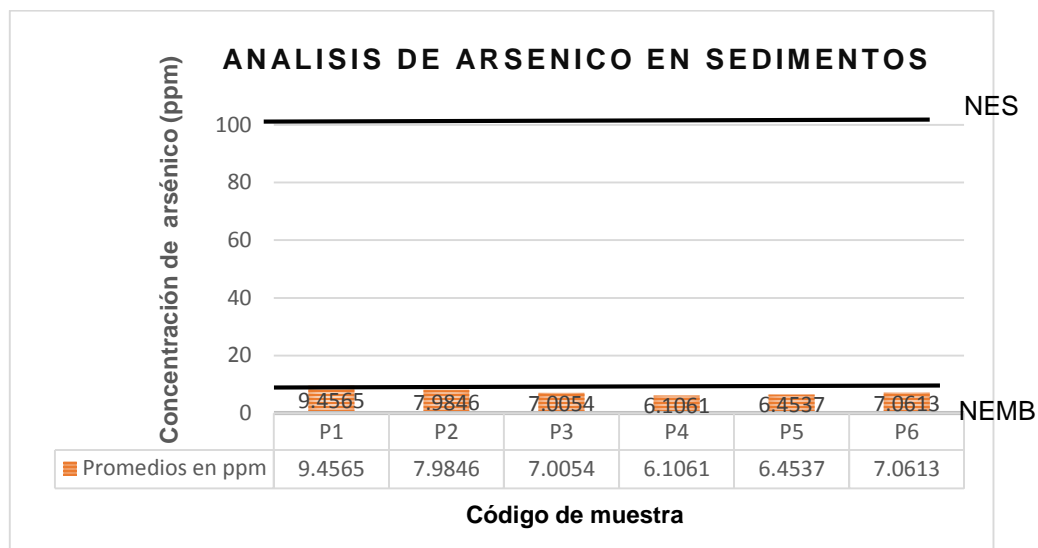
**Tabla N°2. Continuación**

3	Laguneta	7.0054
4	El Zapatero	6.1061
5	Zapatero zona de los enganches	6.4537
6	Los pozos	7.0613
<b>Normativa Estadounidense Orientación técnica para detectar sedimentos contaminados</b> <sup>(40)</sup>		Nivel de efecto más bajo 6 ppm Nivel de efecto severo 33 ppm

Cada uno de los valores promedios obtenidos en las muestras de sedimentos superan el nivel de efecto más bajo establecido para arsénico por la normativa Orientación técnica para detectar sedimentos contaminados (Technical Guidance for Screening Contaminated Sediments) que es de 6 ppm; entre los sitios que sobrepasan para arsénico están: 9.4565 ppm para el sitio conocido como El Espino, seguido por los sitios El Cajetillo 7.9846 ppm, El Zapatero 6.1061 ppm, Zapatero zona de los enganches 6.4537 ppm y Los Pozos 7.0613ppm. Considerando que todos los sitios muestreados sobrepasan el nivel de efecto más bajo; ninguno de estos valores excede el nivel de efecto severo establecido en la normativa Orientación técnica para detectar sedimentos contaminados, sin embargo, el sitio Ramsar Barra de Santiago a su alrededor se encuentran zonas que contribuyen a la contaminación antropogénica que pudieron alterar la concentración de arsénico en los sitios estudiados, como el uso de plaguicidas en los cultivos de la zona alta sur de Ahuachapán, desechos de los hogares, industria que pudieran ser arrastrado por el oleaje, desembocadura de ríos hacia el sitio de estudio Barra de Santiago; en específico los sitios donde la especie *Anadara tuberculosa* se reproduce y alimenta de sustratos.

Existen diversos tipos de contaminación natural, como terremotos, erupciones volcánicas e inundaciones por mencionar los principales que también puedan alterar las concentraciones de arsénico.

Se graficaron las concentraciones promedio de arsénico en las muestras de sedimentos según los sitios de recolección, (Ver **Figura N°1**) el eje vertical representa la concentración de arsénico en ppm y el eje horizontal el código de cada muestra analizada.



**Figura N°1.** Gráfica de resultados del análisis de arsénico en sedimentos por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica por Llama.

La línea negra indica el nivel de efecto más bajo y Nivel de efecto severo establecido por la normativa en sedimentos que es 6 ppm y 110 ppm respectivamente y las barras color naranja corresponden a las muestras de cada sitio analizadas, de esta manera se observa que todos los sitios analizados sobrepasan el nivel de efecto más bajo, sin embargo, la normativa menciona que si los resultados son mayores que el nivel de efecto más bajo pero estos menores al nivel de efecto severo; pueden ser tolerables para los organismos que habitan en el mar. <sup>(40)</sup> Pero, una característica de arsénico es que es uno de los metales más persistente en el medio ambiente requiere evaluación de riesgos, esfuerzos de remediación de los sedimentos.

Tomando en cuenta que el arsénico es persistente y además que los peces y mariscos tienden a bioacumular este metal; por lo que al consumir esta especie comestible (*Anadara tuberculosa*) se puede estar expuesto a varios efectos en la

salud como irritación en estómago e intestino, disminución en la producción de glóbulos rojos y blancos, cambios en la piel, entre otros.

En cuanto a los sitios se puede observar que en el sitio 1 que corresponde a El Espino es el que tiene mayor contaminación con respecto a los demás sitios y el de menor contaminación corresponde a El Zapatero.

Al realizar el análisis de Kruskal Wallis al menos uno de los sitios tiene diferencia a los otros en la concentración de arsénico en sedimentos de manglar en los sitios estudiados en el Complejo Barra de Santiago. Esto puede deberse a diversos factores la desembocadura de ríos, cultivos de caña muy caracterizado en la parte alta de Ahuachapán, la práctica de ganadería, el uso de lanchas (combustible), el oleaje, entre otros.

### 5.1.2 Resultados del análisis de cobre en las muestras de sedimentos

Para conocer la concentración de cobre en la muestra analizada se esquematizó la cascada de dilución de la muestra y a través de dicho esquema se calculó el factor de dilución (FD), con dicho valor se calculó la concentración total en unidades de ppm. (Ver **Anexo N°9**)

#### - Concentración de cobre en ppm:

En la **Tabla N°3** se presentan las concentraciones promedio de cobre de las muestras de sedimento analizadas por sitio, utilizando el Método de Absorción Atómica por llama, obteniendo el promedio de los resultados en ppm para comparar con los valores de la normativa. (Ver **Anexo N°12**)

**Tabla N°3.** Resultados del análisis promedio de cobre en ppm

Sitios muestreado	Sitio de muestreo	Promedio de cobre (ppm) por sitio
1	El Espino	12.8993
2	Cajetillo	6.4010
3	Laguneta	10.2953
4	El Zapatero	9.0872

Continuación. **Tabla N°3**

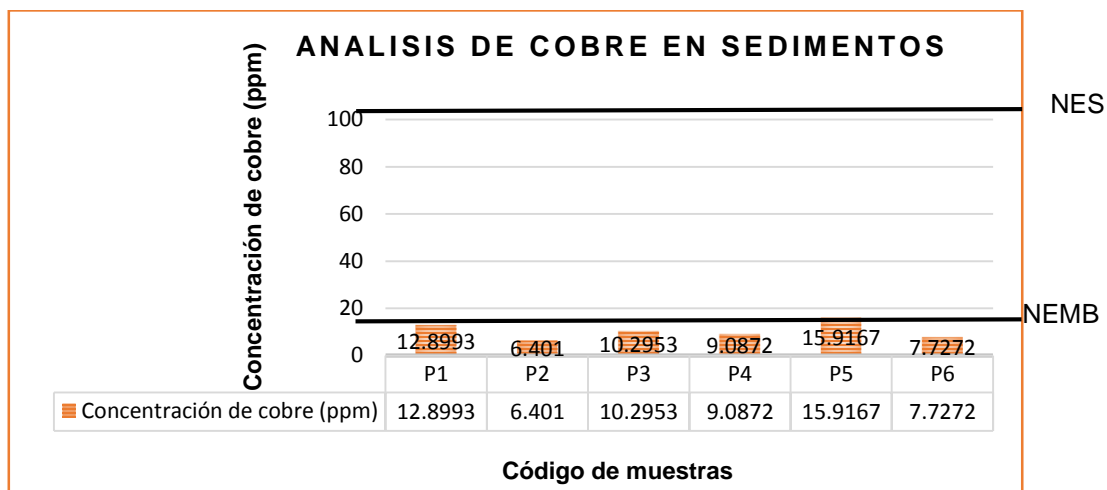
5	Zapatero zona de los enganches	15.9167
6	Los pozos	7.7272
<b>Normativa Estadounidense Orientación técnica para detectar sedimentos contaminados</b> <sup>(40)</sup>		Nivel de efecto más bajo 16 ppm Nivel de efecto severo 110 ppm

De los resultados promedio obtenidos para la determinación de cobre, ninguno supera el nivel de efecto más bajo ni el nivel de efecto severo. Existe contaminación que se puede dar por compuestos del Cobre solubles en agua que ocurren después de liberarse a través de aplicaciones de la agricultura, también por agua residuales a ríos y lagos.

El Zapatero zona de los enganches es el sitio cercano a alcanzar el nivel de efecto más bajo, debido a que en la parte alta de la zona sur de Ahuachapán se genera la práctica de ganadería, residuos de viviendas cercanas entre otras que se van acumulando en los sedimentos de las raíces de los mangles, donde habitan especies como la concha peluda.

Se presenta una gráfica (Ver **Figura N°2**) en la cual el eje vertical representa concentraciones promedias de cobre en ppm y el eje horizontal el código de cada muestra analizada.





**Figura N°2.** Gráfica de resultados del análisis de cobre en sedimentos por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica por Llama.

El nivel de efecto más bajo establecido para cobre por la normativa Orientación técnica para detectar sedimentos contaminados, es 16 ppm, la línea negra indica el nivel de efecto más bajo y Nivel de efecto severo 16 y 110 ppm respectivamente establecido por la normativa, las barras color naranja corresponden al promedio por cada punto de muestras analizadas, con ello se puede visualizar que el promedio de los sitios se considera contaminado o riesgo menor que se debe a la contaminación antropogénica como la práctica de agricultura, aguas residuales, entre otros; sin embargo el resultado del sitio cinco que corresponde al Zapatero de la zona de los enganches está cercano a alcanzar un nivel de contaminación más bajo por cobre, siendo necesario monitoreo periódicos puesto que este sitio es una zona protegida donde habitan las especies animales más importantes del sitio Ramsar Barra de Santiago como los cocodrilos y caimanes.

En al menos de uno de los sitios tiene diferencia a los otros en la concentración de cobre en sedimentos de manglar de los sitios estudiados en Barra de Santiago. (Ver **Anexo N°13**)

### 5.1.3 Resultados del análisis de cromo en las muestras de sedimentos

#### - Concentración de cromo en ppm:

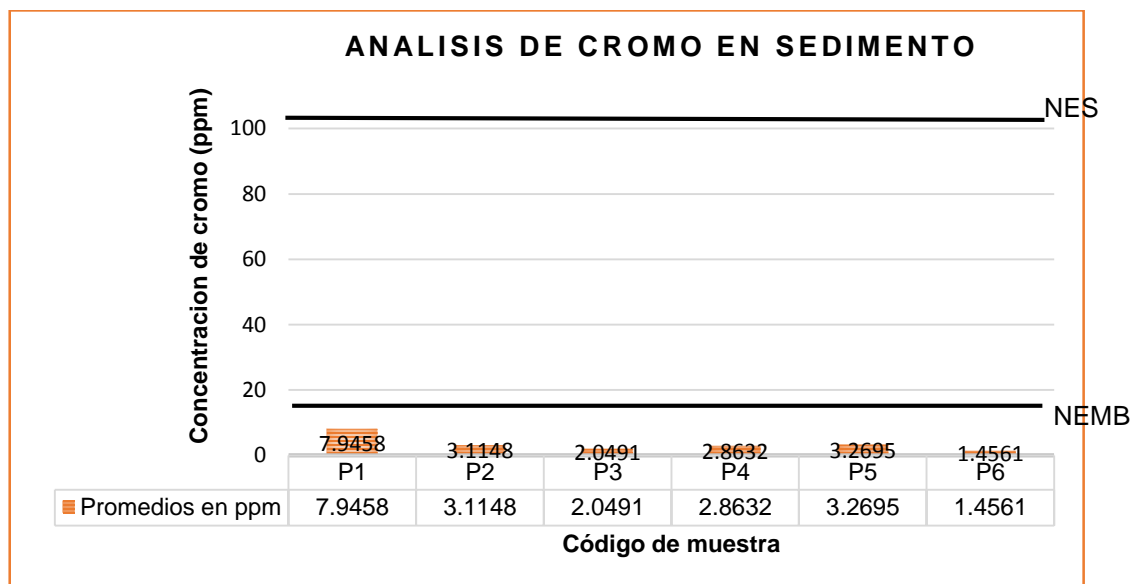
En la **Tabla N°4** se resumen los promedios de las concentraciones de cromo de las muestras analizadas por sitio, utilizando el Método de Absorción Atómica con llama, obteniendo los resultados en ppm para comparar con los valores de la normativa. Se observa que las concentraciones promedio para cada sitio se encuentran sin riesgos por no sobrepasar los criterios de contaminación según Normativa Orientación Técnica para detectar sedimentos contaminados para el caso de nivel de efecto más bajo 26 ppm y para el nivel de efecto severo 110 ppm. (Ver **Anexo N°12**)

**Tabla N°4.** Resultados del análisis promedio de cromo en ppm.

Sitios muestreado	Sitio de muestreo	Promedio de cromo (ppm) por sitio
1	El Espino	7.9458
2	Cajetillo	3.1148
3	Laguneta	2.0491
4	El Zapatero	2.8632
5	Zapatero zona de los enganches	3.2695
6	Los pozos	1.4561
<b>Normativa Estadounidense Orientación técnica para detectar sedimentos contaminados</b> <sup>(40)</sup>		Nivel de efecto más bajo 26 ppm Nivel de efecto severo 110 ppm

En la gráfica de barra (Ver **Figura N°3**) en la cual el eje vertical representa concentraciones de cromo en ppm y el eje horizontal el código de cada muestra de sedimento analizada.

La línea negra indica el Nivel de efecto más bajo establecido por la normativa que es 26 ppm y Nivel de efecto severo 110 ppm y las barras de color naranja corresponden a la concentración de cromo para cada sitio.



**Figura N°3.** Gráfica de resultados del análisis de cromo en sedimento por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica por Llama.

Los resultados que se obtuvieron en la determinación de cromo realizada a las muestras de sedimentos; ninguno de los valores promedios no sobrepasa el criterio de contaminación más bajo (nivel de efecto más bajo) establecido por la normativa considerándose como sin riesgo de contaminación, presentando en la gráfica como valor mínimo 1.4561 ppm que corresponde a Los Pozos y como valor máximo 7.9458 ppm para El Espino. Al observar en la gráfica nos damos cuenta que el sitio 1 (El Espino) el de mayor valor de concentración de cromo; se constituye en que los bosques de manglares de Barra de Santiago se deducen a que toda contaminación que pueda afectar este sitio es por arrastres desde las montañas altas por las corrientes que desembocan en éste; por los azolvamientos exagerados que se producen, entre otras razones que alteran a los sedimentos de la zona de estudio.

En al menos uno de los sitios tiene diferencia a los otros en la concentración de cromo en los sedimentos recolectados en los seis sitios, en Barra de Santiago. (Ver **Anexo N°13**)

#### 5.1.4 Resultados del análisis de hierro en las muestras de sedimentos

Para conocer la concentración de hierro en las muestras analizadas se esquematizó la cascada de dilución de cada muestra y a través de dicho esquema se calculó el factor de dilución (FD), con dicho valor se calculó la concentración total en unidades de ppm. (Ver **Anexo N°9**)

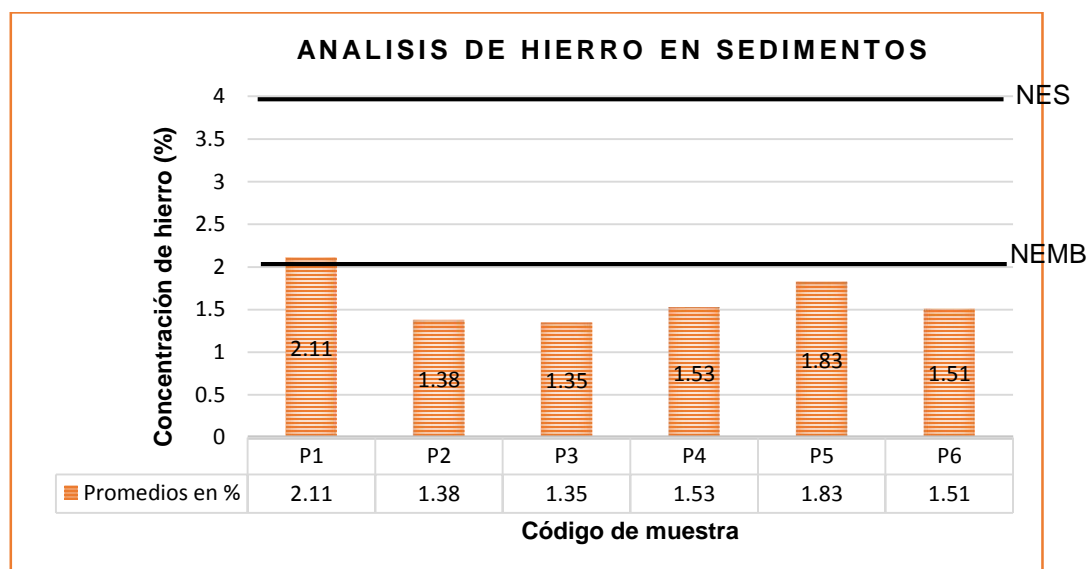
##### - Concentración de hierro en ppm:

En la **Tabla N° 5**, se presentan los resultados de los promedios de las concentraciones de hierro de las muestras analizadas por sitio en ppm y porcentual respectivamente, utilizando el Método de Absorción Atómica por llama, los valores se describen en porcentajes realizándose una conversión (ver **Anexo N°9**) para comparar con el valor de la normativa ya que para este metal en dicha normativa está dado en porcentaje. Los criterios de contaminación según Normativa Estadounidense Orientación Técnica para detectar sedimentos contaminados que son: nivel de efecto más bajo 2% y para el nivel de efecto severo 4%. (Ver **Anexo N°12**)

**Tabla N° 5.** Resultados del análisis promedio de hierro en %.

Sitios muestreado	Sitio de muestreo	Promedio de hierro (%)
1	El Espino	2.11
2	Cajetillo	1.38
3	Laguneta	1.35
4	El Zapatero	1.53
5	Zapatero zona de los enganches	1.83
6	Los pozos	1.51
<b>Normativa Estadounidense Orientación técnica para detectar sedimentos contaminados</b> <sup>(40)</sup>		Nivel de efecto más bajo 2% Nivel de efecto severo 4%

Se presenta una gráfica de barras (Ver **Figura N°4**) en la cual el eje vertical representa concentraciones promedias de hierro en porcentaje y el eje horizontal el código de cada muestra analizada.



**Figura N°4.** Gráfica de resultados del análisis de hierro en sedimentos por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica por Llama.

La línea negra indica el nivel de efecto más bajo y nivel de efecto severo establecido por la normativa que es 2% y 4 % respectivamente, las barras color naranja corresponden a la concentración promedio de hierro por cada sitio, con ello se puede visualizar cuales muestras sobrepasan dichos criterios, el sitio 1 (El Espino) sobrepasa el nivel de efecto más bajo (2%).

Los valores promedios de los sitios conocidos como Cajetillo, Laguneta, Zapatero, Zapatero zona de los enganches y Los Pozos no sobrepasan el nivel de efecto más bajo de contaminación para hierro; mientras que el promedio de P1 que corresponde a El Espino sobrepasa 0.11% del nivel de efecto más bajo (2%), aunque este sobrepasa un valor mínimo según lo que describe la normativa no es necesario la remediación de sedimentos considerándose como tolerable para los organismos bentónicos. <sup>(6)</sup> Aunque este sitio haya superado el nivel de efecto más bajo, el resto de los sitios se encuentran cercanos y a su vez de alcanzar el nivel de efecto severo; por lo que se requiere monitoreos periódicos para evitar el aumento de concentración de hierro, evaluación de riesgos y gestión de riesgos.

Tomando en cuenta que cantidades elevadas de hierro en el cuerpo incrementan la producción de radicales libres del oxígeno y favorece el desarrollo de consecuencias negativas sobre diferentes órganos a causa del estrés oxidativo que ocasiona.

En al menos uno de los sitios tiene diferencia distinta a los otros de concentración de hierro de las muestras de sedimentos recolectadas de los seis sitios en Barra de Santiago; a un nivel de confianza 95%. (Ver **Anexo N°13**)

### 5.1.5 Resultados del análisis de níquel en las muestras de sedimentos.

#### - Concentración de níquel en ppm:

Los valores que se presentan en la **Tabla N°6**, son los promedios de las concentraciones de níquel de las muestras analizadas por sitio, para lo cual se utilizó el Método de Absorción Atómica con llama y se aplicó la Ley de Bourguer-Lambert-Beer (Ver **Anexo N°9**) obteniéndose los resultados en ppm para comparar con los valores de la Normativa Orientación Técnica para detectar sedimentos contaminados, nivel de efecto más bajo y nivel de efecto severo 16 y 75 ppm respectivamente. (Ver **Anexo N°12**)

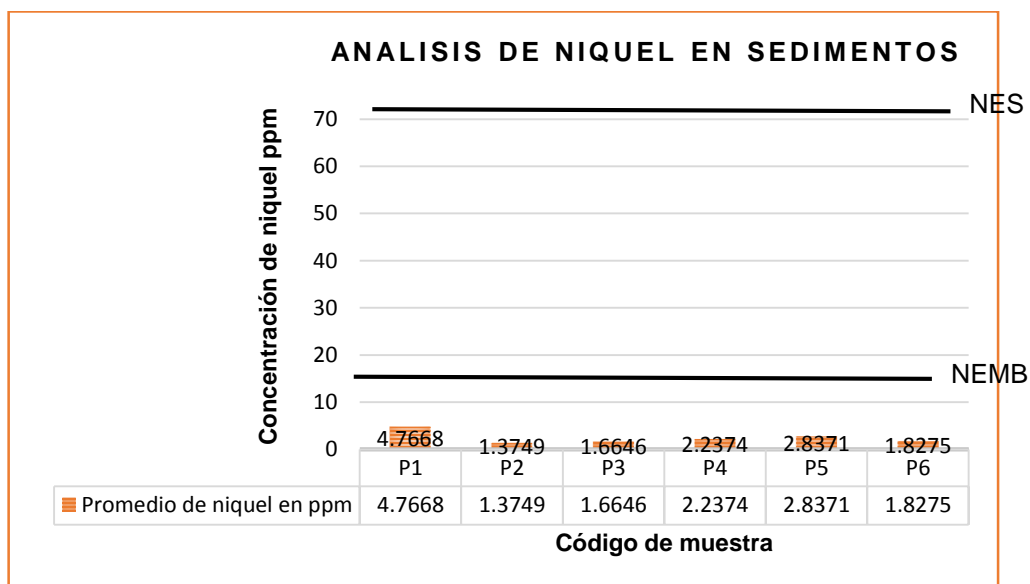
**Tabla N° 6.** Resultados del análisis promedio de níquel en ppm

Sitios muestreados	Sitio de muestreo	Promedio de níquel (ppm) por sitio
1	El Espino	4.7668
2	Cajetillo	1.3749
3	Laguneta	1.6646
4	El Zapatero	2.2374
5	Zapatero zona de los enganches	2.8371
6	Los pozos	1.8275
<b>Normativa Estadounidense para detectar contaminados</b> (40)	<b>Orientación para detectar sedimentos</b>	Nivel de efecto más bajo 16 ppm Nivel de efecto severo 75 ppm

De acuerdo a los valores obtenidos en las muestras de sedimentos estos no se encuentran o no se consideran como riesgo de contaminación; ninguno de los sitios de recolección sobrepasa el nivel de efecto más bajo 16 ppm o el nivel de efecto severo 75 ppm descrito por la Normativa.

Se graficaron las concentraciones promedio de níquel en las muestras sedimentos según los sitios de recolección, en la gráfica (Ver **Figura N°5**) el eje vertical representa la concentración de níquel en ppm y el eje horizontal el código de cada muestra analizada.

La línea negra indica el Nivel de efecto más bajo y Nivel de efecto severo establecido por la Normativa que es 16 y 75 ppm respectivamente, las barras color naranja corresponden a la concentración de níquel por cada sitio.



**Figura N°5.** Gráfica de resultados del análisis de níquel en sedimentos por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica por llama.

En al menos uno de los sitios tiene diferencia a los otros en la concentración de níquel en las muestras de sedimentos recolectadas en los seis sitios de Barra de Santiago; debido a que el “valor p” es menor a 0.05 (Ver **Anexo N°13**)

### 5.1.6 Resultados del análisis de plomo en las muestras de sedimentos.

Para conocer la concentración de plomo en las muestras analizadas se esquematizó la cascada de dilución de la muestra y a través de dicho esquema se calculó el factor de dilución (FD), con dicho valor se calculó la concentración total en unidades de ppm. (Ver **Anexo N°9**)

#### - Concentración de plomo en ppm:

A continuación en la **Tabla N°7** se presentan el resumen de los promedios de las concentraciones de plomo de las muestras analizadas por sitio, utilizando el Método de Absorción Atómica por llama, obteniendo los resultados en ppm; Se observa que las concentraciones promedios por sitio se encuentran aceptables dado que estos valores no sobrepasan los criterios de contaminación de nivel de efecto más bajo y nivel de efecto severo 31 y 250 ppm respectivamente, según Normativa Estadounidense Orientación técnica para detectar sedimentos contaminados. (Ver **Anexo N°12**)

**Tabla N°7.** Resultados del análisis promedio de plomo en ppm

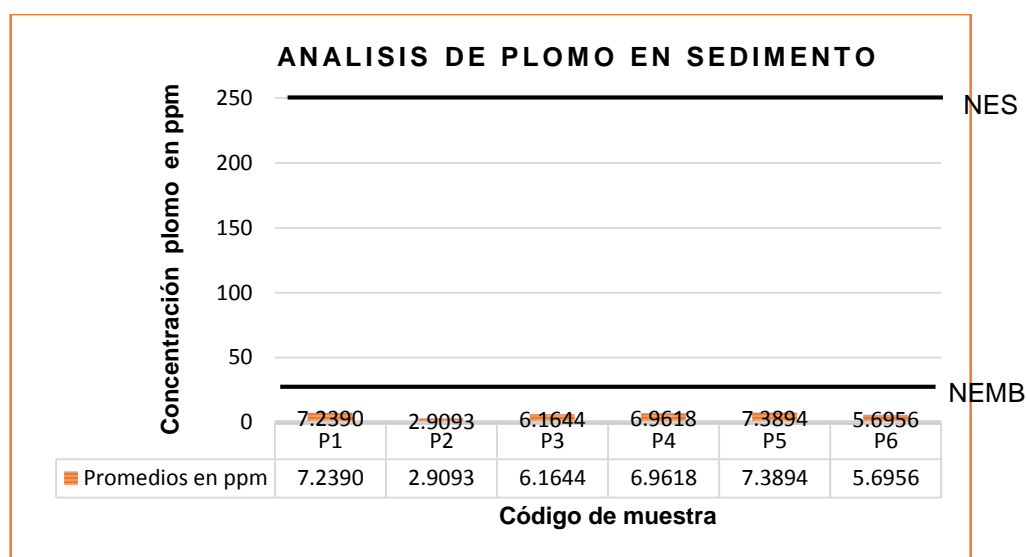
Sitios muestreados	Sitio de muestreo	Promedio de plomo (ppm) por sitio
1	El Espino	7.2390
2	Cajetillo	2.9093
3	Laguneta	6.1644
4	El Zapatero	6.9618
5	Zapatero zona de los enganches	7.3894
6	Los pozos	5.6956
<b>Normativa Estadounidense Orientación técnica para detectar sedimentos contaminados</b> <sup>(40)</sup>		Nivel de efecto más bajo 31 ppm Nivel de efecto severo 250 ppm

Se graficaron las concentraciones promedio de plomo en las muestras sedimentos según los puntos de recolección, en la gráfica de barra (Ver **Figura**



**N°6)** el eje vertical representa la concentración de plomo en ppm y el eje horizontal el código de cada punto de muestreo analizada.

La línea negra indica el nivel de efecto más bajo y nivel de efecto severo establecido por la normativa que es 31 y 250 ppm respectivamente, las barras color naranja corresponden a la concentración de plomo por cada sitio.



**Figura N°6.** Grafica de resultados del análisis de plomo en sedimentos por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Llama.

En los resultados obtenidos en la determinación de plomo; los valores promedios de estos no sobrepasan los criterios de contaminación nivel de efecto más bajo 31 ppm y nivel de efecto severo 250 ppm. Considerándose como contaminación de riesgo menor; con respecto al sitio 5 que corresponde al Zapatero zona de los enganches el de mayor valor con respecto a los demás sitios; es una zona protegida donde habita las especies animales como cocodrilos y caimanes requiere monitoreo periódicos para evitar que este contaminante se expanda ya que es muy persistente en el ambiente.

Este contaminante puede atribuirse a los procesos industriales que utilizan plomo o productos que lo contienen y las naftas adicionadas de tetraetilo de plomo. Por lo que se requiere monitoreos constantes dado que produce efectos perjudiciales

en la salud como alteración del coeficiente intelectual de niños, daños en el cerebro, anemia, dolor muscular en las articulaciones, problemas en los sistemas nervioso y reproductivo.

En al menos uno de los sitios tiene diferencia a los otros en la concentración de plomo en las muestras de sedimentos recolectadas en los sitios en estudio de Barra de Santiago. (Ver **Anexo N°13**)

### 5.1.7 Resultados del análisis de zinc en las muestras de sedimentos

Para conocer la concentración de zinc en la muestra analizada se esquematizó la cascada de dilución de la muestra y a través de dicho esquema se calculó el factor de dilución (FD), con dicho valor se calculó la concentración total en unidades de ppm. (Ver **Anexo N°9**)

#### - Concentración de zinc en ppm:

A continuación, en la **Tabla N°8** se presenta el resumen de las concentraciones promedios de zinc en cada sitio, utilizando el Método de Absorción Atómica por llama, obteniendo los resultados en ppm para comparar con el valor de la normativa. Se observa que las concentraciones promedio se encuentran aceptables porque estos valores no sobrepasan los criterios de contaminación según Normativa Estadounidense Orientación Técnica para detectar sedimentos contaminados que es para el caso de nivel de efecto más bajo 120 ppm y para el nivel de efecto severo 820 ppm. (Ver **Anexo N°12**)

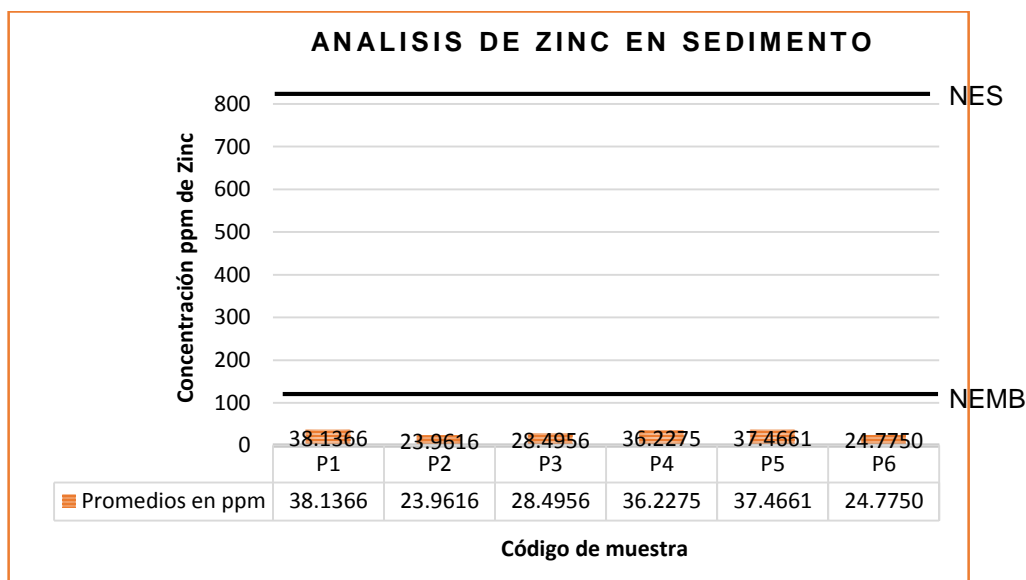
**Tabla N°8.** Resultados del análisis promedio de zinc en ppm

Sitios muestreados	Sitio de muestreo	Promedio de zinc (ppm) por sitio
1	El Espino	38.1366
2	Cajetillo	23.9616
3	Laguneta	28.4966
4	El Zapatero	36.2275
5	Zapatero zona de los enganches	37.4661

Continuación. **Tabla N°8**

6	Los pozos	24.7750
<b>Normativa Estadounidense Orientación técnica para detectar sedimentos contaminados (40)</b>		Nivel de efecto más bajo 120 ppm Nivel de efecto severo 820 ppm

Para una mejor comprensión, se presentan las concentraciones promedio de zinc en las muestras de sedimentos según los sitios de recolección, en la gráfica (Ver **Figura N°7**) el eje vertical representa la concentración de plomo en ppm y el eje horizontal el código de cada muestra analizada.



**Figura N°7.** Gráfica de resultados del análisis de zinc en sedimentos por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica por llama.

La línea negra indica el nivel de efecto más bajo y nivel de efecto severo establecido por la Normativa, 120 y 820 ppm respectivamente, las barras color naranja corresponden a la concentración de plomo por cada sitio.

Los valores promedios en la determinación de zinc, no sobrepasan los criterios de contaminación: nivel de efecto más bajo y nivel de efecto severo, considerándose como de menor riesgo por dicho metal en la zona de estudio Barra de Santiago.

En al menos uno de los sitios tiene diferencia a los otros en la concentración de zinc en las muestras de sedimentos recolectadas en los sitios en estudio de Barra de Santiago. (Ver **Anexo N°13**).

Se muestran en la **Tabla N°9**, el resumen de los promedios antes descritos; resultados obtenidos en el análisis de sedimentos, para cada uno de los elementos por cada sitio de muestreo; en donde se puede visualizar que para el caso de arsénico todos los sitios sobrepasan el nivel de efecto más bajo sin alcanzar el severo, para hierro un sitio sobrepasa el nivel de efecto más bajo 2.11% (El Espino) y para el resto de metales no sobrepasan los criterios de contaminación.

## **5.2 Análisis estadístico**

Con la finalidad de evaluar el comportamiento de los datos experimentales obtenidos en el análisis de sedimentos de manglar por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica, se aplicó el análisis de prueba no paramétrica de Kruskal Wallis, la prueba que permite comprobar si varias muestras independientes (más de dos muestras o lo que es lo mismo decir k muestras independientes) provienen o no de la misma población.

**Tabla N°9.** Resumen de promedios de la determinación de arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc en sedimentos.

Sitios de recolección	Código de muestra	Concentración promedio (ppm)						
		As	Cu	Cr	Fe (%)	Ni	Pb	Zn
El Espino	P1	9.4565	12.8993	7.9458	2.11	4.7668	7.2390	38.1366
Cajetillo	P2	7.9846	6.4010	3.1148	1.38	1.3749	2.9093	23.9616
Laguneta	P3	7.0054	10.2953	2.0491	1.35	1.6646	6.1644	28.4966
El Zapatero	P4	6.1061	9.0872	2.8632	1.53	2.2374	6.9618	36.2275
Zapatero zona de los enganches	P5	6.4537	15.9167	3.2695	1.83	2.8371	7.3894	37.4661
Los Pozos	P6	7.0613	7.7272	1.4561	1.51	1.8275	5.6956	24.7750
<b>Nivel de efecto más bajo y Nivel de efecto severo según Normativa estadounidense</b>		6-33 ppm	16-110 ppm	26-110 ppm	2-4 %	16-75 ppm	31-250 ppm	120-820 ppm

### 5.2.1 Comprobación de prueba estadístico a utilizar

- a) Hipótesis Nula: No hay diferencia estadísticamente significativa o los datos presentan distribución Normal.
- b) Hipótesis Alternativa: Hay diferencia estadísticamente significativa o los datos provienen de una distribución no paramétrica.

Para cada elemento estudiado se le realizó la prueba de Kolmogorov-Sminorv que compara los valores de las funciones de distribución de las muestras; es decir identifica el comportamiento de los datos. Para los siete metales pesados

arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc se aplicó dicha prueba; a continuación, un ejemplo para el caso de arsénico (ver **Tabla N°10**).

**Tabla N°10.** Prueba de Kolmogorov-Sminorv para arsénico

Prueba de Kolmogorov-Sminorv para arsénico		
		Concentración
N		54
Parámetros normales	Media	7.344615
	Desviación estándar	1.3253489
Máximas diferencias extremas	Absoluta	.122
	Positivo	.122
	Negativo	-.078
Estadístico de prueba		.122
Sig. asintótica (bilateral)		.044 <sup>c</sup>
a. La distribución de prueba es normal.		
b. Se calcula a partir de datos.		
c. Corrección de significación de Lilliefors.		

Se rechaza la hipótesis nula dado que el valor de  $p < 0.05$  (Sig. Asintótica) que es 0.044, valor ubicado en la **Tabla N°10**, y procede emplear la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis.

La prueba de Kruskal-Wallis (también llamada la prueba H) es una prueba no paramétrica que utiliza rangos de datos muestrales de tres o más poblaciones independientes. Se utiliza para probar la hipótesis nula donde las muestras independientes provienen de poblaciones con medianas iguales; la hipótesis alternativa es la aseveración donde las poblaciones tienen medianas que no son iguales. <sup>(55)</sup>

Para aplicar la prueba de Kruskal-Wallis, calculamos el estadístico de prueba H, el cual tiene una distribución que puede aproximarse por medio la distribución chi cuadrada, siempre y cuando cada muestra tenga al menos cinco observaciones.

Cuando utilizamos la distribución chi cuadrada en este contexto, el número de grados de libertad es  $k-1$ , donde  $k$  es el número de muestras. <sup>(55)</sup>

### 5.2.2 Resultados análisis de prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc en las muestras de sedimentos.

Para revelar si existe una diferencia significativa entre las concentraciones de cada elemento (arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo o zinc) en las muestras analizadas con un nivel de confianza de 95%, se plantean las siguientes hipótesis para el ejemplo de hierro (ver **Tabla N°11**):

- Hipótesis alternativa: al menos uno de los sitios tiene diferencia a los otros en la concentración de hierro.
- Hipótesis nula: La concentración de hierro en los sitios son iguales.

**Tabla N°11.** Prueba de Kruskal Wallis para hierro

Estadísticos de prueba hierro	
	Concentración
Chi-cuadrado	16.048
gl	5
Sig. asintótica	0.007
Prueba de Kruskal Wallis	

Como el “valor P” (Sig. Asintótica) es 0.0 es menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que al menos en uno los sitios tienen diferencia a los otros en las concentraciones de hierro.

Para los demás metales arsénico, cobre, cromo, níquel, plomo y zinc es similar. Esto indica que al aplicar el análisis de prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis a un nivel de confianza del 95% para cada metal pesado (arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc) de cada uno de los sitios estudiados sobre sedimentos de manglar de la Barra de Santiago al menos en uno de los sitios

existe diferencia a los otros sitios. (Ver **Anexo N°13**). En la **Tabla N°12** se presentan resumen de los “valores P” para cada metal pesado.

**Tabla N°12.** Resumen de Valor P de cada metal pesado en estudio

<b>Metal pesado</b>	<b>Valor P</b>
Arsénico	0.000
Cobre	0.000
Cromo	0.000
Hierro	0.007
Níquel	0.000
Plomo	0.000
Zinc	0.000

Por tanto, se realizó el análisis de Cluster, técnica estadística multivariante que busca agrupar elementos (o variables) tratando de lograr la máxima homogeneidad en cada grupo y la mayor diferencia entre los grupos. <sup>(1)</sup>

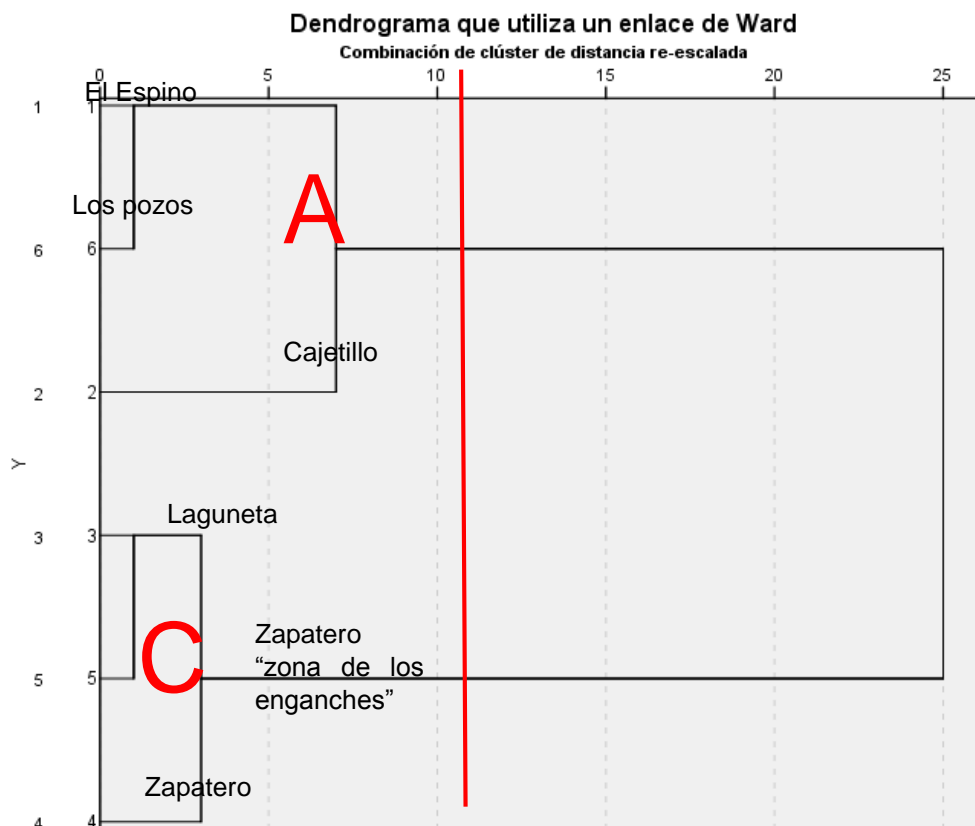
En el Cluster (**Figura N°9**) parece evidente que hay dos clusters o dos sub conglomerados, denominados A y C.

En general, si se corta el Cluster mediante una línea vertical (**Figura N°8**), se determina el número de clusters en que se divide el conjunto de objetos.

En el sub-conglomerado A: el sitio 1 (El Espino) y sitio 6 (Los Pozos) sus concentraciones de los metales pesados (arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc) son similares, estos a su vez son similar al sitio 2 (Cajetillo) pero estos son diferentes al resto de los sitios.

En el sub-conglomerado C: el sitio 3 (Laguneta) y sitio 5 (Zapatero zona de los enganches) las concentraciones de los metales pesados son similares, y a la vez con el sitio 4 (Zapatero) estos diferentes a los otros tres sitios.





**Figura N° 8.** Dendrograma de los seis sitios de muestreo de sedimentos.

Esto se ve reflejado geográficamente en la **Figura N°9**, en donde se visualiza que El Espino, Los Pozos y Cajetillo (Sub-conglomerado A de **Figura N°8**) tienen cercanía entre sí, las características que lo hacen similar en sus concentraciones de los metales puede deberse a la práctica de ganadería en la zona sur de Ahuachapán, así como los cultivos de caña de azúcar, el uso de plaguicidas entre otras; las cuales son arrastradas desde la parte alta, desde Cajetillo hasta desembocar en Los Pozos, en contribución del oleaje, azolvamiento, aguas residuales, desechos de las viviendas.



**Figura N°9.** Ubicación geográfica de los sitios de muestreo.

Los sitios Zapatero zona de los enganches, Zapatero y Laguneta que señala sub-conglomerado C de la **Figura N°8**, y además se observan en la **Figura N°9**, las concentraciones de los metales pesados de estos tres sitios son similares, lo cual puede atribuirse a características que poseen en común; como la mala práctica de componentes en la agricultura y ganadería, que son arrastradas desde lo alto hasta desembocar a Laguneta, que además estos se ven afectados por posibles desechos industriales y de las viviendas cercanas a estos sitios.

CAPITULO VI  
CONCLUSIONES

## 6.0 CONCLUSIONES

1. El análisis de arsénico, demuestra que los sedimentos recolectados en los seis sitios estudiados: El Espino (9.4565 ppm As), Cajetillo, Laguneta, El Zapatero, Zapatero zona de los enganches y Los Pozos sobrepasaron el nivel de efecto más bajo (6 ppm) dado por la normativa estadounidense Orientación Técnica para detectar sedimentos contaminados, de esta manera la normativa indica la necesidad de un mayor control o monitoreo de la zona para evitar el aumento de las concentraciones de dicho contaminante por ser persistente en el ambiente.
2. En cuanto a la determinación de cobre, cromo, níquel, plomo y zinc en las muestras de sedimentos de los sitios estudiados, los valores obtenidos no sobrepasan los criterios nivel de efecto más bajo y nivele de efecto severo establecidos por la Normativa Estadounidense Orientación Técnica para Detectar Sedimentos, considerándose como contaminación de riesgos menores por estos metales.
3. El sitio que sobrepasó el nivel de efecto más bajo en la determinación de hierro, fue El Espino (2.11% Fe), considerando que la normativa menciona que con solo un sitio sobrepase un criterio de contaminación, indica la necesidad de identificar la fuente de contaminación para un mayor control o monitoreos periódicos para evitar que este contaminante se expanda en el resto de los sitios o llegue a contaminar las cadenas tróficas del ecosistema.
4. De los seis sitios estudiados en Barra de Santiago, El Espino es el más contaminado con respecto al resto de los sitios debido a la desembocadura de ríos, azolvamiento, desechos de las viviendas, como

también el incremento de las mareas que azolvan la salida del estero incrementando la bioacumulación de estos metales.

5. Al aplicar el análisis de conglomerados demuestra homogeneidad entre los valores de concentración de metales en las muestras de sedimentos, agrupando aquellos sitios que poseen similitud en las concentraciones por factores como oleaje, arrastre de las corrientes entre otras.

CAPITULO VII  
RECOMENDACIONES

## 7.0 RECOMENDACIONES

1. A las organizaciones que protegen los Sitios Ramsar, buscar alternativas amigables como esfuerzos de remediación de los sedimentos, evaluación y gestión de riesgos, para evitar el avance de contaminación de arsénico en los sitios que sobrepasaron el nivel de efecto más bajo (6 ppm) para los casos de El Espino, Cajetillo, Laguneta, El Zapater, Zapatero zona de los enganches y Los Pozos
2. Gestionar ante el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, una Normativa Salvadoreña que regule el contenido de los niveles de contaminación por metales pesados en sedimentos de manglar.
3. A futuras investigaciones, analizar muestras de agua y sedimentos de ríos que desembocan en el Complejo Barra de Santiago; con la finalidad de evaluar el hábitat de reproducción de la *Anadara tuberculosa*.
4. A las entidades responsables, realizar monitoreos periódicos para determinar las posibles fuentes de contaminación antropogénica y naturales que estén afectado el sitio Ramsar Complejo Barra de Santiago.
5. A futuras investigaciones, evaluar las concentraciones de los metales pesados en organismos marinos existentes en el sitio Ramsar que puedan actuar como bio acumuladores.
6. Al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, monitorear metales pesados en sedimentos, en época seca y lluviosa del año con el fin de comparar el comportamiento de las concentraciones de los metales.

## BIBLIOGRAFIA

1. Aguado, B. (2012). Especiación de metales pesados en sedimentos superficiales del sector Central del Golfo de Cariaco, Estado Sucre, Venezuela. Tesis de grado. Universidad de Oriente. Venezuela. 88p.
2. Ambel Carracedo, M. (1999). Desarrollo de técnicas electroanalíticas aplicables a metales en fluidos biológicos de interés biosanitario. [Tesis doctoral]. Badajoz, España: Universidad de Extremadura.
3. Análisis Conglomerados. (2011). Madrid, España: Santiago de la Fuente Fernández. Disponible en:  
<http://www.fuenterrebollo.com/Economicas/ECONOMETRIA/SEGMENTACION/CONGLOMERADOS/conglomerados.pdf> [Extraído 28 Feb. 2019].
4. Arain, B., Kazi, TG., Jamali, MK, Afridi, HI., Jalbani, N., Sarfraz, RA., Baig, MA. (2008). Time saving modified BCR sequential extraction procedure for the fraction of Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in sediment samples of polluted lake. *Environmental Pollution*, 160: 235–239.
5. Área de Ingeniería Química (2006), Universidad Autónoma de Madrid. [http://www.uam.es/personal\\_pdi/ciencias/mgillar/experimentacionIQII/intercambioionico2006.pdf](http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/mgillar/experimentacionIQII/intercambioionico2006.pdf).
6. Argentina. 2005. Subsecretaria de Recursos Hídricos de la Nación. Desarrollos de niveles guía nacionales de calidad de agua ambiente correspondientes a níquel. 38p



7. ATSDR (2000). Resumen de Salud Pública: Arsénico. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de Salud Pública. Consultado el 02 de febrero de 2018 de: [www.atsdr.cdc.gov/es](http://www.atsdr.cdc.gov/es).
8. ATSDR (2000). Resumen de Salud Pública: Cinc. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de Salud Pública. Consultado el 02 de marzo de 2018 de: [www.atsdr.cdc.gov/es](http://www.atsdr.cdc.gov/es).
9. ATSDR (2000). Resumen de Salud Pública: Cobre. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de Salud Pública. Consultado el 02 de marzo de 2018 de: [www.atsdr.cdc.gov/es](http://www.atsdr.cdc.gov/es).
10. ATSDR (2000). Resumen de Salud Pública: Níquel. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de Salud Pública. Consultado el 02 de marzo de 2018 de: [www.atsdr.cdc.gov/es](http://www.atsdr.cdc.gov/es).
11. ATSDR (2000). Resumen de Salud Pública: Plomo. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de Salud Pública. Consultado el 02 de febrero de 2018 de: [www.atsdr.cdc.gov/es](http://www.atsdr.cdc.gov/es).
12. Bautista, F. (1999). Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados. Universidad Autónoma de Yucatán. México. 109p.

13. Borja Rodríguez, F. (2005). Propiedades del hierro. Madrid, España: Pearson
14. Burriel, F.; Lucena, F.; Arribas, S. y Hernández, J. (2007): Química Analítica Cualitativa. Editorial Paraninfo.
15. Canavos, George C. (1988).” Probabilidad y Estadística. Aplicaciones y Métodos”. Ed.: Mc Graw Hill.
16. Cerdán, M.; Juárez, M. y Sánchez Sánchez, A. (2007). Hierro en el sistema suelo-planta. España: Universidad de Alicante.
17. Concepción, N. y Méndez, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). Archivos de Neurociencias, 16(3), 140-147.
18. Food and Nutrition Board/Institute of Medicine. [fecha de acceso 16 de febrero de 2015]. Dietary Reference Intakes (DRI) for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, and Vanadium. [On line]. Disponible en: <http://www.nap.edu/openbook/0309062794/html>.
19. García, L., Soto, M., Jara, M., Gómez, A. (2004). Fracciones Geoquímicas de Cd, Cu y Pb en Sedimentos Costeros Superficiales de Zonas Ostrícolas del Estado de Sonora, México. Revista Int. Contam. Ambient, 20(4): 159-167.

20. González, E., Tornero, M., Cruz, Y., Bonilla, N. (2009). Concentración total y especiación de metales pesados en biosólidos de origen urbano. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 25(1), 15-22.
21. González, M. y Henríquez J. (2002). Distribución espacial de la concentración de metales en sedimentos superficiales de la laguna Carén. Departamento de Ingeniería Geográfica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Santiago de Chile, Santiago.
22. Guzmán, M. (2007). Contaminación de suelos y agua: Su prevención con nuevas sustancias naturales. Universidad de Sevilla, España. 243p.
23. Henríquez, R. (2011). Caracterización geoquímica de metales pesados en los sedimentos de fondo de la cuenca del Río Tuy, Venezuela. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela, Venezuela. 95p.
24. Ibarz, A. y Barbosa-Cánovas, G. (2005): Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos. Editorial Mundi- Prensa Libros. Madrid, Páginas 865.
25. Instituto tecnológico de Ciudad Altamirano Guerrero. Manual de laboratorio de Biotecnología Aplicada. Licenciatura en Biología. México. Febrero 2012.
26. Jimenez, R. (2010). Plant-based methods for remediating arsenic-polluted mine soils in Spain. [tesis doctoral], Universidad Autónoma de Madrid, Departamento de Química y Farmacia, España. p. 224.

27. Laitinen, H. y Harris, W. (1982): Análisis Químico. Editorial Reverté. Páginas 638
28. Lara Porras A.M. (2001). "Diseño estadístico de experimentos, análisis de la varianza y temas relacionados: tratamiento informático mediante SPSS". Ed.: Proyecto Sur.
29. Limo U. (2003). Fundamentos teóricos del plomo. Versión III. Ubilis Limo, medio ambiente de Talara. [Trabajo de graduación] Perú.
30. López Romaña, D.; Castillo, C. D.; Diazgranados, D. (2010). El zinc en la salud humana - II. Rev. Chil. Nutr., 37(2), 240-247.
31. Lorca Muñoz, X. M. (2005). Análisis de As, Ca, F, Fe, Mn y Mg en aguas minerales y termales de la novena y décima regiones de Chile. [Trabajo de Graduación] Chile: Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias
32. Lucho, C.A., Álvarez, M., Beltrán, R.I., Prieto, F. & Poggi, H. (2005). A multivariate analysis of the accumulation and fractionation of major and trace elements in agricultural soils in Hidalgo State, Mexico irrigated with raw wastewater. Agric. Ecosyst. Environ, 108: 57-71.
33. Manahan, S. (2007). Introducción a la Química Ambiental. Editorial Reverté. Universidad Nacional Autónoma de México. 760p.
34. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (MARN). 2006. Plan Nacional de Ordenamiento y Desarrollo Territorial. Catálogo de Espacios Naturales. El Salvador, C.A. 185 pp.

35. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (MARN). 2011. Biodiversidad marino costera de El Salvador. Análisis de vacíos y estrategias para su conservación. TNC. 120pp
36. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (MARN). 2016. Sitio Ramsar Complejo Barra de Santiago. Consultado el 01 de mayo de 2018 de: <http://www.marn.gob.sv/sitio-ramsar-complejo-barra-de-santiago/>
37. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (MARN).2013. El ecosistema de Manglar. Foro Avances de la conservación y restauración inclusiva de manglares.
38. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (MARN).2013. Sitios Ramsar en El salvador. Consultado el 01 de mayo de 2018 de: <http://www.marn.gob.sv/sitios-ramsar/>
39. Moreno, R. (2009). Caracterización geoquímica de los sedimentos de fondo de la zona este del Golfete de Cuare y su zona próxima costera, Estado Falcón. Tesis de grado. Universidad Central de Venezuela. 73p.
40. New York State Department of Environmental Conservation Division of Fish, Wildlife and Marine Resources. Technical Guidance for Screening Contaminated Sediments. Change Sheet for January 25, 1999.
41. Ortega, D. (2015). Cuantificación de los niveles de Metales Pesados (Pb, Hg) en sedimentos en tres localidades del Estero Grande, de la zona costera de la provincia de El Oro 2014. (Tesis de Grado para la obtención de título de Ingeniero Químico, Universidad Técnica de Machala).

42. Parra, J. P. & L. F. Espinosa: Acumulación de Pb, Cd y Zn en sedimentos asociados a *Rhizophora mangle*, en el río Sevilla, Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. Rev. Acad. Colomb.2007. Consultado 1 de mayo de 2018 de: [http://www.accefyn.org.co/revista/Vol\\_31/120/347-354.pdf](http://www.accefyn.org.co/revista/Vol_31/120/347-354.pdf)
43. Pérez López, C. (2005). Muestreo estadístico: conceptos y problemas resueltos. España: Pearson Educación.
44. Prieto, M. C. (2011). Determinación de metales pesados en hortalizas distribuidas en plazas de mercado, centros de abasto e hipermercados de la ciudad de Bogotá D.C. [Trabajo de graduación] Costa Rica: Universidad para la cooperación internacional.
45. Propiedades químicas del Cromo. Efectos del Cromo sobre la salud - Efectos ambientales del Cromo. Consultado el 05 de marzo de 2018:  
<https://www.lenntech.es/periodica/elementos/cr.htm#ixzz58vdXvZ8a>
46. Propiedades químicas del Hierro. Efectos del Hierro sobre la salud. Efectos ambientales del Hierro. Consultado el 05 de marzo de 2018 de:  
<https://www.lenntech.es/periodica/elementos/fe.htm#ixzz58vji62bn>
47. Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-smirnov (KS). Extraído el 15 de septiembre de 2018 de:  
[https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/5/5015/Complemento\\_3\\_Prueba\\_de\\_Bondad\\_de\\_Ajuste\\_de\\_Kolmogorov\\_Smirnov.pdf](https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/5/5015/Complemento_3_Prueba_de_Bondad_de_Ajuste_de_Kolmogorov_Smirnov.pdf)
48. Rocha, E. (2000). Espectrometría de absorción atómica. Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Químicas. Editorial UACH, México, p. 123-230.

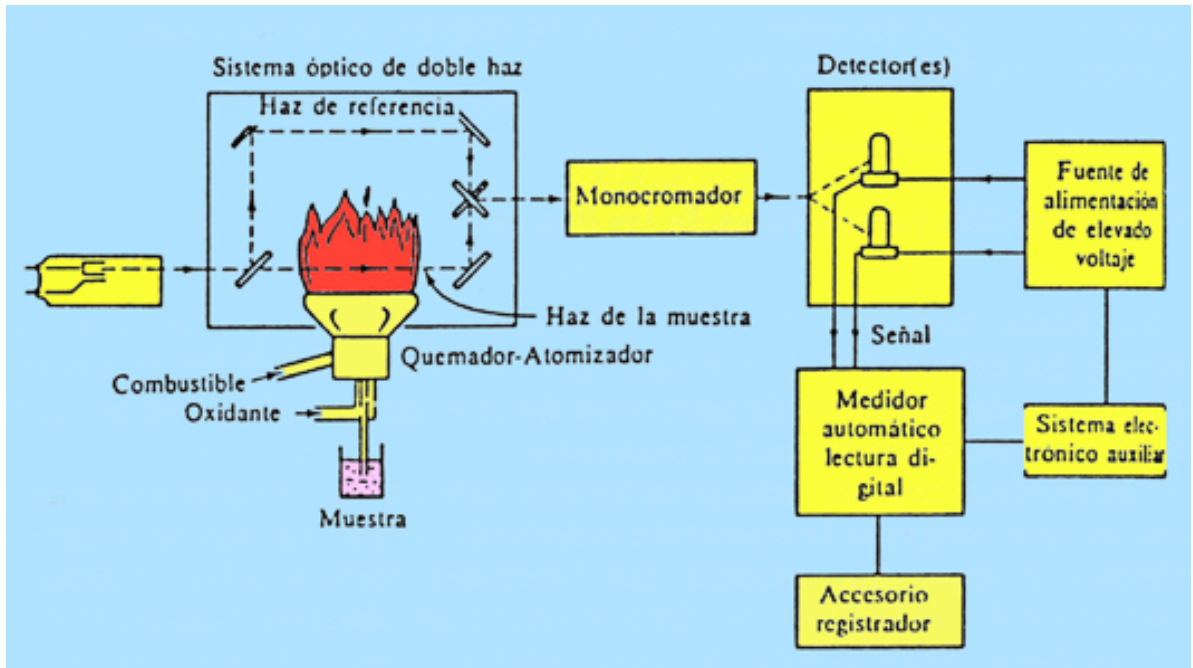
49. Rodríguez, R. (2000). Aportaciones al conocimiento medioambiental de hidrosistemas de interés internacional situados en Castilla-La Mancha. Tesis doctorales N° 105. Universidad de Castilla-La Mancha, España. 584p.
50. Romero Braquehais, F. (2008). Estabilidad de vitaminas, vida comercial y bioaccesibilidad de folatos-hierro en fórmulas infantiles de continuación y crecimiento. Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo. Universidad de Murcia.
51. Ronquillo, M., Bonilla, N., Rosiles, R. Tornero, M., González, J. (2005). Especiación de metales pesados en sedimentos de la presa Manuel Ávila Camacho. Universidad Autónoma del Estado de México. 10p.
52. Rosas, H. (2001). Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca de Llobregat. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, España. 281p.
53. Rubio, C.; González Weller, D. (2007). El zinc: oligoelemento esencial. Nutr. Hosp., 22(1), 101-107.
54. Sans, R y Ribas, J. (1989). Ingeniería ambiental: Contaminación y tratamientos. Marcombo S.A. Barcelona, España. 148p.
55. Triolla, M. (2004). Estadística (9 ed). México: Pearson Educación.

## **ANEXOS**

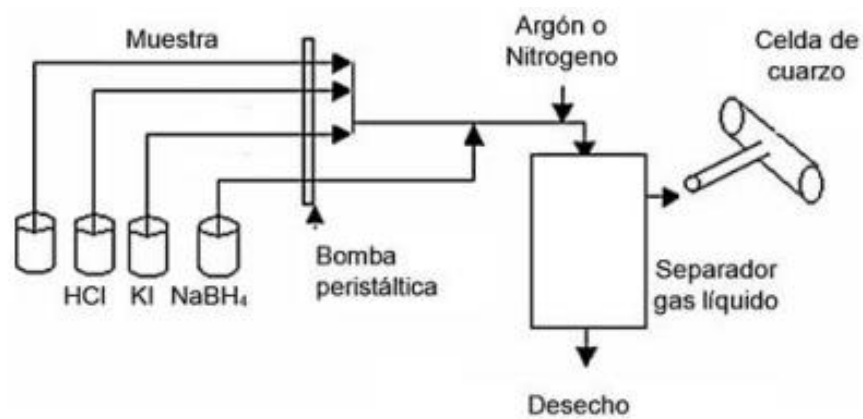


## **ANEXO N° 1**

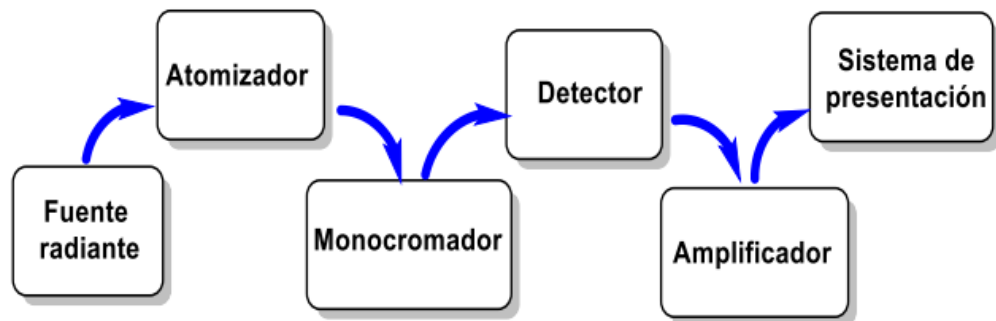
**METODO DE CUANTIFICACION: ESPECTROSCOPIA DE ABSORCION  
ATOMICA**



**Figura N°10.** Diagrama típico del quemador en Espectroscopia de Absorción Atómica con llama



**Figura N°11.** Diagrama de Absorción Atómica Generador de Hidruro



**Figura N°12.** Componentes básicos de un equipo de absorción atómica.

## **ANEXO N°2**

CRITERIOS DE CONTAMINACION POR NORMATIVA  
ESTADOUNIDENSE ORIENTACION TECNICA PARA DETECTAR  
SEDIMENTOS CONTAMINADOS

**Cuadro N°3.** Normativa estadounidense Orientación técnica para detectar sedimentos contaminados.

Metal	Sin nivel de efecto (ppm).	Nivel de efecto más bajo (ppm).	Nivel de efecto severo (ppm).
<b>Arsénico</b>	-	6	33
<b>Cadmio</b>	-	0.6	10
<b>Cromo</b>	-	26	110
<b>Cobre</b>	-	16	110
<b>Hierro (%)</b>	-	2	4
<b>Plomo</b>	-	31	250
<b>Manganeso</b>	-	460	1100
<b>Mercurio</b>	-	0.2	2
<b>Níquel</b>	-	16	75
<b>Zinc</b>	-	120	820
<b>TOC %</b>	-	1	10
<b>TKN</b>	-	550	4800
<b>TP</b>	-	600	2000

TOC: Carbono orgánico total

TP: Fósforo total

TKN: Nitrógeno total de Kjeldahl

Las concentraciones están representadas en ppm exceptuando hierro y TOC porcentual.

**ANEXO N°3**  
ECOSISTEMAS MARINOS DE EL SALVADOR



**Figura N°13.** Distribución de Manglares en El Salvador.

Manglares en El Salvador:

Bahía de Monte

Isla Montecristo

Barra de Santiago

Bahía de Jiquilisco

Portezuelo

Las Tunas

Estero de San Diego

El Tamarindo

Estero de Jaltepeque

Golfo de Fonseca

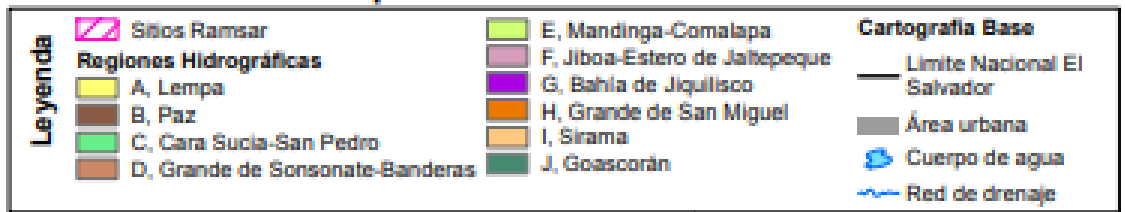


Figura N°14. Sitios Ramsar en El Salvador.



## **ANEXO N°4**

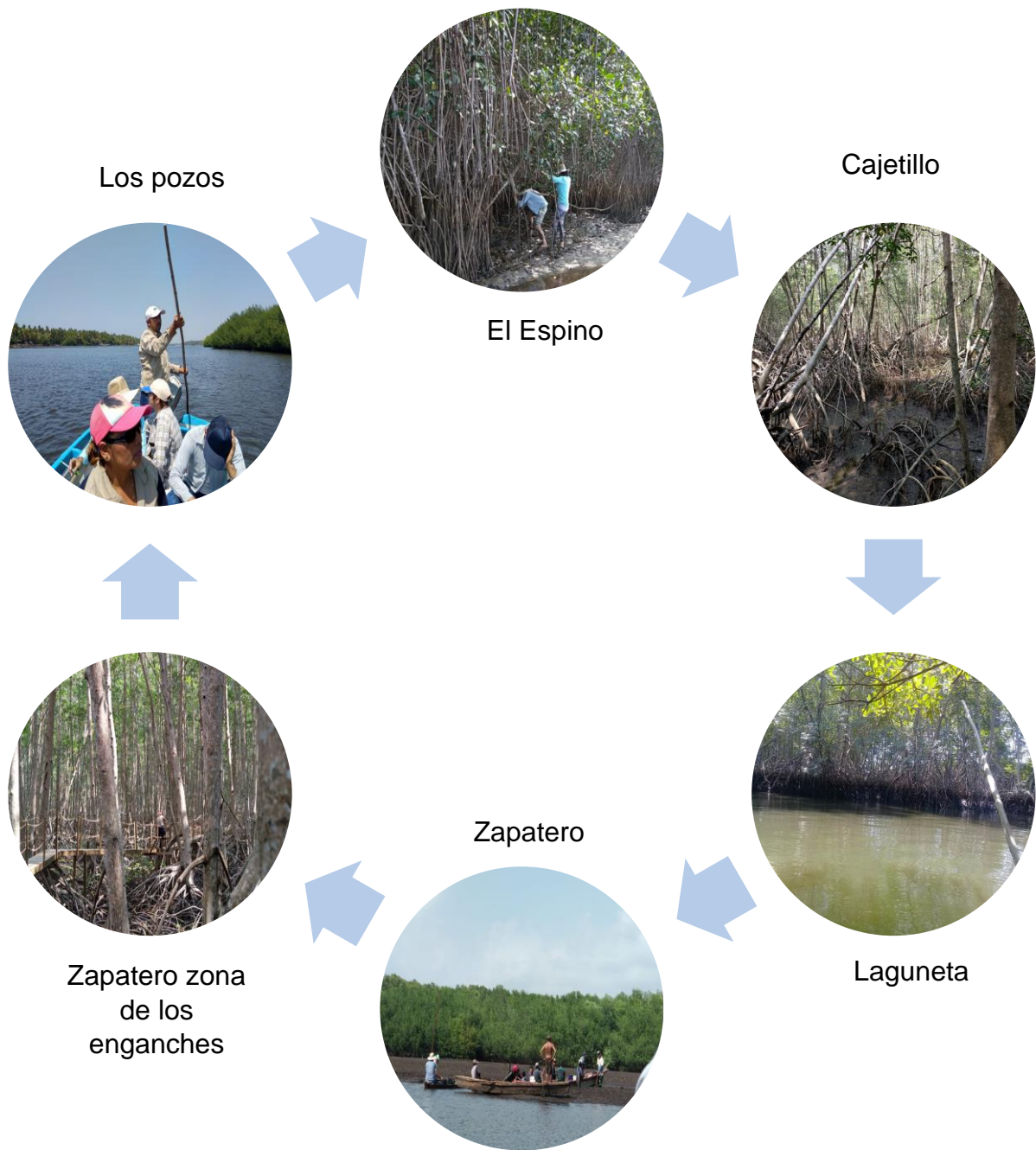
UBICACION DE ZONA DE ESTUDIO



**Figura N°15.** Ubicación del Área Natural Protegida Barra de Santiago, departamentos de Ahuachapán y Sonsonate.



Figura N°16. Zona costera occidental Barra de Santiago



**Figura N°17.** Sitios de recolección de muestras de sedimentos.

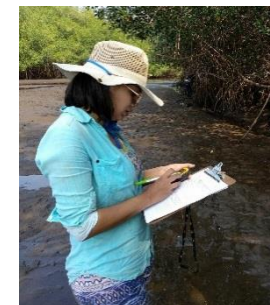
**ANEXO N°5**

RECOLECCION DE MUESTRAS





**Selección de sitios a muestrear**



**Recolección de muestras de sedimentos**

**Figura N°18.** Selección y recolección de muestras de sedimentos.



Almacenamiento de las muestras



Transporte de muestras



Hielera a  $T^{\circ} \pm 4^{\circ}C$



Etiquetado de muestras



Figura N°18. Continuación

## **ANEXO N°6**

MATERIALES, CRISTALERIA, EQUIPO, REACTIVOS Y PREPARACION  
DE REACTIVOS PARA LA DETERMINACION DE METALES.



## **MATERIALES Y CRISTALERIA**

- Agitadores de vidrio
- Crisoles de porcelana
- Balones volumétricos 50 mL y 100 mL
- Bolsas plásticas de 5 lb
- Bolsas plásticas Ziploc
- Etiquetas de papel
- Embudo de vidrio
- Espátula de plástico
- Guantes
- Hielera y hielo
- Marcador permanente
- Mascarilla para gases
- Micro pipetas de 5 y 10 mL
- Mortero y pistilo
- Papel filtro Whatman # 42
- Papel glassine
- Pipetas pasteur
- Probetas 25 mL y 50 mL
- Soporte de madera para filtrar
- Vaso de precipitado 25, 50, 100, 250 mL
- Pizeta plástica
- Puntas para micro pipetas
- Papel toalla

## **EQUIPOS**

- Balanza Analítica
- Estufa
- Hot plate
- Mufla

- Espectrofotómetro de Absorción Atómica (Shimadzu) AA-7000
- Unidad de Generador de Vapor de Hidruros
- Unidad de Llama para espectrofotómetro de Absorción Atómica

## **REACTIVOS**

- Ácido Clorhídrico concentrado
- Ácido clorhídrico (1:1)
- Ácido nítrico (1:1)
- Agua bidestilada
- Solución Estándar de 1000 ppm de plomo
- Solución Estándar de 1000 ppb de arsénico
- Solución Estándar de 1000 ppm de cromo
- Solución Estándar de 1000 ppm de cobre
- Solución Estándar de 1000 ppm de hierro
- Solución Estándar de 1000 ppm de cobalto
- Solución Estándar de 1000 ppm de zinc
- Solución Estándar de 1000 ppm de níquel
- Solución de Nitrato de paladio (II)
- Solución de Yoduro de potasio
- Solución de Tetrahidrobórato de sodio 0.5%

## **PREPARACION DE REACTIVOS**

### **- Preparación de 500 mL de solución de Hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 M**

1. Pesar 2.0000 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 mL y aforar con agua bidestilada.
4. Homogenizar la solución.

### **- Preparación de 500 mL de solución de Tetrahidrobórato de sodio (0.5 P/V)**

1. Pesar 2.5 g de Tetrahidrobórato 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 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 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 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 mL con agua y homogenizar.
3. Agregar agua a 20 mL de esta solución y llevar a 200 mL.

**- Preparación de 100 mL de ácido nítrico (1:1)**

1. Medir 250 mL de ácido nítrico concentrado en una probeta de 250 mL.
2. Transferir a un balón volumétrico de 500 mL.
3. Aforar con agua bidestilada y homogenizar.

**ANEXO N°7**

PRE- TRATAMIENTO Y TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE  
SEDIMENTOS

Secar las muestras de sedimentos a una temperatura  $50\pm 5^{\circ}\text{C}$  durante 8 horas.



Triturar la muestra



Pesar de 3.0 a 5.0 g de muestra en un crisol



Pasar la muestra por un tamiz plástico



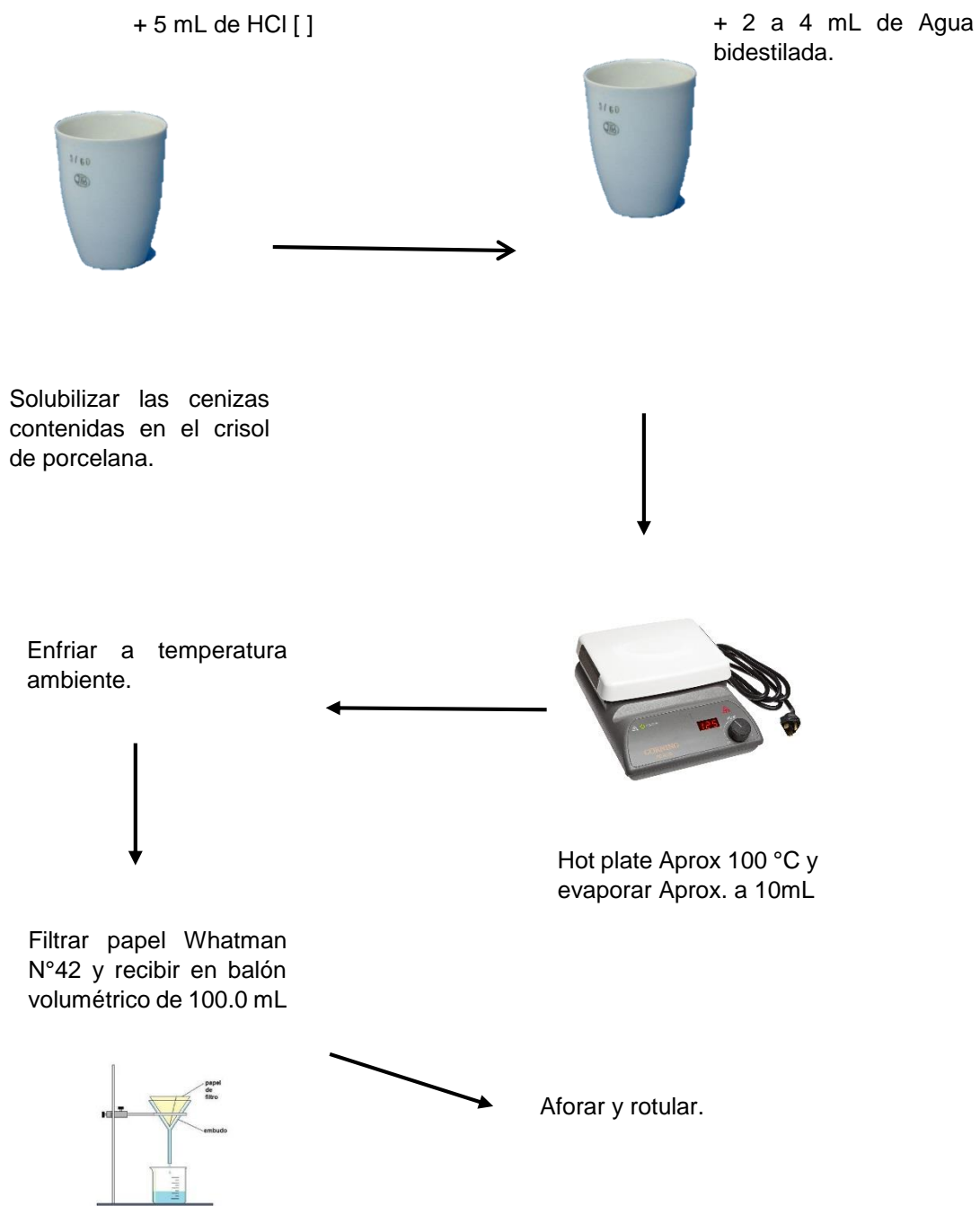
Colocar el crisol en una mufla a  $100^{\circ}\text{C}$  por una hora.



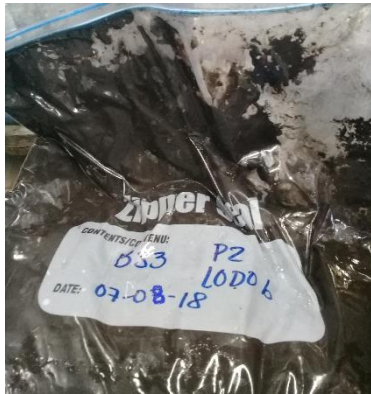
Calentar a  $500^{\circ}\text{C}$  por 2 horas para calcinarlo.



**Figura N°19.** Pre-tratamiento de las muestras de sedimentos



**Figura N°20.** Preparación de soluciones de trabajo de las muestras a partir de las cenizas



**Pesado de muestras**



**Calcinado de muestras**



**Secado de muestras**

**Figura N°21.** Tratamiento de muestras para determinación de Cu, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn; por EEA con llama.

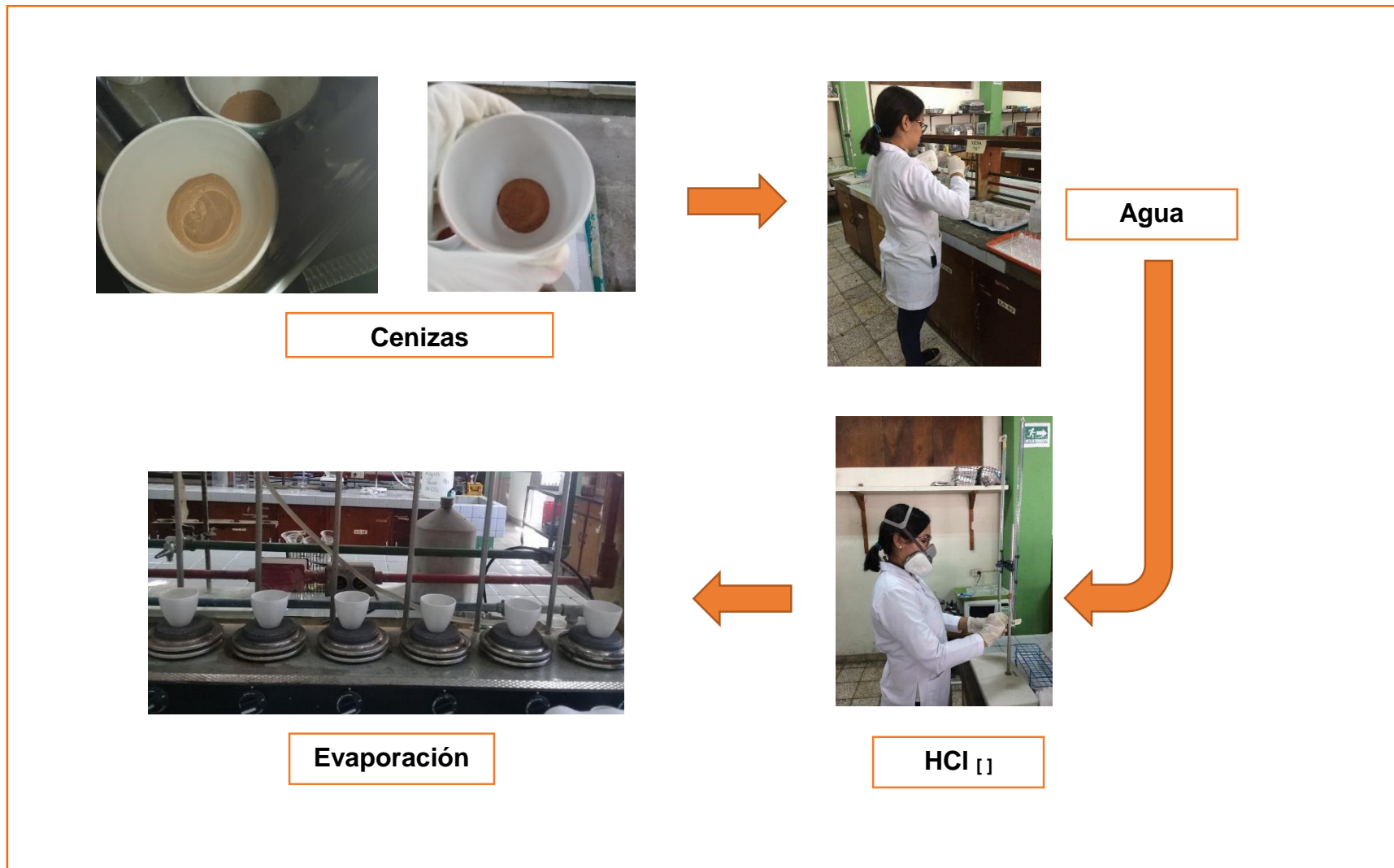


Figura N°21. Continuación





**Proceso de filtración**



**Reservorio de muestras**

**Figura N°21. Continuación**

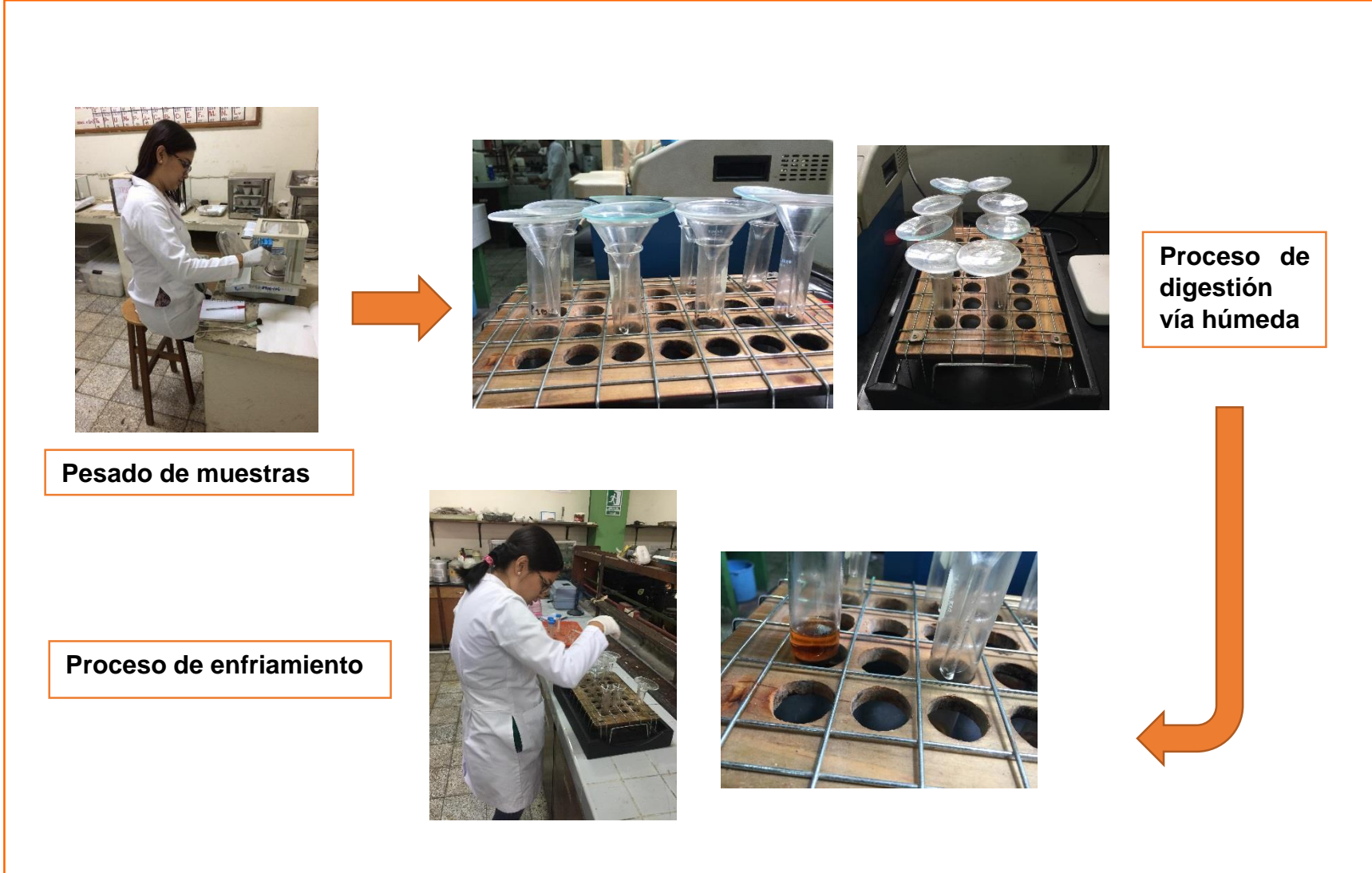
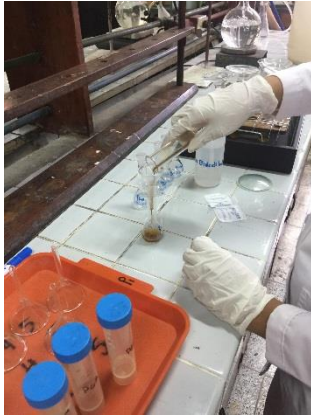


Figura N°22. Tratamiento de muestras para determinación de As por EEA por técnica Generador de Hidruros.



**Proceso de filtración**



**Reservorio de las muestras**

**Figura N°22.** Continuación.

## **ANEXO N° 8**

PLANTEAMIENTO DE CÁLCULOS PARA LA PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN STOCK DE 100 PPB ARSENICO, 20 PPM DE COBRE, HIERRO, NIQUEL Y PLOMO 40 PPM DE CROMO Y ZINC Y SUS SOLUCIONES ESTÁNDARES.

**- Planteamiento de cálculos para la preparación de las soluciones stock (100ppb) de arsénico cada una a partir de una concentración de 1000ppb para dicho elemento.**

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

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

Dónde:

**C<sub>1</sub>** = Concentración inicial (1000 ppb de As)

**C<sub>2</sub>** = Concentración final (100 ppb de As)

**V<sub>2</sub>** = Volumen final (250.0 mL)

**V<sub>1</sub>** = Alícuota a tomar de la solución de 1000 ppm de As para la preparación de la solución stock (100 ppm de As).

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

$$V_1 = 25 \text{ mL}$$

**- Planteamiento de cálculos para la preparación de las soluciones stock (20ppm) de cobre, hierro, níquel y plomo cada una a partir de una concentración de 1000ppm para cada elemento.**

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

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

Dónde:

**C<sub>1</sub>** = Concentración inicial (1000 ppm de Cu)

**C<sub>2</sub>** = Concentración final (20 ppm de Cu)

**V<sub>2</sub>** = Volumen final (250.0 mL)

**V<sub>1</sub>** = 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<sub>1</sub> = 5 mL

**NOTA:** El mismo planteamiento se aplicó en el cálculo para la preparación de la solución stock de hierro, níquel y plomo.

**- Planteamiento de cálculos para la preparación de las soluciones stock (40ppm) de cromo y zinc para cada una a partir de una concentración de 1000ppm para el elemento.**

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

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

Dónde:

**C<sub>1</sub>** = Concentración inicial (1000 ppm de Cr)

**C<sub>2</sub>** = Concentración final (40 ppm de Cr)

**V<sub>2</sub>** = Volumen final (250.0 mL)

**V<sub>1</sub>** = Alícuota a tomar de la solución de 1000 ppm de Cr para la preparación de la solución stock (40 ppm de Cr).

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

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

**NOTA:** El mismo planteamiento se aplicó en el cálculo para la preparación de la solución stock de zinc.

**- Planteamiento de cálculos para la preparación de las soluciones estándar de arsénico para cada una a partir de la solución stock 100 ppb para dicho elemento**

**Ejemplo:** Cálculo para la solución estándar 0.50 ppb de arsénico (As)

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

Dónde:

**C<sub>1</sub>** = Concentración inicial (100 ppb de As)

**C<sub>2</sub>** = Concentración final (0.50 ppb de As)

**V<sub>2</sub>** = Volumen final (100.0 mL)

**V<sub>1</sub>** = Alícuota a tomar de la solución de 100 ppb de As para la preparación de la solución estándar (0.50 ppb de As).

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

$$V_1 = 0.50 \text{ mL}$$

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

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

Dónde:

**C<sub>1</sub>** = Concentración inicial (100 ppb de Pb)

**C<sub>2</sub>** = Concentración final (1 ppb de As)

**V<sub>2</sub>** = Volumen final (100.0 mL)

**V<sub>1</sub>** = Alícuota a tomar de la solución de 100 ppb de As para la preparación de la solución estándar (1 ppb de As).

$$V_1 = \frac{1 \text{ ppb} \times 100 \text{ mL}}{100 \text{ ppm}}$$

V<sub>1</sub> = 1 mL

**Ejemplo:** Cálculo para la solución estándar 2 ppb de arsénico (As)

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

Dónde:

**C<sub>1</sub>** = Concentración inicial (100 ppb de Pb)

**C<sub>2</sub>** = Concentración final (2 ppb de As)

**V<sub>2</sub>** = Volumen final (100.0 mL)

**V<sub>1</sub>** = Alícuota a tomar de la solución de 100 ppb de As para la preparación de la solución estándar (2 ppb de As).

$$V_1 = \frac{2 \text{ ppb} \times 100 \text{ mL}}{100 \text{ ppm}}$$

V<sub>1</sub> = 2 mL

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

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

Dónde:



**C<sub>1</sub>** = Concentración inicial (100 ppb de As)

**C<sub>2</sub>** = Concentración final (5 ppb de As)

**V<sub>2</sub>** = Volumen final (100.0 mL)

**V<sub>1</sub>** = Alícuota a tomar de la solución de 100 ppb de As para la preparación de la solución estándar (5 ppb de Pb).

$$V_1 = \frac{5 \text{ ppb} \times 100 \text{ mL}}{100 \text{ ppm}}$$

V<sub>1</sub> = 5 mL

**- Planteamiento de cálculos para la preparación de las soluciones estándar de cobre, hierro, níquel y plomo cada una a partir de solución stock de 20 ppm para cada elemento.**

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

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

Dónde:

**C<sub>1</sub>** = Concentración inicial (20 ppm de Cu)

**C<sub>2</sub>** = Concentración final (0.2 ppm de Cu)

**V<sub>2</sub>** = Volumen final (100.0 mL)

**V<sub>1</sub>** = 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<sub>1</sub> = 1 mL

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

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

Dónde:

**C<sub>1</sub>** = Concentración inicial (20 ppm de Cu)

**C<sub>2</sub>** = Concentración final (1.0 ppm de Cu)

**V<sub>2</sub>** = Volumen final (100.0 mL)

**V<sub>1</sub>** = Alícuota a tomar de la solución de 20 ppm de Cu para la preparación de la solución estándar (1.0 ppm de Cu).

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

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

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

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

Dónde:

**C<sub>1</sub>** = Concentración inicial (20 ppm de Cu)

**C<sub>2</sub>** = Concentración final (2.0 ppm de Cu)

**V<sub>2</sub>** = Volumen final (100.0 mL)

**V<sub>1</sub>** = Alícuota a tomar de la solución de 20 ppm de Cu para la preparación de la solución estándar (2.0 ppm de Cu).

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

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

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

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

Dónde:

**C<sub>1</sub>** = Concentración inicial (20 ppm de Cu)

**C<sub>2</sub>** = Concentración final (4.0 ppm de Cu)

**V<sub>2</sub>** = Volumen final (100.0 mL)

**V<sub>1</sub>** = Alícuota a tomar de la solución de 20 ppm de Cu para la preparación de la solución estándar (4.0 ppm de Cu).

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

$$V_1=20 \text{ mL}$$

**NOTA:** El mismo planteamiento se aplicará en el cálculo para la preparación de la solución estándar de 0.3, 1.0, 3.0 y 6.0 ppm de hierro; 0.5, 1.0, 3.0 y 5.0 ppm de níquel y 0.2, 0.5, 3.0 y 5.0 ppm de plomo.

**- Planteamiento de cálculos para la preparación de las soluciones estándar de cromo y zinc cada una a partir de solución stock de 40 ppm para el elemento.**

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

$$C_1V_1=C_2V_2 \qquad V_1=\frac{C_2V_2}{C_1} \qquad \longrightarrow$$

Dónde:

**C<sub>1</sub>** = Concentración inicial (40 ppm de Cr)

**C<sub>2</sub>** = Concentración final (0.2 ppm de Cr)

**V<sub>2</sub>** = Volumen final (100.0 mL)

**V<sub>1</sub>** = 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)

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

Dónde:

**C<sub>1</sub>** = Concentración inicial (40 ppm de Cr)

**C<sub>2</sub>** = Concentración final (0.5 ppm de Cr)

**V<sub>2</sub>** = Volumen final (100.0 mL)

**V<sub>1</sub>** = 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)

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

Dónde:

**C<sub>1</sub>** = Concentración inicial (40 ppm de Cr)

**C<sub>2</sub>** = Concentración final (3.0 ppm de Cr)

**V<sub>2</sub>** = Volumen final (100.0 mL)

**V<sub>1</sub>** = 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 6.0 ppm de cromo (Cr)

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

Dónde:

**C<sub>1</sub>** = Concentración inicial (40 ppm de Cr)

**C<sub>2</sub>** = Concentración final (6.0 ppm de Cr)

**V<sub>2</sub>** = Volumen final (100.0 mL)

**V<sub>1</sub>** = Alícuota a tomar de la solución de 40 ppm de Cr para la preparación de la solución estándar (6.0 ppm de Cr).

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

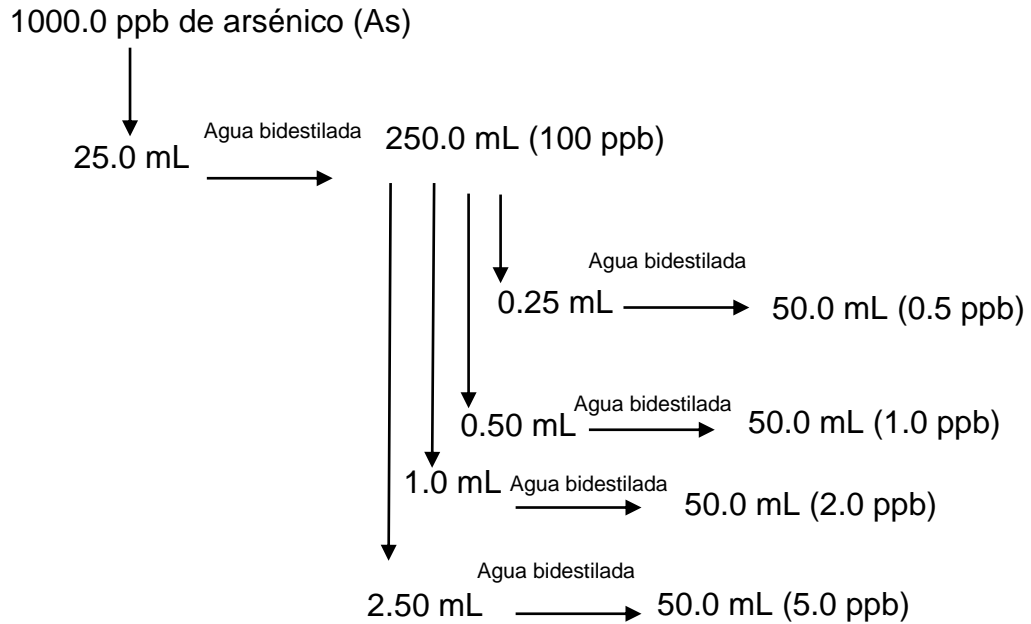
$$V_1 = 15 \text{ mL}$$

**NOTA:** El mismo planteamiento se aplicará en el cálculo para la preparación de la solución estándar de 0.05, 0.10, 0.50 y 1.0 ppm de zinc

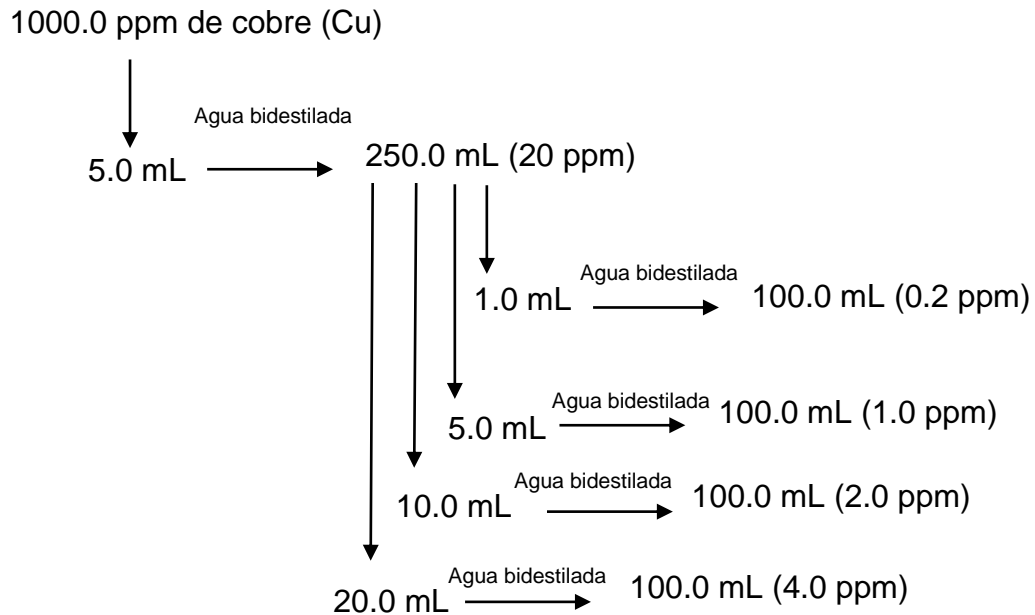
## **ANEXO N°9**

CASCADAS DE DILUCION, ESQUEMAS DE DILUCION PARA LA PREPARACION DE LAS SOLUCIONES ESTANDARES Y CALCULOS PARA LA DETERMINACION DE ARSÉNICO, COBRE, CROMO, HIERRO, NIQUEL, PLOMO Y ZINC.

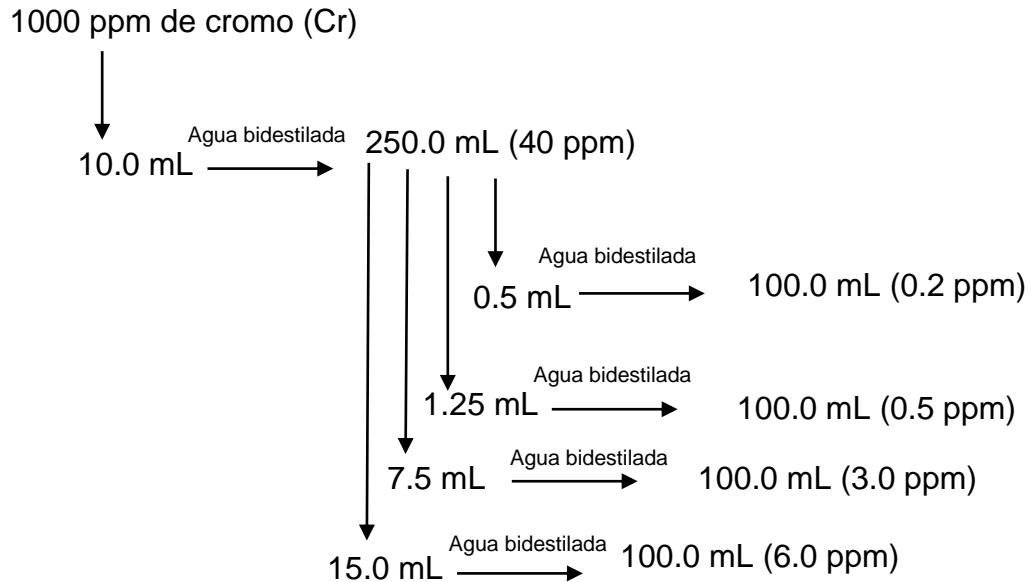
**- Cascada de disoluciones para preparar la curva de estándares de Arsénico.**



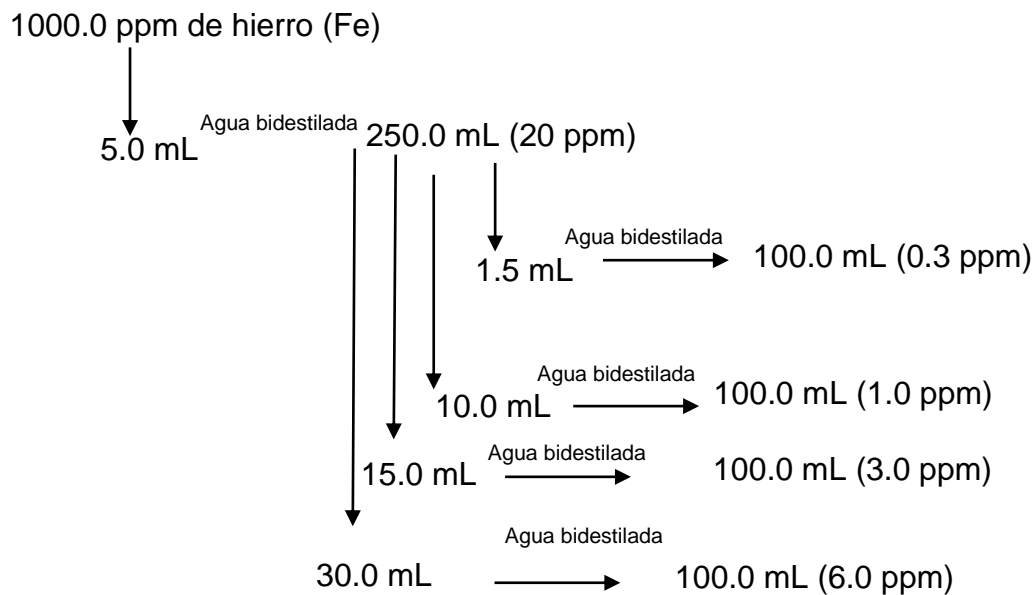
**- Cascada de disoluciones para preparar la curva de estándares de Cobre.**



**-Cascada de disoluciones para preparar la curva de estándares de Cromo.**

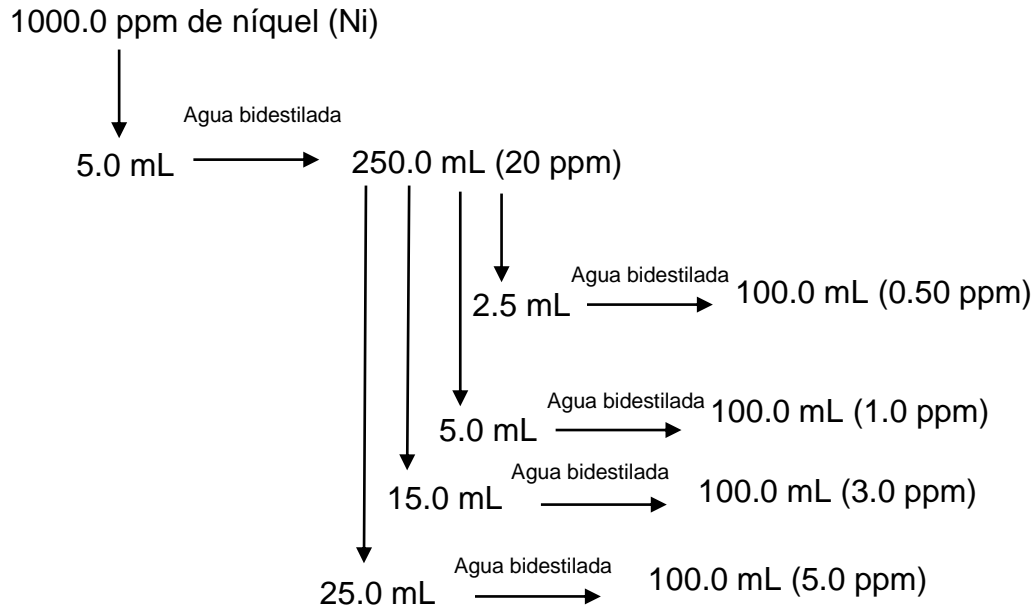


**- Cascada de disoluciones para preparar la curva de estándares de Hierro.**

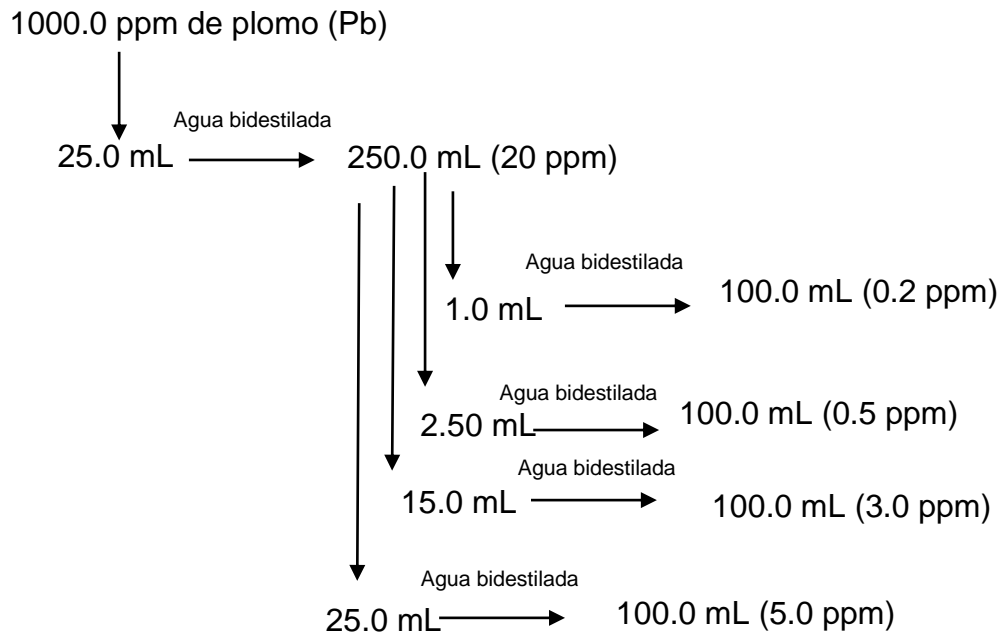




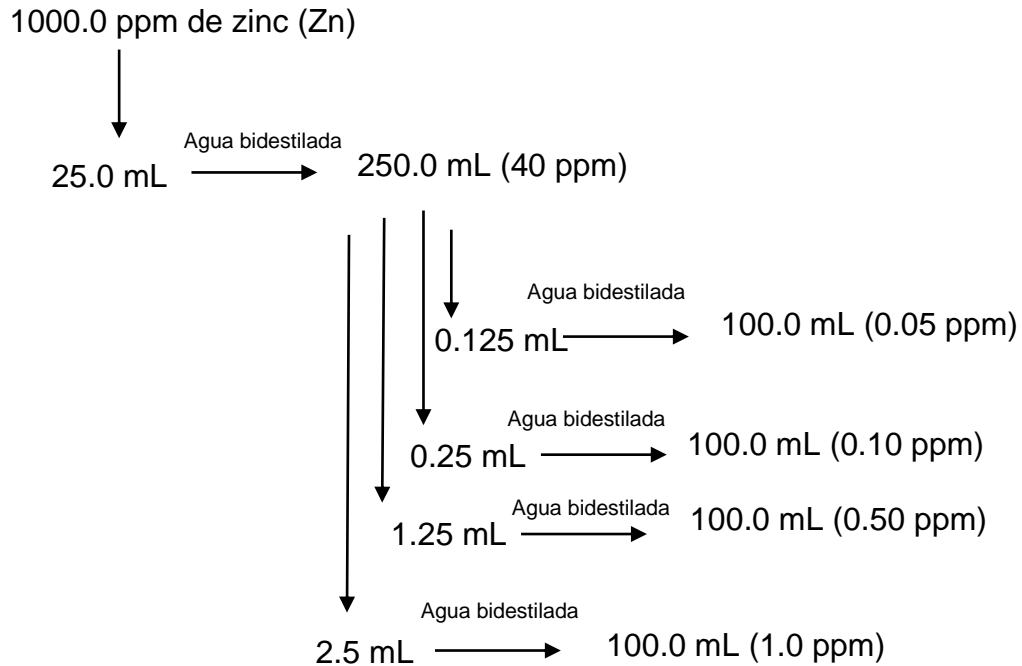
**- Cascada de disoluciones para preparar la curva de estándares de Níquel.**



**- Cascada de disoluciones para preparar la curva de estándares de Plomo.**



**- Cascada de disoluciones para preparar la curva de estándares de Zinc.**

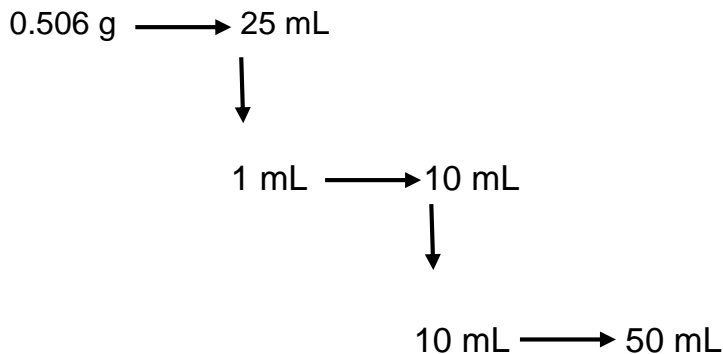


Cálculos para la determinación de arsénico, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc.

**1. Determinación de arsénico (As)**

**Ejemplo:** esquema de dilución y cálculos con muestra **P1A** (Ver datos en **Tabla N°**)

A) Esquema de dilución para la determinación de As



$$FD = \frac{\text{Volúmenes hechos}}{\text{Alícuotas tomadas}}$$

$$FD = \frac{25 \text{ mL} \times 10 \text{ mL} \times 50 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 10 \text{ mL}}$$

$$FD = 1250 \text{ mL} = 1.25 \text{ L}$$

B) Cálculos aplicando la ley de Bourguer-Lambert-Beer.

El equipo de absorción atómica proporcionó una lectura directa en ppb del elemento en estudio (arsénico), en cada una de las réplicas de las muestras. Pero para calcular la concentración equivalente al peso muestra se aplicó la Ley de Bourguer-Lambert-Beer:

**Muestra P1A lectura N°1:**

$$C_{m_x} = \frac{(C_{st}) (A_{m_x})}{A_{st}} \times FD \quad \Rightarrow \quad C_{m_x} \times FD$$

$C_{m_x} \times FD =$  concentración total en ppb de As

$$3.5257 \text{ ppb} \times 1.25 = 4.4071 \text{ ppb de As}$$

- Para la conversión de ppb a ppm se utilizó la siguiente conversión:

$$1 \text{ ppm} = 1000 \text{ ppb}$$

Conversión de ppb a ppm de arsénico (As):

$$4.4071 \text{ ppb de As} \times \frac{1 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppb}} = 0.004407 \text{ mg de As}$$

- Para calcular los ppm de As en el peso de muestra:

$$\frac{0.004407 \text{ ppm de As} \times 1000 \text{ g}}{0.506 \text{ g}} = 8.7097 \text{ ppm de As}$$

**Muestra P1A lectura N°2:**

$$C_{mx} = \frac{(C_{st}) (A_{mx})}{A_{st}} \times FD \quad \Rightarrow \quad C_{mx} \times FD$$

$C_{mx} \times FD$  = concentración total en ppb de As

$$3.5953 \text{ ppb} \times 1.25 = 4.4941 \text{ ppb de As}$$

- Para la conversión de ppb a ppm se utilizó la siguiente conversión:

$$1 \text{ ppm} = 1000 \text{ ppb}$$

Conversión de ppb a ppm de arsénico (As):

$$4.4941 \text{ ppb de As} \times \frac{1 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppb}} = 0.004494 \text{ mg de As}$$

- Para calcular los ppm de As en el peso de muestra:

$$\frac{0.004494 \text{ ppm de As} \times 1000 \text{ g}}{0.506 \text{ g}} = 8.8817 \text{ ppm de As}$$

### **Muestra P1A lectura N°3:**

$$C_{mx} = \frac{(C_{st}) (A_{mx})}{A_{st}} \times FD \quad \Rightarrow \quad C_{mx} \times FD$$

$C_{mx} \times FD$  = concentración total en ppb de As

$$3.5605 \text{ ppb} \times 1.25 = 4.4506 \text{ ppb de As}$$

- Para la conversión de ppb a ppm se utilizó la siguiente conversión:

$$1 \text{ ppm} = 1000 \text{ ppb}$$

Conversión de ppb a ppm de arsénico (As):

$$4.4506 \text{ ppb de As} \times \frac{1 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppb}} = 0.00445 \text{ mg de As}$$

- Para calcular los ppm de As en el peso de muestra:

$$\frac{0.00445 \text{ ppm de As} \times 1000 \text{ g}}{0.506 \text{ g}} = 8.7957 \text{ ppm de As}$$

## 2. Determinación de cobre (Cu)

**Ejemplo:** esquema de dilución y cálculos con muestra **P1A** (Ver datos en **Tabla N°4**)

A) Esquema de dilución para la determinación de cobre:

4.0050 g  $\longrightarrow$  50 mL

FD= Volúmenes hechos

Alícuotas tomadas

FD= 50 mL = 0.05 L

B) Cálculos aplicando la ley de Bourguer-Lambert-Beer.

El equipo de absorción atómica utilizado proporcionó una lectura directa en ppm del elemento en estudio (cobre), en cada una de las lecturas de las muestras analizadas.

**Muestra P1A lectura N°1:**

$$C_{m_x} = \frac{(C_{st}) (A_{m_x})}{A_{st}} \times FD \quad \Longrightarrow \quad C_{m_x} \times FD$$

$C_{m_x} \times FD$  = concentración total en ppm de Cu

1.3559 ppm  $\times$  0.05 = 0.067795 mg de Cu

- Para calcular los ppm de Cu en el peso de muestra:

$$\frac{0.067795 \text{ ppm de Cu} \times 1000 \text{ g}}{4.0050 \text{ g}} = 16.9276 \text{ ppm de Cu}$$

**Muestra P1A lectura N°2:**

$$C_{m_x} = \frac{(C_{st}) (A_{m_x})}{A_{st}} \times FD \quad \Longrightarrow \quad C_{m_x} \times FD$$

$C_{m_x} \times FD = \text{concentración total en ppm de Cu}$

$$1.3167 \text{ ppm} \times 0.05 = 0.065835 \text{ ppm de Cu}$$

- Para calcular los ppm de Cu en el peso de muestra:

$$\frac{0.065835 \text{ ppm de Cu} \times 1000 \text{ g}}{4.0050 \text{ g}} = 16.4382 \text{ ppm de Cu}$$

### **Muestra P1A lectura N°3:**

$$C_{m_x} = \frac{(C_{st}) (A_{m_x})}{A_{st}} \times FD \quad \Rightarrow \quad C_{m_x} \times FD$$

$C_{m_x} \times FD = \text{concentración total en ppm de Cu}$

$$1.3263 \text{ ppm} \times 0.05 = 0.066315 \text{ ppm de Cu}$$

- Para calcular los ppm de Cu en el peso de muestra:

$$\frac{0.066315 \text{ ppm de Cu} \times 1000 \text{ g}}{4.0050 \text{ g}} = 16.5581 \text{ ppm de Cu}$$

### **3. Determinación de cromo (Cr)**

**Ejemplo:** esquema de dilución y cálculos con muestra **P1A** (Ver datos en **Tabla N°6**)

A) Esquema de dilución para la determinación de cromo:

$$4.0050 \text{ g} \longrightarrow 50 \text{ mL}$$

$$FD = \frac{\text{Volúmenes hechos}}{\text{Alícuotas tomadas}}$$

$$FD = 50 \text{ mL} = 0.05 \text{ L}$$

B) Cálculos aplicando la ley de Bourguer-Lambert-Beer.

El equipo de absorción atómica utilizado proporcionó una lectura directa en ppm del elemento en estudio (cromo), en cada una de las lecturas de las muestras analizadas.

**Muestra P1A lectura N°1:**

$$C_{mx} = \frac{(C_{st}) (A_{mx})}{A_{st}} \times FD \quad \Rightarrow \quad C_{mx} \times FD$$

$C_{mx} \times FD$  = concentración total en ppm de Cr

$$1.0915 \text{ ppm} \times 0.05 = 0.054575 \text{ ppm de Cr}$$

- Para calcular los ppm de Cr en el peso de muestra:

$$\frac{0.054575 \text{ ppm de Cr} \times 1000 \text{ g}}{4.0050 \text{ g}} = 13.6267 \text{ ppm de Cr}$$

**Muestra P1A lectura N°2:**

$$C_{mx} = \frac{(C_{st}) (A_{mx})}{A_{st}} \times FD \quad \Rightarrow \quad C_{mx} \times FD$$

$C_{mx} \times FD$  = concentración total en ppm de Cr

$$1.0939 \text{ ppm} \times 0.05 = 0.054695 \text{ ppm de Cr}$$

- Para calcular los ppm de Cr en el peso de muestra:

$$\frac{0.054695 \text{ ppm de Cr} \times 1000 \text{ g}}{4.0050 \text{ g}} = 13.6567 \text{ ppm de Cr}$$

**Muestra P1A lectura N°3:**

$$C_{mx} = \frac{(C_{st}) (A_{mx})}{A_{st}} \times FD \quad \Rightarrow \quad C_{mx} \times FD$$

$C_m \times FD = \text{concentración total en ppm de Cr}$

$1.0939 \text{ ppm} \times 0.05 = 0.054695 \text{ ppm de Cr}$

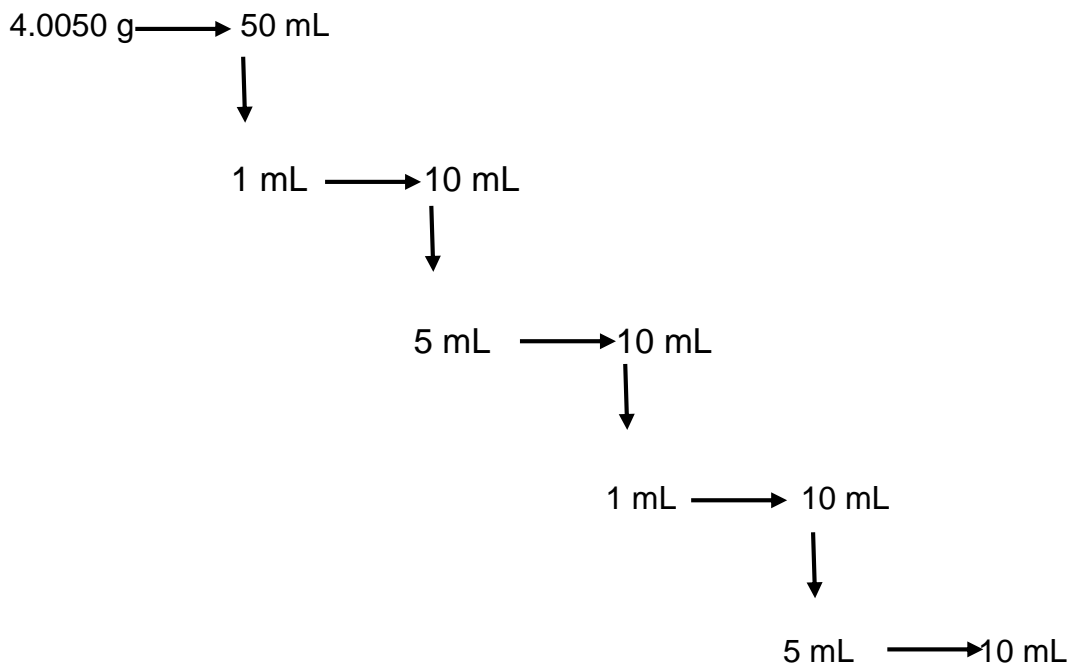
- Para calcular los ppm de Cr en el peso de muestra:

$\frac{0.054695 \text{ ppm de Cr}}{4.50 \text{ g}} \times 1000 \text{ g} = 13.6567 \text{ ppm de Cr}$

#### 4. Determinación de hierro (Fe)

**Ejemplo:** esquema de dilución y cálculos con muestra **P1A** (Ver datos en **Tabla N°8**)

A) Esquema de dilución para la determinación de hierro



$FD = \frac{\text{Volúmenes hechos}}{\text{Alícuotas tomadas}}$

$FD = \frac{50 \text{ mL} \times 10 \text{ mL} \times 10 \text{ mL} \times 10 \text{ mL} \times 10 \text{ mL}}{1 \text{ mL} \times 5 \text{ mL} \times 1 \text{ mL} \times 5 \text{ mL}}$



FD= 20,000 mL = 20 L

B) Cálculos aplicando la ley de Bourguer-Lambert-Beer.

El equipo de absorción atómica utilizado proporcionó una lectura directa en ppm del elemento en estudio (hierro), en cada una de las lecturas de las muestras analizadas.

**Muestra P1A lectura N°1:**

$$C_{mx} = \frac{(C_{st}) (A_{mx})}{A_{st}} \times FD \quad \Rightarrow \quad C_{mx} \times FD$$

$C_{mx} \times FD$  = concentración total en ppm de Fe

$$4.5900 \text{ ppm} \times 20 = 91.80 \text{ ppm de Fe}$$

- Para calcular los ppm de Fe en el peso de muestra:

$$\frac{91.80 \text{ ppm de Cu} \times 1000 \text{ g}}{4.0050 \text{ g}} = 22,921.35 \text{ ppm de Fe}$$

- Conversión de ppm a % de Fe

$$10\,000 \text{ ppm} = 1 \%$$

$$22,921.35 \text{ ppm de Fe} \times \frac{1 \%}{10000 \text{ ppm}} = 2.29 \%$$

**Muestra P1A lectura N°2:**

$$C_{mx} = \frac{(C_{st}) (A_{mx})}{A_{st}} \times FD \quad \Rightarrow \quad C_{mx} \times FD$$

$C_{mx} \times FD$  = concentración total en ppm de Fe

$$4.5176 \text{ ppm} \times 20 = 90.352 \text{ ppm de Fe}$$

- Para calcular los ppm de Fe en el peso de muestra:

$$\frac{90.352 \text{ ppm de Cu} \times 1000 \text{ g}}{4.0050 \text{ g}} = 22,559.80 \text{ ppm de Fe}$$

- Conversión de ppm a % de Fe

$$10\,000 \text{ ppm} = 1 \%$$

$$22,559.80 \text{ ppm de Fe} \times \frac{1 \%}{10000 \text{ ppm}} = 2.26 \%$$

### Muestra P1A lectura N°3:

$$C_{mx} = \frac{(C_{st}) (A_{mx}) \times FD}{A_{st}} \Rightarrow C_{mx} \times FD$$

$C_{mx} \times FD$  = concentración total en ppm de Fe

$$4.5551 \text{ ppm} \times 20 = 91.102 \text{ ppm de Fe}$$

- Para calcular los ppm de Fe en el peso de muestra:

$$\frac{91.102 \text{ ppm de Fe} \times 1000 \text{ g}}{4.0050 \text{ g}} = 22,747.07 \text{ ppm de Fe}$$

- Conversión de ppm a % de Fe

$$10\,000 \text{ ppm} = 1 \%$$

$$22,747.07 \text{ ppm de Fe} \times \frac{1 \%}{10000 \text{ ppm}} = 2.27 \%$$

**NOTA:** Para conocer la concentración en ppm de hierro en las muestras analizadas, se debe aplicar el mismo cálculo a cada lectura N° 1, N° 2 y N° 3 correspondiente a cada muestra, representadas en **Anexo N°10, Tabla 24.**

Para este caso las diluciones son diferentes en las muestras; a continuación, se detallan las diluciones de las muestras para hierro (Ver **Tabla N°13**):

**Tabla N°13.** Diluciones de las muestras para determinación de hierro.

Muestras	Diluciones			
	1/10	5/10	1/10	5/10
P1A	X	X	X	X
P1B	X	X	X	X
P1C	X	X	X	
P2A	X	X	X	
P2B	X	X	X	
P2C	X	X	X	
P3A	X	X	X	
P3B	X	X	X	X
P3C	X	X	X	
P4A	X	X	X	
P4B	X	X	X	
P4C	X	X	X	
P5A	X	X	X	
P5B	X	X	X	X
P5C	X	X	X	X
P6A	X	X	X	
P6B	X	X	X	
P6C	X	X	X	

### 5. Determinación de níquel (Ni)

**Ejemplo:** esquema de dilución y cálculos con muestra **P1A** (Ver datos en **Tabla N°11**)

A) Esquema de dilución para la determinación de níquel:

4.0050 g  $\longrightarrow$  50 mL

$$FD = \frac{\text{Volúmenes hechos}}{\text{Alícuotas tomadas}}$$

$$FD = 50 \text{ mL} = 0.05 \text{ L}$$

B) Cálculos aplicando la ley de Bourguer-Lambert-Beer.

El equipo de absorción atómica utilizado proporcionó una lectura directa en ppm del elemento en estudio (níquel), en cada una de las lecturas de las muestras analizadas.

**Muestra P1A lectura N°1:**

$$C_{mx} = \frac{(C_{st}) (A_{mx})}{A_{st}} \times FD \quad \Rightarrow \quad C_{mx} \times FD$$

$C_{mx} \times FD$  = concentración total en ppm de Ni

$$0.5991 \text{ ppm} \times 0.05 = 0.029955 \text{ ppm de Ni}$$

- Para calcular los ppm de Ni en el peso de muestra:

$$\frac{0.029955 \text{ ppm de Ni} \times 1000 \text{ g}}{4.0050 \text{ g}} = 7.4794 \text{ ppm de Ni}$$

**Muestra P1A lectura N°2:**

$$C_{mx} = \frac{(C_{st}) (A_{mx})}{A_{st}} \times FD \quad \Rightarrow \quad C_{mx} \times FD$$

$C_{mx} \times FD$  = concentración total en ppm de Ni

$$0.6512 \text{ ppm} \times 0.05 = 0.03256 \text{ ppm de Ni}$$

- Para calcular los ppm de Ni en el peso de muestra:

$$\frac{0.03256 \text{ ppm de Ni} \times 1000 \text{ g}}{4.0050 \text{ g}} = 8.1298 \text{ ppm de Ni}$$

### Muestra P1A lectura N°3:

$$C_{mx} = \frac{(C_{st}) (A_{mx})}{A_{st}} \times FD \quad \Rightarrow \quad C_{mx} \times FD$$

$C_{mx} \times FD$  = concentración total en ppm de Ni

$$0.6252 \text{ ppm} \times 0.05 = 0.03126 \text{ ppm de Ni}$$

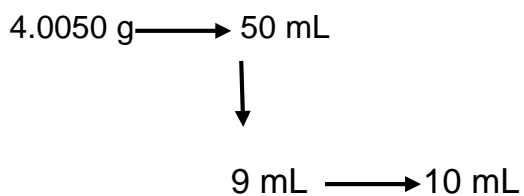
- Para calcular los ppm de Ni en el peso de muestra:

$$\frac{0.03126 \text{ ppm de Ni} \times 1000 \text{ g}}{4.0050 \text{ g}} = 7.8052 \text{ ppm de Ni}$$

## 6. Determinación de plomo (Pb)

**Ejemplo:** esquema de dilución y cálculos con muestra **P1A** (Ver datos en **Tabla N°13**)

A) Esquema de dilución para la determinación de As



$$FD = \frac{\text{Volúmenes hechos}}{\text{Alícuotas tomadas}}$$

$$FD = \frac{50 \text{ mL} \times 10 \text{ mL}}{9 \text{ mL}}$$

$$FD = 55.55 \text{ mL} = 0.055 \text{ L}$$

B) Cálculos aplicando la ley de Bourguer-Lambert-Beer.

El equipo de absorción atómica utilizado proporcionó una lectura directa en ppm del elemento en estudio (plomo), en cada una de las lecturas de las muestras analizadas.

**Muestra P1A lectura N°1:**

$$C_{m_x} = \frac{(C_{st}) (A_{m_x})}{A_{st}} \times FD \quad \Rightarrow \quad C_{m_x} \times FD$$

$C_{m_x} \times FD$  = concentración total en ppm de Pb

$$0.5934 \text{ ppm} \times 0.055 = 0.03297 \text{ ppm de Pb}$$

- Para calcular los ppm de Pb en el peso de muestra:

$$\frac{0.03297 \text{ ppm de Pb} \times 1000 \text{ g}}{4.0050 \text{ g}} = 8.2314 \text{ ppm de Pb}$$

**Muestra P1A lectura N°2:**

$$C_{m_x} = \frac{(C_{st}) (A_{m_x})}{A_{st}} \times FD \quad \Rightarrow \quad C_{m_x} \times FD$$

$C_{m_x} \times FD$  = concentración total en ppm de Pb

$$0.6418 \text{ ppm} \times 0.055 = 0.03565 \text{ ppm de Pb}$$

- Para calcular los ppm de Pb en el peso de muestra:

$$\frac{0.03565 \text{ ppm de Pb} \times 1000 \text{ g}}{4.0050 \text{ g}} = 8.9028 \text{ ppm de Pb}$$

**Muestra P1A lectura N°2:**

$$C_{m_x} = \frac{(C_{st}) (A_{m_x})}{A_{st}} \times FD \quad \Rightarrow \quad C_{m_x} \times FD$$

$C_{m_x} \times FD = \text{concentración total en ppm de Pb}$

$0.6095 \text{ ppm} \times 0.055 = 0.03386 \text{ ppm de Pb}$

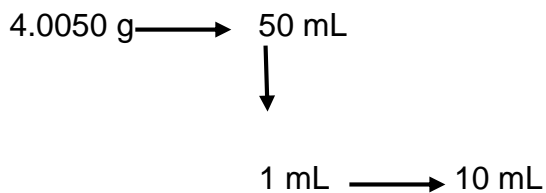
- Para calcular los ppm de Pb en el peso de muestra:

$$\frac{0.03386 \text{ ppm de Pb}}{4.0050 \text{ g}} \times 1000 \text{ g} = 8.4547 \text{ ppm de Pb}$$

## 7. Determinación de zinc (Zn)

**Ejemplo:** esquema de dilución y cálculos con muestra **P1A** (Ver datos en **Tabla N°13**)

A) Esquema de dilución para la determinación de zinc:



$$FD = \frac{\text{Volúmenes hechos}}{\text{Alícuotas tomadas}}$$

$$FD = \frac{50 \text{ mL} \times 10 \text{ mL}}{1 \text{ mL}}$$

$$FD = 500 \text{ mL} = 0.5 \text{ L}$$

A) Cálculos aplicando la ley de Bourguer-Lambert-Beer.

El equipo de absorción atómica utilizado proporcionó una lectura directa en ppm del elemento en estudio (zinc), en cada una de las lecturas de las muestras analizadas.

**Muestra P1A lectura N°1:**

$$C_{m_x} = \frac{(C_{st}) (A_{m_x})}{A_{st}} \times FD \quad \Rightarrow \quad C_{m_x} \times FD$$

$C_{m_x} \times FD = \text{concentración total en ppm de Zn}$

$$0.3468 \text{ ppm} \times 0.5 = 0.1734 \text{ ppm de Zn}$$

- Para calcular los ppm de Zn en el peso de muestra:

$$\frac{0.1734 \text{ ppm de Zn} \times 1000 \text{ g}}{4.0050 \text{ g}} = 43.2959 \text{ ppm de Zn}$$

### **Muestra P1A lectura N°2:**

$$C_{m_x} = \frac{(C_{st}) (A_{m_x})}{A_{st}} \times FD \quad \Rightarrow \quad C_{m_x} \times FD$$

$C_{m_x} \times FD = \text{concentración total en ppm de Zn}$

$$0.3456 \text{ ppm} \times 0.5 = 0.1728 \text{ ppm de Zn}$$

- Para calcular los ppm de Zn en el peso de muestra:

$$\frac{0.1728 \text{ ppm de Zn} \times 1000 \text{ g}}{4.0050 \text{ g}} = 43.1461 \text{ ppm de Zn}$$

### **Muestra P1A lectura N°3:**

$$C_{m_x} = \frac{(C_{st}) (A_{m_x})}{A_{st}} \times FD \quad \Rightarrow \quad C_{m_x} \times FD$$

$C_{m_x} \times FD = \text{concentración total en ppm de Zn}$

$$0.3464 \text{ ppm} \times 0.5 = 0.1732 \text{ ppm de Zn}$$

- Para calcular los ppm de Zn en el peso de muestra:

$$\frac{0.1732 \text{ ppm de Zn} \times 1000 \text{ g}}{4.0050 \text{ g}} = 43.2459 \text{ ppm de Zn}$$



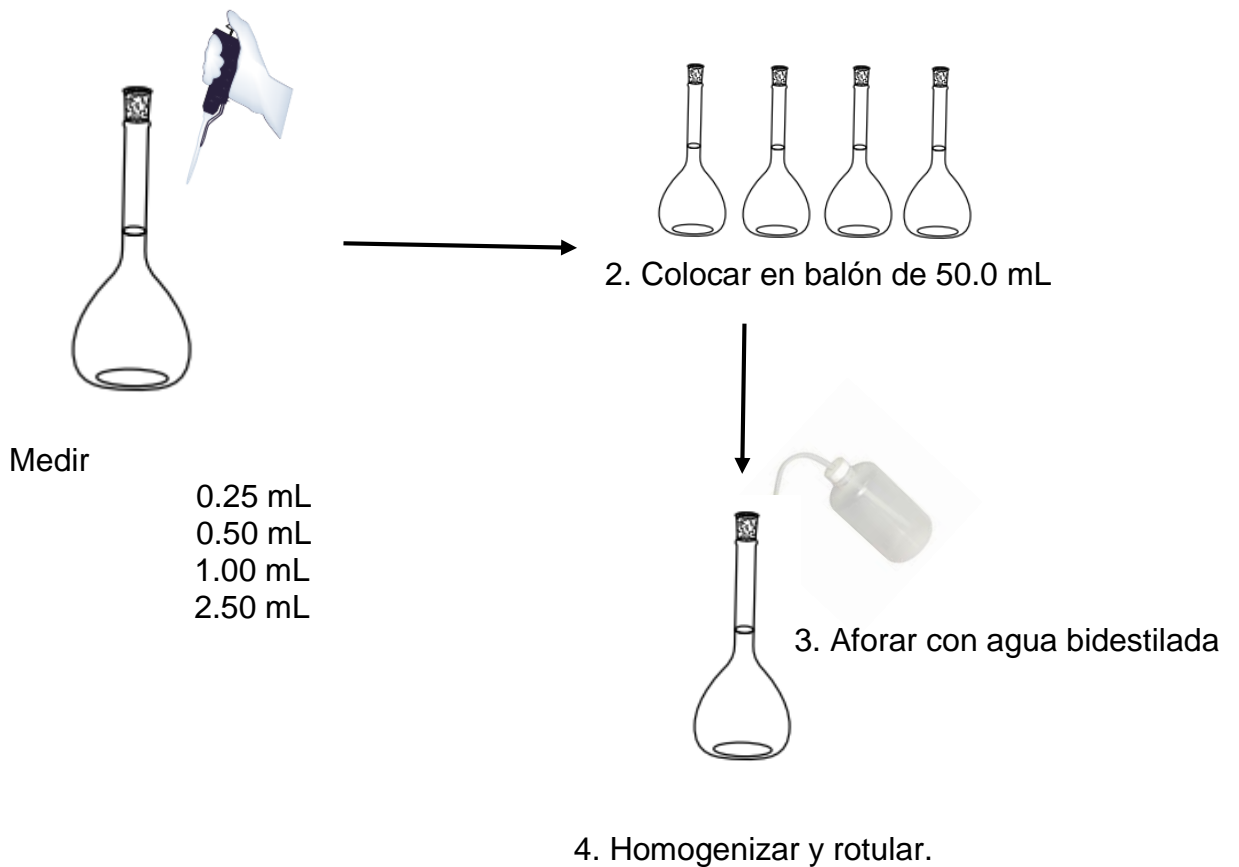
## **ANEXO N°10**

ESQUEMAS PARA LA PREPARACION DE LAS SOLUCIONES  
ESTÁNDARES EN LA DETERMINACION DE ARSÉNICO, COBRE,  
CROMO HIERRO, NIQUEL, PLOMO Y ZINC.

**A) Estándar de Arsénico (0.5 ppb, 1 ppb, 2 ppb, 5 ppb) a partir de una solución stock de 100 ppb de As.**

Medir 0.25 mL, 0.50 mL, 1.0 mL y 2.5 mL de la Solución stock de arsénico (100 ppb) con una micropipeta de 1.0 mL y 5.0 mL realizando las tomas necesarias de muestra, colocar cada alícuota en un balón de 50.0 mL, diluir con agua bidestilada, llevar a volumen y mezclar.

Solución stock 100 ppm  
de As

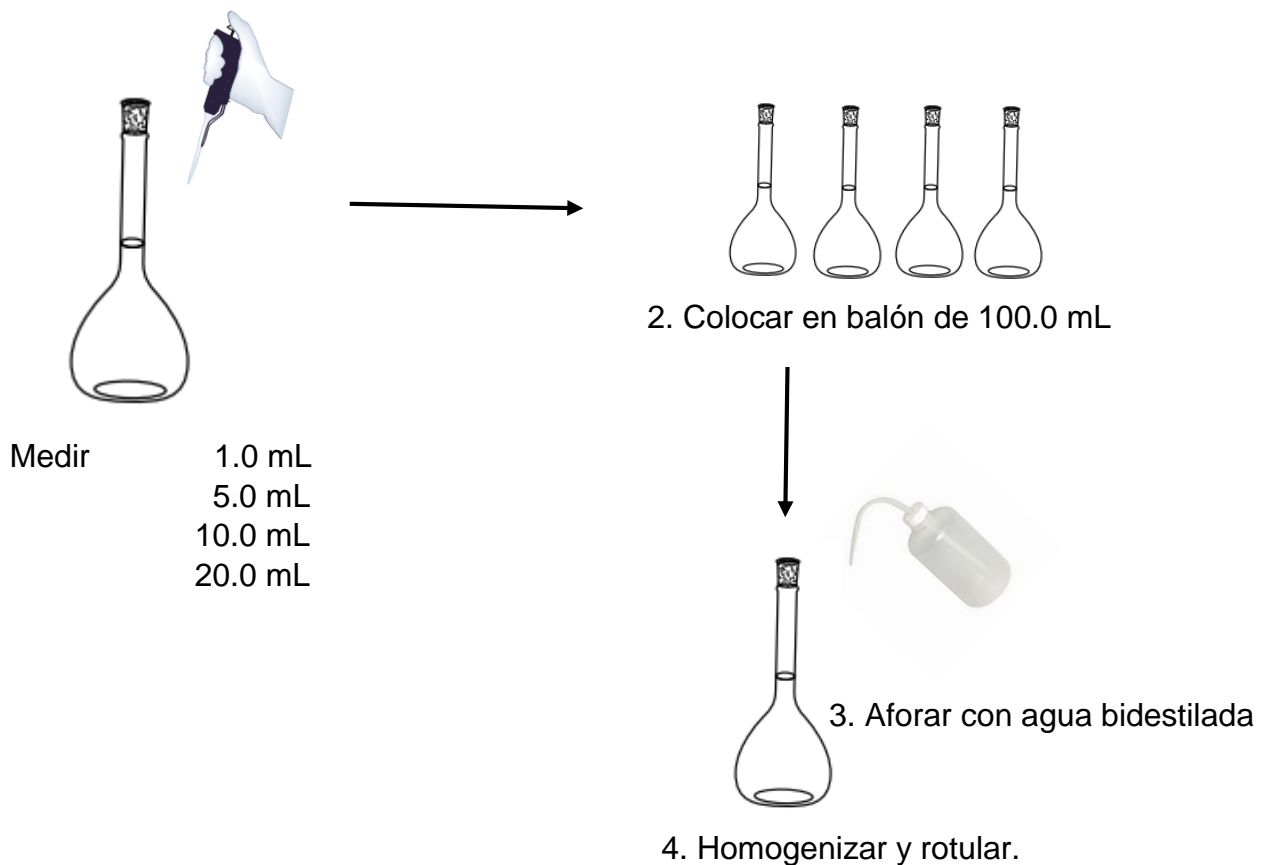


**Figura N°23.** Preparación de solución estándar de arsénico

**B) Estándar de Cobre (0.2ppm, 1.0ppm, 2.0ppm y 4.0ppm) a partir de una solución stock de 20 ppm de Cu.**

Medir 1.0 mL, 5.0 mL, 10.0 mL y 20.0 mL de la Solución stock de cobre (20 ppm) con una micropipeta de 1.0 mL, con una pipeta de 5.0 mL y 10 mL tomar las otras alícuotas, colocar cada alícuota en un balón de 100.0 mL. Diluir con agua destilada, llevar a volumen y mezclar.

Solución stock 20 ppm  
de Cu

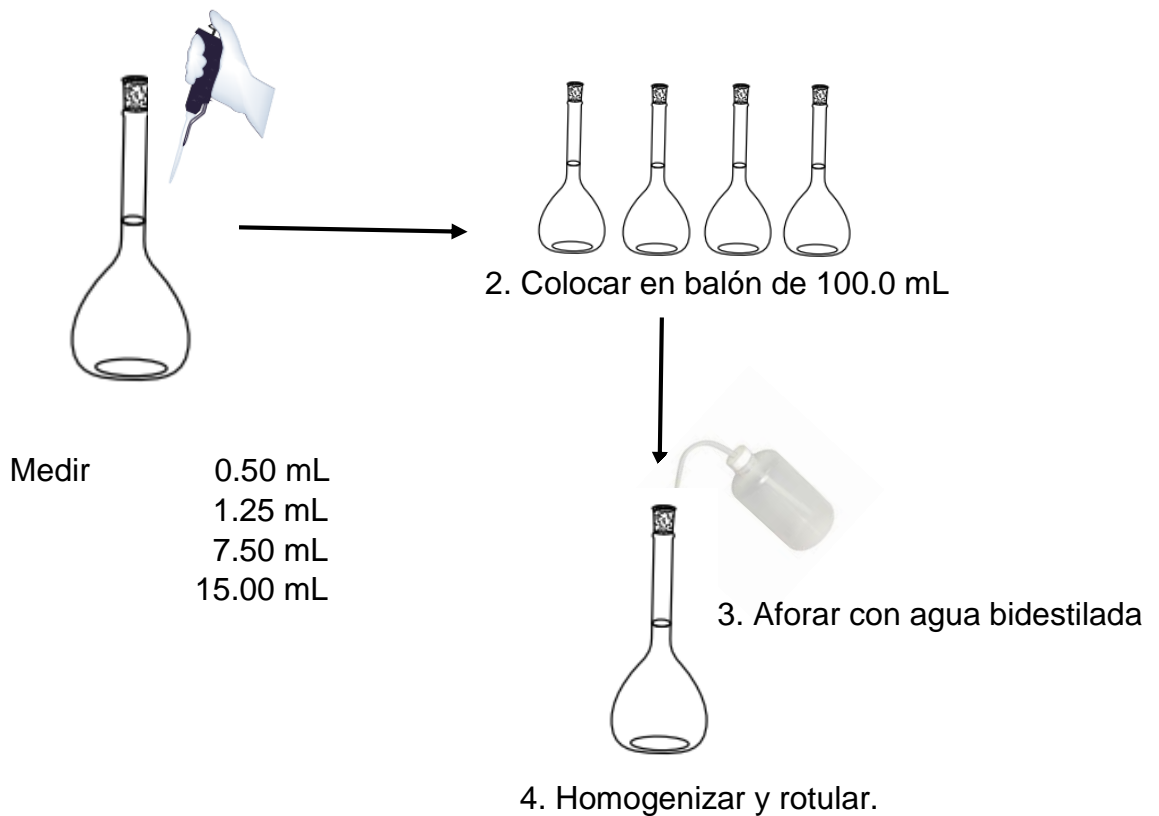


**Figura N°24.** Preparación de solución estándar de cobre

**C) Estándar de Cromo (0.2ppm, 0.5ppm, 3.0ppm y 6.0ppm) a partir de una solución stock de 40 ppm de Cr.**

Medir 0.5 mL, 1.25 mL, 7.5 mL y 15 mL de la Solución stock de cromo (40 ppm) con una micropipeta de 1.0 mL, con una pipeta de 5.0 mL y 10 mL tomar las otras alícuotas, colocar cada alícuota en un balón de 100.0 mL. Diluir con agua bidestilada y llevar a volumen.

Solución stock 40 ppm  
de Cr

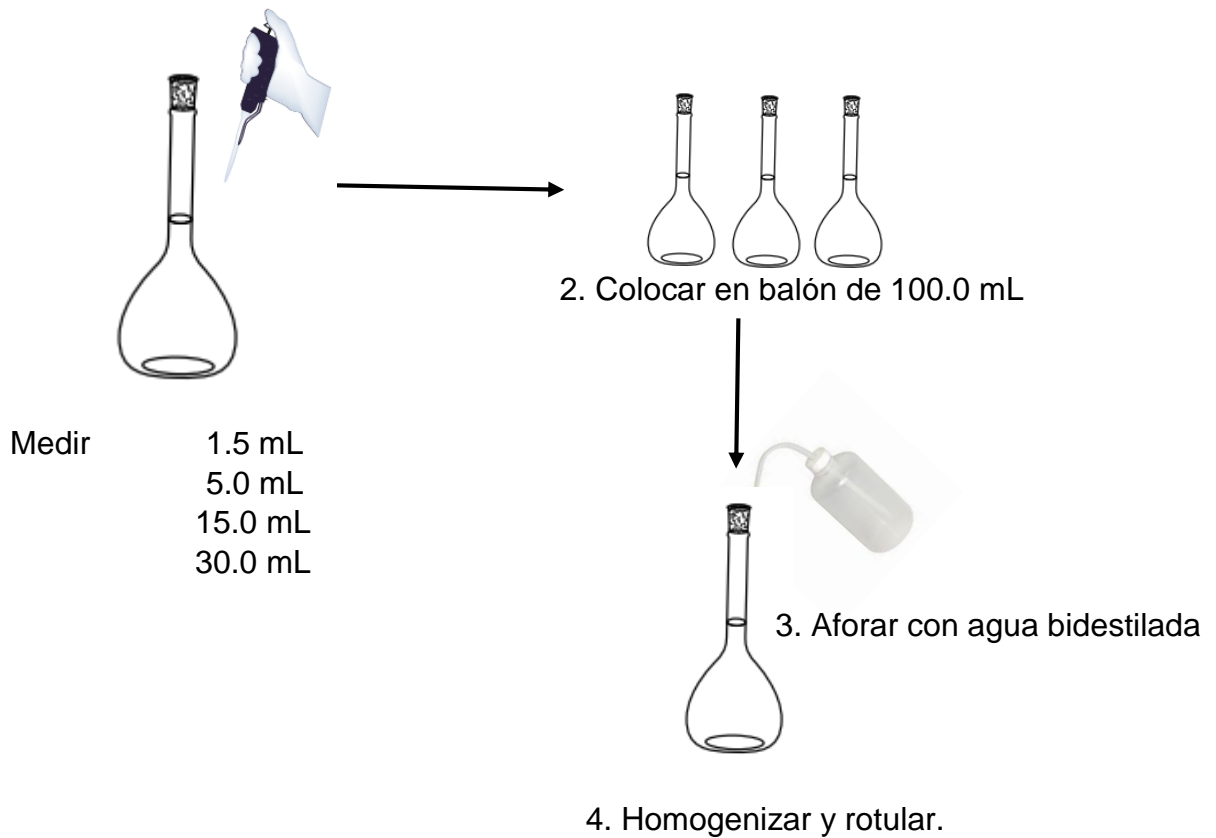


**Figura N°25.** Preparación de solución estándar de cromo

**D) Estándar de Hierro (0.3ppm, 1.0ppm, 3.0ppm y 6.0ppm) a partir de una solución stock de 20 ppm de Fe.**

Medir 1.5 mL, 5 mL, 15 mL y 30 mL y de la Solución stock de hierro (20 ppm) con una micropipeta de 1 mL medir los 1 y 0.50 mL, con una pipeta de 5.0mL y 10.0 mL, medir las otras alícuotas, colocar cada alícuota en un balón de 100.0 mL. Diluir con agua bidestilada, llevar a volumen y mezclar.

Solución stock 20 ppm  
de Fe

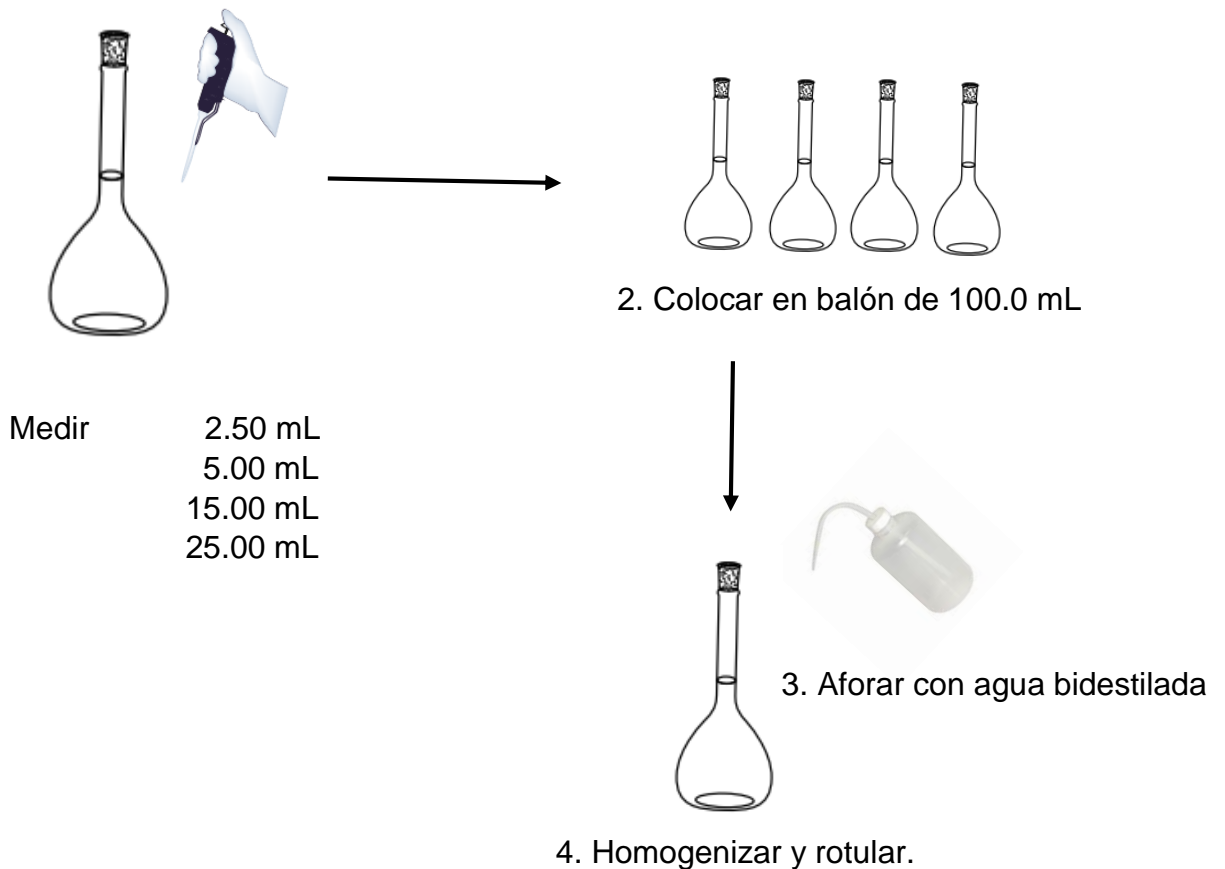


**Figura N°26.** Preparación de solución estándar de hierro

**E) Estándar de Níquel (0.5ppm, 1.0ppm, 3.0ppm y 5.0ppm) a partir de una solución stock de 20 ppm de Ni.**

Medir 2.50 mL, 5.0 mL, 15.0 mL y 25.0 mL y de la Solución stock de níquel (20 ppm) con una micropipeta de 1 mL medir los 2.50 mL y con una pipeta de 5 mL, 10 mL y 25 mL medir las otras alícuotas, colocar cada alícuota en un balón de 100.0 mL. Diluir con agua bidestilada, llevar a volumen y mezclar.

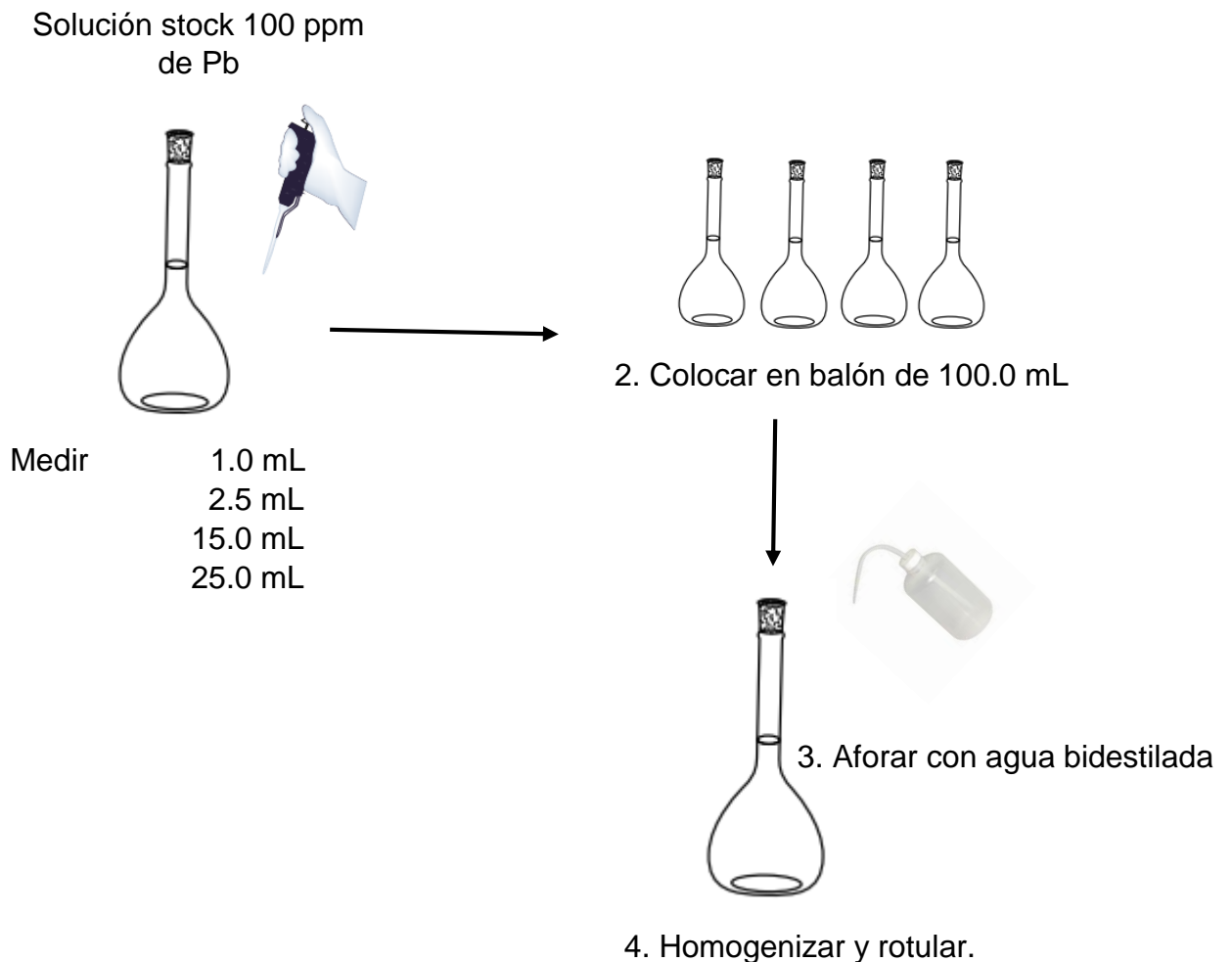
Solución stock 20 ppm de Ni



**Figura N°27.** Preparación de solución estándar de níquel

**F) Estándar de Plomo (0.2 ppm, 0.5 ppm, 3.0ppm, 5ppm) a partir de una solución stock de 20 ppm de Pb.**

Medir 1 mL, 2.5 mL, 15 mL y 25 mL de la Solución stock de plomo (100 ppm) con una micropipeta de 1 mL para la primera alícuota y una pipeta de 5.0 mL para las demás alícuotas (realizando varias tomas de muestra, según la alícuota), colocar cada alícuota en un balón de 100.0 mL. Diluir con agua bidestilada, llevar a volumen y mezclar.

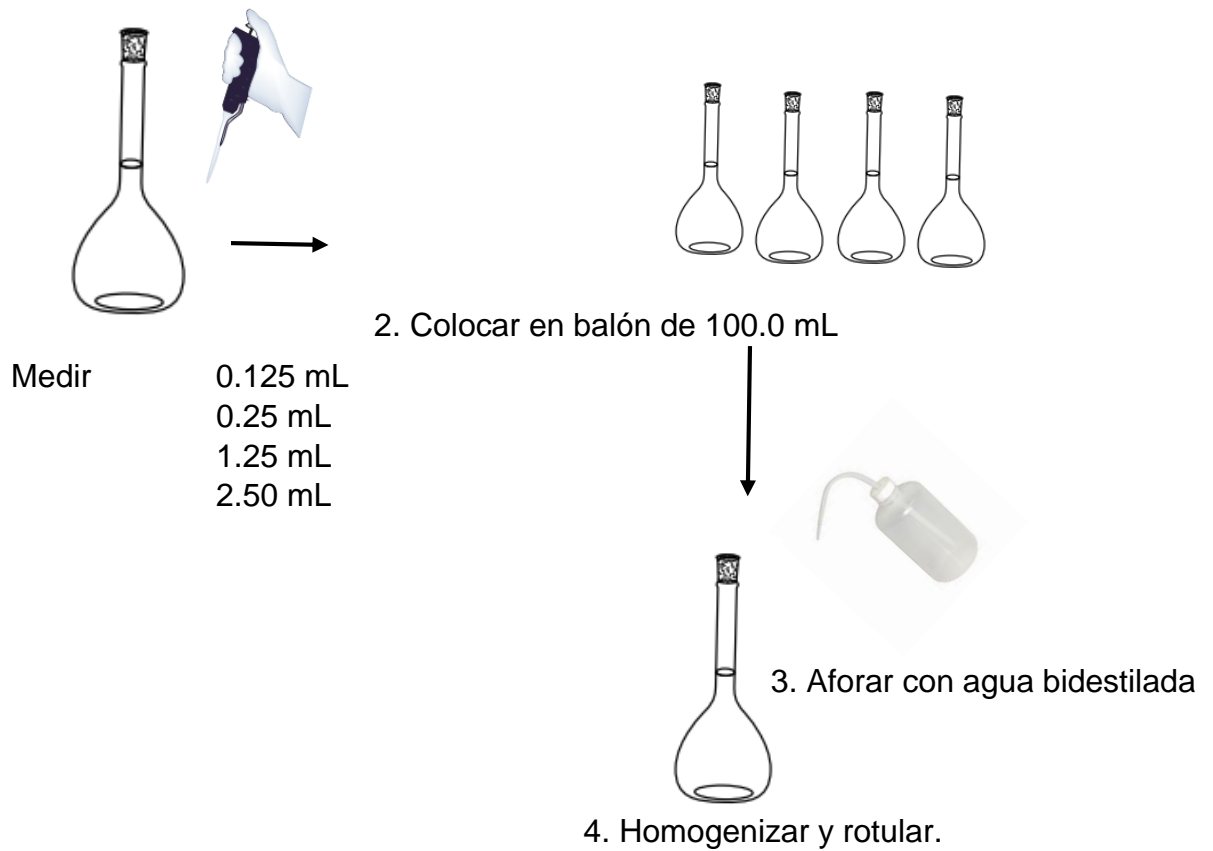


**Figura N°28.** Preparación de solución estándar de plomo

**G) Estándar de Zinc (0.05ppm, 0.10ppm, 0.50ppm y 1.0ppm) a partir de una solución stock de 40 ppm de Zn.**

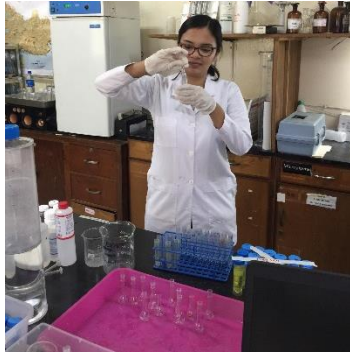
Medir 0.125 mL, 0.25 mL, 1.25 mL y 2.5 mL y de la Solución stock de zinc (100 ppm) con una micropipeta de 1 mL, medir las alícuotas, colocar cada alícuota en un balón de 100.0 mL. Diluir con agua bidestilada, llevar a volumen y mezclar.

Solución stock 100 ppm  
de Zn



**Figura N°29.** Preparación de solución estándar de





Tomar 10 mL de mx

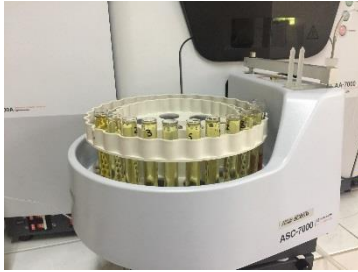


Aplicación de calor en Hot plate  $T \pm 80\text{ }^{\circ}\text{C}$

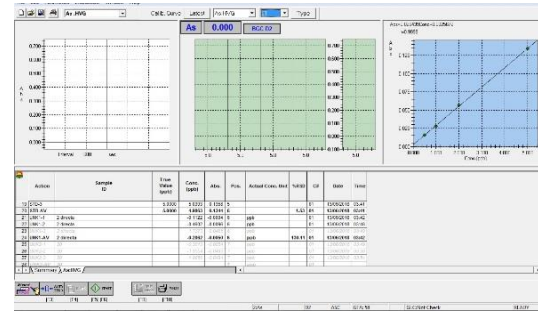


Volumen de 50 mL

**Figura N°30.** Determinación de arsénico por el método de EEA con Generador de Hidruros



Cargar el automuestreador



Curva de calibración



Tetrahidroborato de sodio 0.5% y HCl (1+1)



Unidad HVG-1

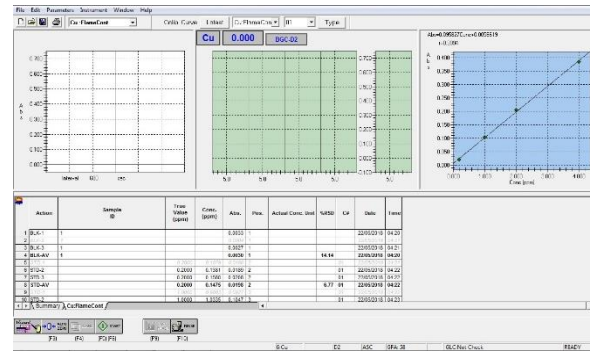


Lectura automática directa

Figura N°30. Continuación



**Espectrofotómetro de Absorción atómica**



**Curva de calibración**



**Lectura automática directa**



**Figura N°31.** Determinación de cobre, cromo, hierro, níquel y zinc por el método de EEA con llama

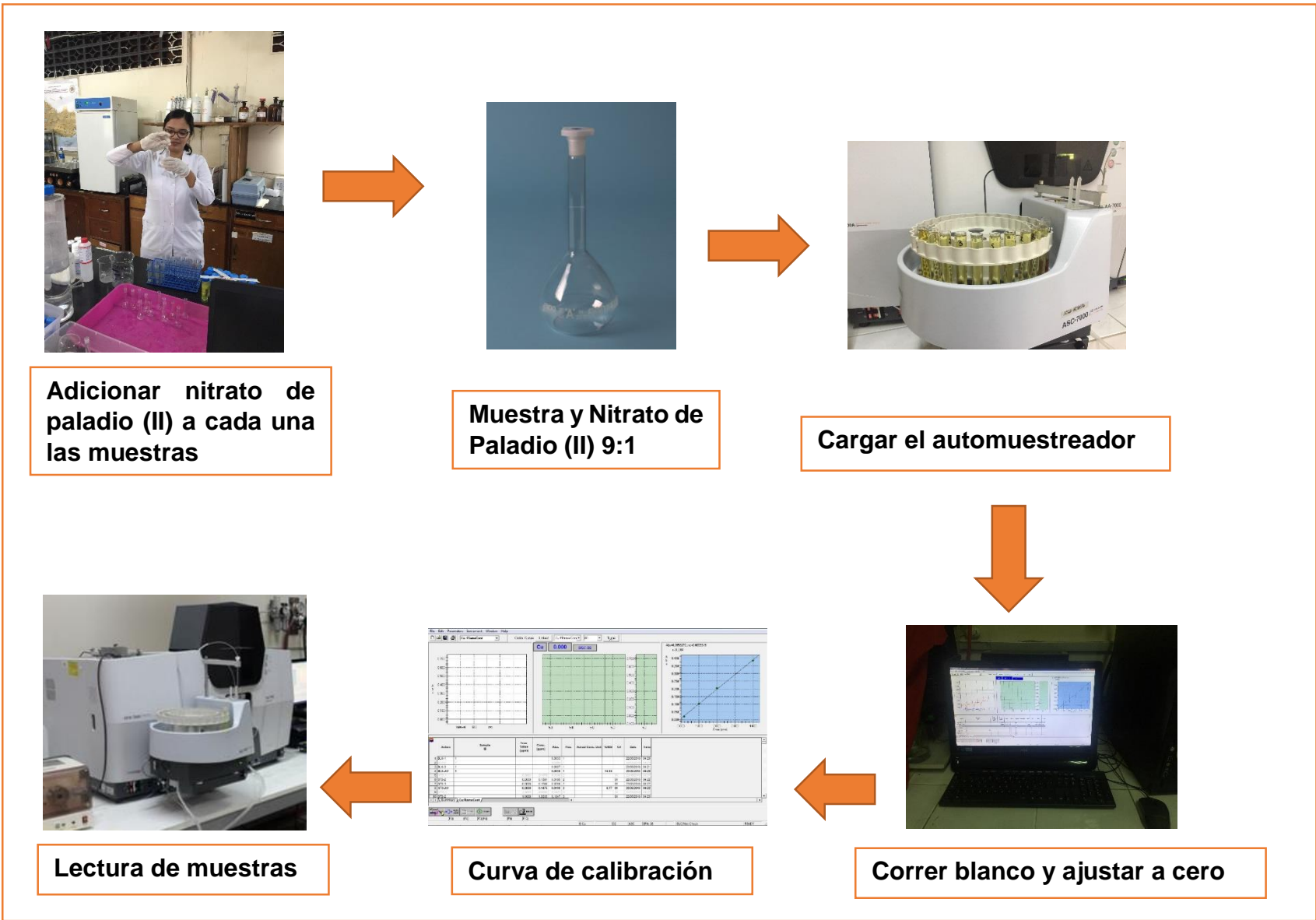
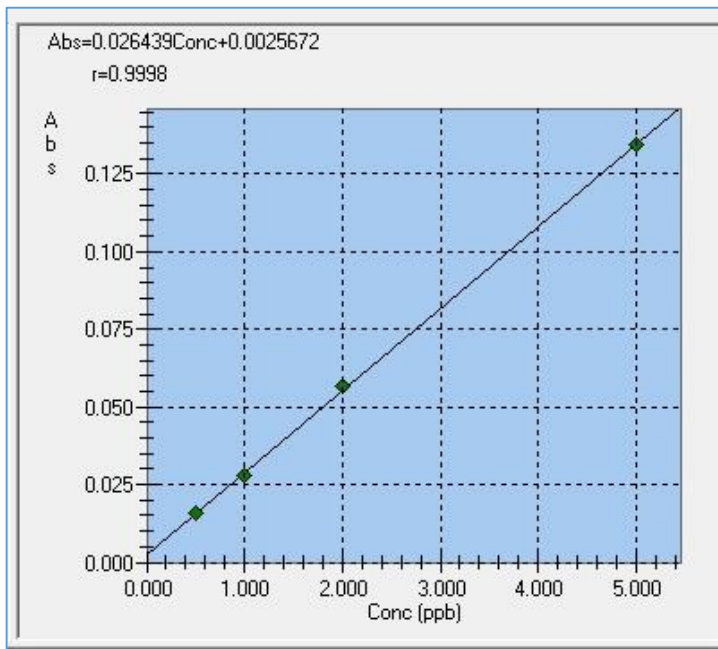


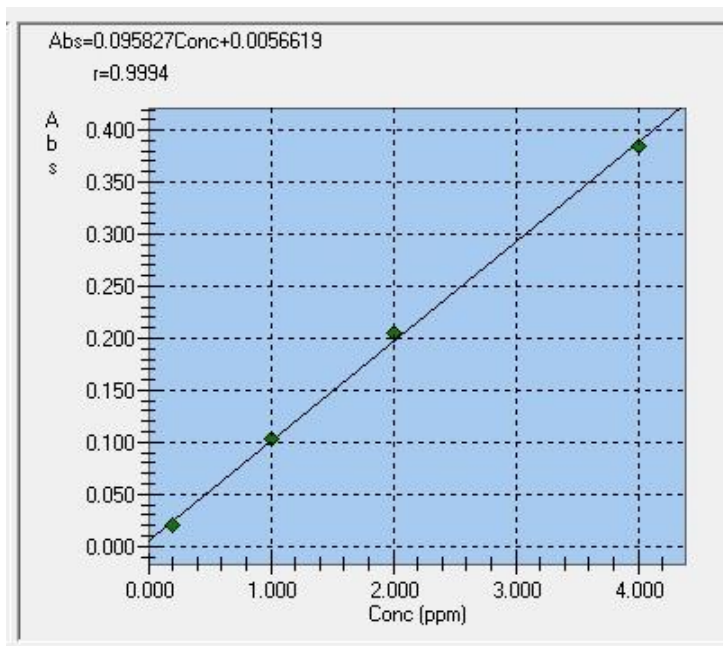
Figura N°32. Determinación de plomo por el método de EEA con llama

## **ANEXO N°11**

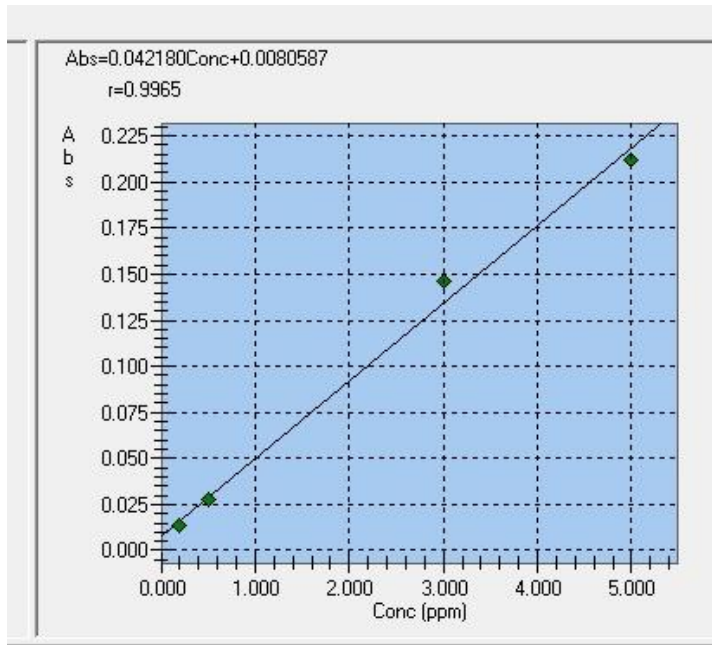
CURVAS DE CALIBRACION PARA CADA UNO DE LOS METALES  
PESADOS: ARSENICO, COBRE, CROMO, HIERRO, NIQUEL, PLOMO  
Y ZINC.



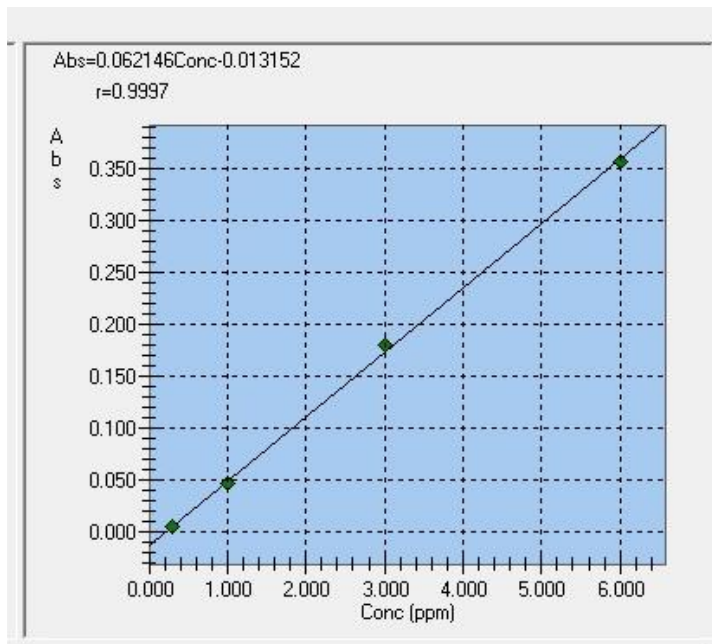
**Figura N°33.** Curva de calibración de arsénico.



**Figura N°34.** Curva de calibración de cobre

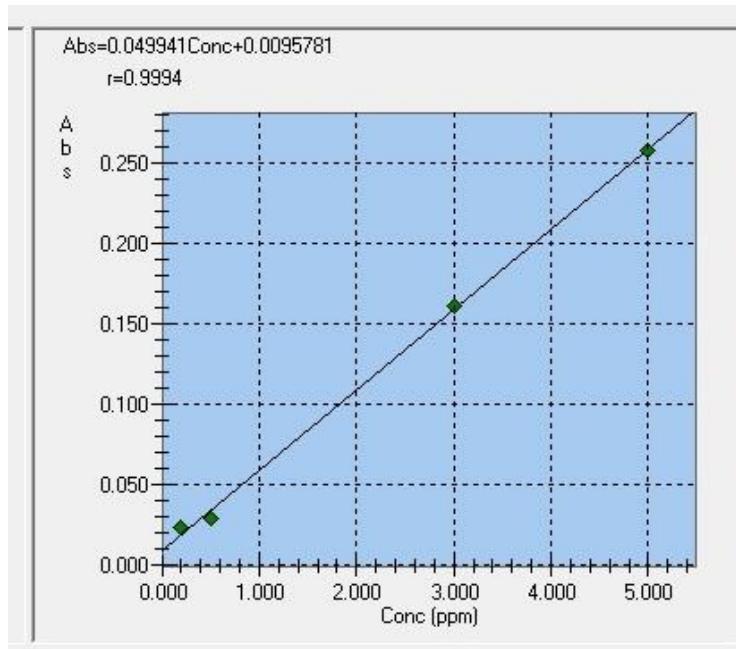


**Figura N°35.** Curva de calibración de cromo

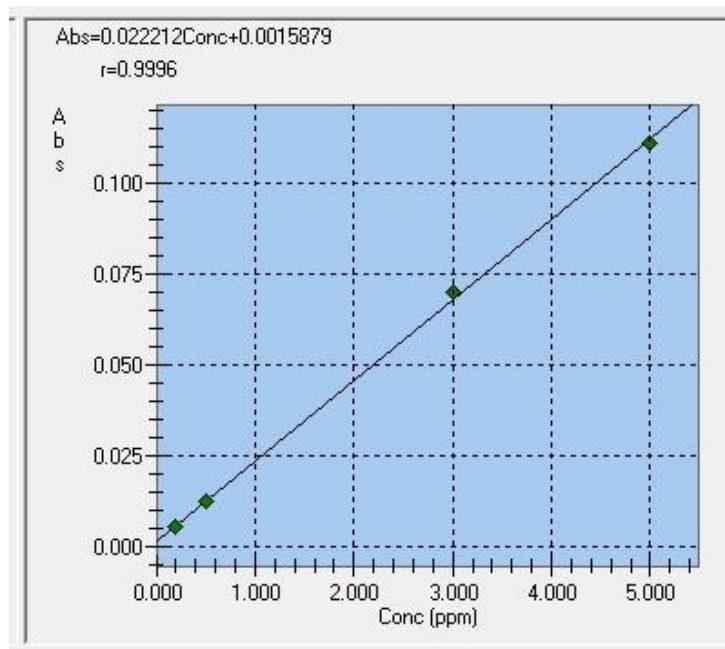


**Figura N°36.** Curva de calibración de hierro





**Figura N°37.** Curva de calibración de níquel



**Figura N°38.** Curva de calibración de plomo



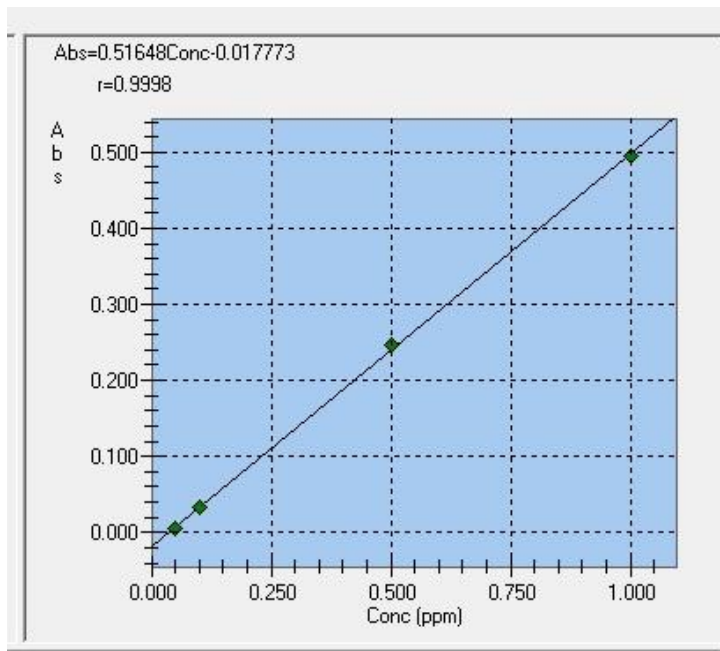


Figura N°39. Curva de calibración de zinc

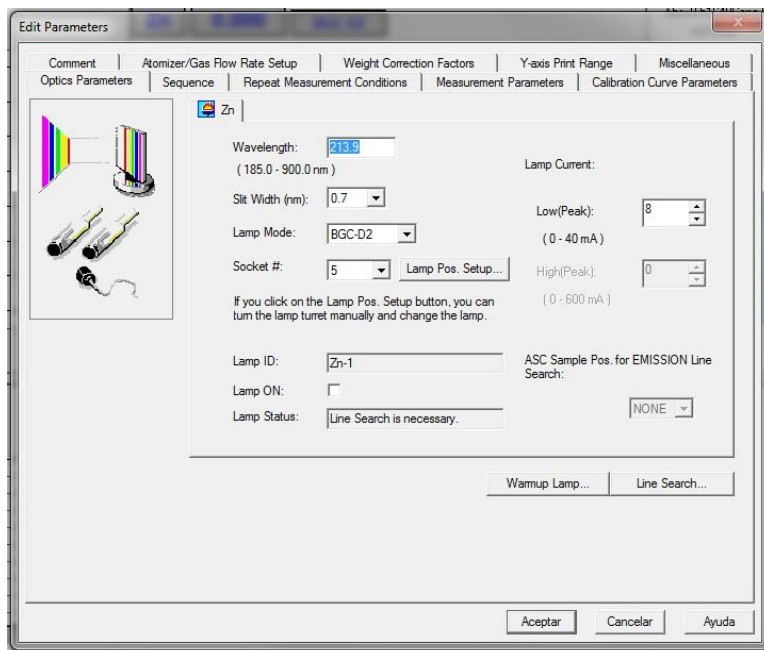


Figura N°40. Parámetros del equipo Espectroscopia de Absorción Atómica

## **ANEXO N°12**

LECTURAS OBTENIDAS DE As, Cu, Cr, Fe. Ni. Pb Y Zn POR  
ESPECTROSCOPIA DE ABSORCION ATOMICA Y RESULTADOS DE  
CALCULOS DE CONCENTRACION.

**Tabla N°14.** Concentración de arsénico en sedimentos obtenidas por el

Sitio de recolección	Código de muestra	Peso de muestra (g)	Lectura N°1 (ppb)	Lectura N°2 (ppb)	Lectura N°3 (ppb)	Resultado promedio en muestra (ppb)
El Espino	P1A	0.506	3.5257	3.5953	3.5605	3.5605
	P1B	0.502	3.9730	2.9698	3.9714	3.6381
	P1C	0.508	4.2923	4.2543	4.2733	4.2733
Cajetillo	P2A	0.506	3.0457	3.0405	3.0484	3.0449
	P2B	0.509	3.2918	3.1938	3.2428	3.2428
	P2C	0.509	3.4119	3.4846	3.4483	3.4483
Laguneta	P3A	0.508	2.4747	3.4905	2.4826	2.8159
	P3B	0.502	2.7955	2.8019	2.7987	2.7987
	P3C	0.502	2.8967	2.8208	2.8588	2.8588
El Zapatero	P4A	0.501	2.1222	2.1728	2.1475	2.1475
	P4B	0.503	2.3641	2.4462	2.4051	2.4051
	P4C	0.502	2.7355	2.8730	2.8050	2.8045
Zapatero zona de los enganches	P5A	0.503	2.7892	2.9236	2.8556	2.8561
	P5B	0.514	2.5474	2.5363	2.5426	2.5421
	P5C	0.500	2.4778	2.3878	2.4320	2.4325
Los pozos	P6A	0.500	2.9662	3.0674	3.0168	3.0168
	P6B	0.500	3.0611	3.0863	3.0737	3.0737
	P6C	0.500	2.4099	2.3561	2.3830	2.3830

Espectrofotómetro de Absorción Atómica

**Tabla N°15.** Concentración de cobre en sedimentos obtenidas por el  
Espectrofotómetro de Absorción Atómica

Sitio de recolección	Código de muestra	Peso de muestra (g)	Lectura N°1 (ppm)	Lectura N°2 (ppm)	Lectura N°3 (ppm)	Resultado promedio en muestra (ppm)
El Espino	P1A	4.005	1.3559	1.3167	1.3263	1.3330
	P1B	4.005	1.242	1.2266	1.2343	1.2343
	P1C	4.000	0.5286	0.5343	0.5324	0.5318
Cajetillo	P2A	4.007	0.5113	0.5056	0.5094	0.5088
	P2B	4.008	0.5056	0.5362	0.5209	0.5209
	P2C	4.002	0.5094	0.5075	0.5094	0.5088
Laguneta	P3A	4.005	0.4845	0.4423	0.4634	0.4634
	P3B	4.004	1.543	1.497	1.52	1.5200
	P3C	4.000	0.4902	0.4883	0.4902	0.4896
El Zapatero	P4A	4.007	0.7702	0.8028	0.7855	0.7862
	P4B	4.008	0.5497	0.5516	0.5516	0.5510

	P4C	4.003	0.8488	0.845	0.8469	0.8469
--	-----	-------	--------	-------	--------	--------

**Tabla N° 15. Continuación**

Zapatero zona de los enganches	P5A	4.003	0.6897	0.7108	0.7012	0.7006
	P5B	4.004	1.9016	1.8671	1.8844	1.8844
	P5C	4.002	1.2381	1.2381	1.2381	1.2381
Los pozos	P6A	4.003	0.6302	0.6206	0.6245	0.6251
	P6B	4.009	0.6475	0.6398	0.6436	0.6436
	P6C	4.002	0.5976	0.5784	0.588	0.5880

**Tabla N°16. Concentración de cromo obtenidas por el Espectrofotómetro de**

**Absorción Atómica.**

Sitio de recolección	Código de muestra	Peso de muestra (g)	Lectura N°1 (ppm)	Lectura N°2 (ppm)	Lectura N°3 (ppm)	Resultado promedio en muestra (ppm)
El Espino	P1A	4.005	1.0915	1.0939	1.0939	1.0931
	P1B	4.005	0.4988	0.5202	0.5107	0.5099
	P1C	4.000	0.2831	0.3281	0.3068	0.3060
Cajetillo	P2A	4.007	0.2997	0.2760	0.2870	0.2876
	P2B	4.008	0.2523	0.2570	0.2547	0.2547
	P2C	4.002	0.2191	0.1930	0.2072	0.2064
Laguneta	P3A	4.005	0.0911	0.0887	0.0887	0.0895
	P3B	4.004	0.2736	0.2831	0.2784	0.2784
	P3C	4.000	0.1077	0.1409	0.1243	0.1243
El Zapatero	P4A	4.007	0.2381	0.2475	0.2428	0.2428
	P4B	4.008	0.1717	0.1669	0.1623	0.1670
	P4C	4.003	0.2665	0.2902	0.2784	0.2784
Zapatero zona de los enganches	P5A	4.003	0.1361	0.1148	0.1266	0.1258
	P5B	4.004	0.3874	0.3637	0.3756	0.3756
	P5C	4.002	0.2926	0.276	0.2831	0.2839
Los pozos	P6A	4.003	0.1148	0.1124	0.1124	0.1132
	P6B	4.009	0.1361	0.1409	0.1385	0.1385
	P6C	4.002	0.1124	0.084	0.0982	0.0982

**Tabla N°17.** Concentración de hierro obtenidas por el Espectrofotómetro de Absorción Atómica.

Sitio de recolección	Código de muestra	Peso de muestra (g)	Lectura N°1 (ppm)	Lectura N°2 (ppm)	Lectura N°3 (ppm)	Resultado promedio en muestra (ppm)
El Espino	P1A	4.005	4.5900	4.5176	4.5551	4.5542
	P1B	4.005	4.5498	4.5927	4.712	4.6182
	P1C	4.000	6.9988	6.9560	6.9774	6.9774
Cajetillo	P2A	4.007	5.5037	5.5251	5.5144	5.5144
	P2B	4.008	5.9163	5.9029	5.911	5.9101
	P2C	4.002	5.2223	5.1661	5.1929	5.1938
Laguneta	P3A	4.005	3.7084	3.6736	3.6923	3.6914
	P3B	4.004	4.7936	4.7025	4.7481	4.7481
	P3C	4.000	2.9823	3.0787	3.0305	3.0305
El Zapatero	P4A	4.007	4.5927	4.5819	4.5873	4.5873
	P4B	4.008	5.8654	5.7716	5.8199	5.8190
	P4C	4.003	8.0519	7.8991	7.9742	7.9751
Zapatero zona de los enganches	P5A	4.003	5.5841	5.5332	5.5573	5.5582
	P5B	4.004	4.6623	4.6061	4.6355	4.6346
	P5C	4.002	3.5570	3.5718	3.5637	3.5642
Los pozos	P6A	4.003	5.3215	5.3215	5.3215	5.3215
	P6B	4.009	6.9024	6.9131	6.9077	6.9077
	P6C	4.002	5.8708	5.8627	5.8681	5.8672

**Tabla N°18.** Concentración de níquel obtenidas por el Espectrofotómetro de Absorción Atómica.

Sitio de recolección	Código de muestra	Peso de muestra (g)	Lectura N°1 (ppm)	Lectura N°2 (ppm)	Lectura N°3 (ppm)	Resultado promedio en muestra
El Espino	P1A	4.005	0.5991	0.6512	0.6252	0.6252
	P1B	4.005	0.3549	0.3368	0.3848	0.3588
	P1C	4.000	0.1586	0.1646	0.1606	0.1613
Cajetillo	P2A	4.007	0.1186	0.1086	0.1126	0.1133
	P2B	4.008	0.1006	0.0945	0.0966	0.0972
	P2C	4.002	0.1006	0.1386	0.1206	0.1199
Laguneta	P3A	4.005	0.0425	0.0345	0.0386	0.0385
	P3B	4.004	0.2848	0.2848	0.2848	0.2848
	P3C	4.000	0.0765	0.0765	0.0765	0.0765
El Zapatero	P4A	4.007	0.1666	0.1666	0.1666	0.1666
	P4B	4.008	0.1506	0.1506	0.1501	0.1504
	P4C	4.003	0.2367	0.2047	0.2207	0.2207
Zapatero zona de los enganches	P5A	4.003	0.1466	0.1426	0.1446	0.1446
	P5B	4.004	0.3048	0.2768	0.2928	0.2915
	P5C	4.002	0.2487	0.2427	0.2447	0.2454

**Tabla N°18. Continuación**

Los pozos	P6A	4.003	0.1406	0.1266	0.1326	0.1333
	P6B	4.009	0.1666	0.1807	0.1726	0.1733
	P6C	4.002	0.1286	0.1366	0.1326	0.1326

**Tabla N°19. Concentración de plomo obtenidas por el Espectrofotómetro de Absorción Atómica.**

Sitio de recolección	Código de muestra	Peso de muestra (g)	Lectura N°1 (ppm)	Lectura N°2 (ppm)	Lectura N°3 (ppm)	Resultado promedio en muestra (ppm)
El Espino	P1A	4.005	0.5934	0.6418	0.6095	0.6149
	P1B	4.005	0.5288	0.4805	0.5127	0.5073
	P1C	4.000	0.4643	0.4159	0.4482	0.4428
Cajetillo	P2A	4.007	0.3675	0.3675	0.3675	0.3675
	P2B	4.008	0.1740	0.1740	0.1740	0.1740
	P2C	4.002	0.1256	0.0449	0.0933	0.0879
Laguneta	P3A	4.005	0.3675	0.3514	0.3514	0.3568
	P3B	4.004	0.5450	0.5572	0.5611	0.5544
	P3C	4.000	0.4159	0.4321	0.4159	0.4213
El Zapatero	P4A	4.007	0.4159	0.4805	0.4482	0.4482
	P4B	4.008	0.4321	0.4966	0.4643	0.4643
	P4C	4.003	0.5611	0.6256	0.5934	0.5934
Zapatero zona de los enganches	P5A	4.003	0.4805	0.4966	0.4805	0.4859
	P5B	4.004	0.5288	0.5934	0.5611	0.5611
	P5C	4.002	0.5772	0.5288	0.5450	0.5503
Los pozos	P6A	4.003	0.4966	0.4159	0.4482	0.4536
	P6B	4.009	0.3837	0.4159	0.3998	0.3998
	P6C	4.002	0.3514	0.3998	0.3837	0.3783

**Tabla N°20. Concentración de zinc obtenidas por el Espectrofotómetro de Absorción Atómica.**

Sitio de recolección	Código de muestra	Peso de muestra (g)	Lectura N°1 (ppm)	Lectura N°2 (ppm)	Lectura N°3 (ppm)	Resultado promedio en muestra (ppm)
El Espino	P1A	4.005	0.3468	0.3456	0.3464	0.3463
	P1B	4.005	0.3399	0.3382	0.3390	0.3390
	P1C	4.000	0.2330	0.2285	0.2310	0.2308
Cajetillo	P2A	4.007	0.1948	0.1952	0.1952	0.1951
	P2B	4.008	0.1936	0.1952	0.1944	0.1944
	P2C	4.002	0.1867	0.1863	0.1863	0.1864
Laguneta	P3A	4.005	0.1684	0.1684	0.1684	0.1684
	P3B	4.004	0.3431	0.3346	0.3390	0.3389
	P3C	4.000	0.1765	0.1777	0.1773	0.1772

**Tabla N°20. Continuación**

El Zapatero	P4A	4.007	0.2748	0.2716	0.2732	0.2732
	P4B	4.008	0.2822	0.2769	0.2797	0.2796
	P4C	4.003	0.3200	0.3159	0.3179	0.3179
Zapatero zona de los enganches	P5A	4.003	0.2318	0.2346	0.2334	0.2333
	P5B	4.004	0.3480	0.3443	0.3464	0.3462
	P5C	4.002	0.3224	0.3183	0.3204	0.3204
Los pozos	P6A	4.003	0.1952	0.1940	0.1944	0.1945
	P6B	4.009	0.2228	0.2212	0.2220	0.2220
	P6C	4.002	0.1802	0.1773	0.1789	0.1788

**Tabla N°21.** Resultados del análisis de arsénico en las muestras de sedimentos (ppm).

Sitio de recolección	Código de muestra	Lectura N°1 (ppm)	Lectura N°2 (ppm)	Lectura N°3 (ppm)	Concentración de arsénico (ppm)	Promedio de arsénico (ppm)
El Espino	P1A	8.7097	8.8817	8.7957	8.7957	9.4565
	P1B	9.8929	7.3949	9.8889	9.0589	
	P1C	10.5618	10.4683	10.5150	10.5150	
Cajetillo	P2A	7.5240	7.5111	7.5306	7.5219	7.9846
	P2B	8.0840	7.8433	7.9637	7.9637	
	P2C	8.3789	8.5575	8.4683	8.4682	
Laguneta	P3A	6.0893	8.5888	6.1088	6.9290	7.0054
	P3B	6.9609	6.9768	6.9689	6.9689	
	P3C	7.2129	7.0239	7.1185	7.1184	
El Zapatero	P4A	5.2949	5.4212	5.3580	5.3580	6.1061
	P4B	5.8750	6.0790	5.9769	5.9770	
	P4C	6.8115	7.1539	6.9846	6.9833	
Zapatero zona de los enganches	P5A	6.9314	7.2654	7.0964	7.0977	6.4537
	P5B	6.1950	6.1680	6.1834	6.1821	
	P5C	6.1945	5.9695	6.0800	6.0813	
Los pozos	P6A	7.4155	7.6685	7.5420	7.5420	7.0613
	P6B	7.6528	7.7158	7.6843	7.6843	
	P6C	6.0248	5.8903	5.9575	5.9575	
<b>Normativa estadounidense Technical Guidance for Screening Contaminated Sediments (Orientación técnica para detectar sedimentos contaminados)</b>					Nivel de efecto más bajo 6 ppm Nivel de efecto severo 33 ppm	

\*Nota: los resultados obtenidos en determinación de arsénico en muestras de sedimentos por el método de EAA con Generador de hidruros son declarados en base seca.



**Tabla N°22.** Resultados del análisis de cobre en las muestras de sedimentos (ppm).

Sitio de recolección	Código de muestra	Lectura N°1 (ppm)	Lectura N°2 (ppm)	Lectura N°3 (ppm)	Concentración de cobre (ppm)	Promedio de cobre (ppm)
El Espino	P1A	16.9276	16.4382	16.5581	16.6413	12.8993
	P1B	15.5056	15.3134	15.4095	15.4095	
	P1C	6.6075	6.6788	6.6550	6.6471	
Cajetillo	P2A	6.3801	6.3090	6.3564	6.3485	6.4010
	P2B	6.3074	6.6891	6.4983	6.4983	
	P2C	6.3643	6.3406	6.3643	6.3564	
Laguneta	P3A	6.0487	5.5218	5.7853	5.7853	10.2953
	P3B	19.2682	18.6938	18.9810	18.9810	
	P3C	6.1275	6.1038	6.1275	6.1196	
El Zapatero	P4A	9.6107	10.0175	9.8016	9.8099	9.0872
	P4B	6.8575	6.8812	6.8812	6.8733	
	P4C	10.6020	10.5546	10.5783	10.5783	
Zapatero zona de los enganches	P5A	8.6148	8.8783	8.7584	8.7505	15.9167
	P5B	23.7463	23.3154	23.5315	23.5311	
	P5C	15.4685	15,685	15.4685	15.4685	
Los pozos	P6A	7.8716	7.7517	7.8004	7.8079	7.7272
	P6B	8.0756	7.9795	8.0269	8.0274	
	P6C	7.4663	7.2264	7.3463	7.3463	
<b>Normativa estadounidense Technical Guidance for Screening Contaminated Sediments (Orientación técnica para detectar sedimentos contaminados)</b>					Nivel de efecto más bajo 16 ppm Nivel de efecto severo 110 ppm	

\*Nota: los resultados obtenidos en determinación de cobre en muestras de sedimentos por el método de EAA por llama son declarados en base seca.

**Tabla N°23.** Resultados del análisis de cromo en las muestras de sedimentos (ppm).

Sitio de recolección	Código de muestra	Lectura N°1 (ppm)	Lectura N°2 (ppm)	Lectura N°3 (ppm)	Concentración de cromo (ppm)	Promedio de cromo (ppm)
El Espino	P1A	13.6267	13.6567	13.6567	13.6467	7.9458
	P1B	6.2272	6.4944	6.3758	6.3658	
	P1C	3.5388	4.1013	3.8350	3.8250	
Cajetillo	P2A	3.7397	3.4440	3.5812	3.5883	3.1148
	P2B	3.1475	3.2061	3.1774	3.1770	
	P2C	2.7374	2.4113	2.5887	2.5791	
Laguneta	P3A	1.1373	1.1074	1.1074	1.1174	2.0491
	P3B	3.4166	3.5352	3.4765	3.4761	
	P3C	1.3463	1.7613	1.5538	1.5538	
El Zapatero	P4A	2.9711	3.0883	3.0297	3.0297	2.8632
	P4B	2.1420	2.0821	2.0247	2.0829	
	P4C	3.3288	3.6248	3.4774	3.4770	
Zapatero zona de los enganches	P5A	1.7000	1.4339	1.5813	1.5717	3.2695
	P5B	4.8377	4.5417	4.6903	4.6899	
	P5C	3.6557	3.4483	3.5370	3.5470	
Los pozos	P6A	1.4339	1.4039	1.4039	1.4139	1.4561
	P6B	1.6974	1.7573	1.7274	1.7274	
	P6C	1.4043	1.0495	1.2269	1.2269	
<b>Normativa estadounidense Technical Guidance for Screening Contaminated Sediments (Orientación técnica para detectar sedimentos contaminados)</b>					Nivel de efecto más bajo 26 ppm Nivel de efecto severo 110 ppm	

\*Nota: los resultados obtenidos en determinación de cromo en muestras de sedimentos por el método de EAA por llama son declarados en base seca.

**Tabla N°24.** Resultados del análisis de hierro en las muestras de sedimentos (ppm).

Sitio de recolección	Código de muestra	Lectura N°1 (ppm)	Lectura N°2 (ppm)	Lectura N°3 (ppm)	Concentración de hierro (ppm)	Promedio de hierro (ppm)
El Espino	P1A	22921.35	22559.80	22747.07	22742.74	21082.75
	P1B	22720.60	22934.83	23530.59	23062.01	
	P1C	17497.00	17390.00	17443.50	17443.50	
Cajetillo	P2A	13735.21	13788.62	13761.92	13761.92	13828.51
	P2B	14761.23	14727.79	14748.00	14745.68	
	P2C	13049.23	12908.80	12975.76	12977.93	
Laguneta	P3A	9259.43	9172.53	9219.23	9217.06	13503.31
	P3B	23944.06	23489.01	23716.78	23716.62	
	P3C	7455.75	7696.75	7576.25	7576.25	
El Zapatero	P4A	11461.69	11434.74	11448.22	11448.22	15296.44
	P4B	14634.23	14400.20	14520.71	14518.38	
	P4C	20114.66	19732.95	19920.56	19922.72	
Zapatero zona de los enganches	P5A	13949.79	13822.63	13882.84	13885.09	18282.34
	P5B	23288.21	23007.49	23154.35	23150.02	
	P5C	17776.11	17850.07	17809.60	17811.93	
Los pozos	P6A	13293.78	13293.78	13293.78	13293.78	15061.67
	P6B	17217.26	17243.95	17230.48	17230.56	
	P6C	14669.67	14649.43	14662.92	14660.67	

\*Nota: los resultados obtenidos en determinación de hierro en muestras de sedimentos por el método de EAA por llama son declarados en base seca.

**Tabla N°25.** Resultados del análisis de hierro en las muestras de sedimentos (%)

Sitio de recolección	Código de muestra	Lectura N°1 (%)	Lectura N°2 (%)	Lectura N°3 (%)	Concentración de hierro (%)	Promedio de hierro (%)
El Espino	P1A	2.29	2.26	2.27	2.27	2.11
	P1B	2.27	2.29	2.35	2.31	
	P1C	1.75	1.74	1.74	1.74	
Cajetillo	P2A	1.37	1.38	1.38	1.38	1.38
	P2B	1.48	1.47	1.47	1.47	
	P2C	1.30	1.29	1.30	1.30	
Laguneta	P3A	0.93	0.92	0.92	0.92	1.35
	P3B	2.39	2.35	2.37	2.37	
	P3C	0.75	0.77	0.76	0.76	
El Zapatero	P4A	1.15	1.14	1.14	1.14	1.53
	P4B	1.46	1.44	1.45	1.45	
	P4C	2.01	1.97	1.99	1.99	
Zapatero zona de los enganches	P5A	1.39	1.38	1.39	1.39	1.83
	P5B	2.33	2.30	2.32	2.32	
	P5C	1.78	1.79	1.78	1.78	
Los pozos	P6A	1.33	1.33	1.33	1.33	1.51
	P6B	1.72	1.72	1.72	1.72	
	P6C	1.47	1.46	1.47	1.47	
<b>Normativa estadounidense Technical Guidance for Screening Contaminated Sediments (Orientación técnica para detectar sedimentos contaminados)</b>					Nivel de efecto más bajo 2% Nivel de efecto severo 4%	

**Tabla N°26.** Resultados del análisis de níquel en las muestras de sedimentos (ppm)

Sitio de recolección	Código de muestra	Lectura N°1 (ppm)	Lectura N°2 (ppm)	Lectura N°3 (ppm)	Concentración de níquel (ppm)	Promedio de níquel (ppm)
El Espino	P1A	7.4794	8.1298	7.8052	7.8048	4.7668
	P1B	4.4307	4.2047	4.8040	4.4798	
	P1C	1.9825	2.0575	2.0075	2.0158	
Cajetillo	P2A	1.4799	1.3551	1.4050	1.4134	1.3749
	P2B	1.2550	1.1789	1.2051	1.2130	
	P2C	1.2569	1.7316	1.5067	1.4984	
Laguneta	P3A	0.5306	0.4307	0.4819	0.4811	1.6646
	P3B	3.5564	3.5564	3.5564	3.5564	
	P3C	0.9563	0.9563	0.9563	0.9563	
El Zapatero	P4A	2.0789	2.0789	2.0789	2.0789	2.2374
	P4B	1.8787	1.8787	1.8725	1.8767	
	P4C	2.9565	2.5568	2.7567	2.7567	
Zapatero zona de los enganches	P5A	1.8311	1.7812	1.8061	1.8061	2.8371
	P5B	3.8062	3.4565	3.6563	3.6397	
	P5C	3.1072	3.0322	3.0572	3.0656	
Los pozos	P6A	1.7562	1.5813	1.6563	1.6646	1.8275
	P6B	2.0778	2.2537	2.1527	2.1614	
	P6C	1.6067	1.7066	1.6567	1.6567	
<b>Normativa estadounidense Orientación técnica para detectar sedimentos contaminados</b>					Nivel de efecto más bajo 16 ppm Nivel de efecto severo 75 ppm	

\*Nota: los resultados obtenidos en determinación de níquel en muestras de sedimentos por el método de EAA por llama son declarados en base seca.

**Tabla N°27.** Resultados del análisis de plomo en las muestras de sedimentos (ppm)

Sitio de recolección	Código de muestra	Lectura N°1 (ppm)	Lectura N°2 (ppm)	Lectura N°3 (ppm)	Concentración de plomo (ppm)	Promedio de plomo (ppm)
El Espino	P1A	8.2314	8.9028	8.4547	8.5296	7.2390
	P1B	7.3353	6.6653	7.1119	7.0375	
	P1C	6.4486	5.7764	6.2250	6.1500	
Cajetillo	P2A	5.0952	5.0952	5.0952	5.0952	2.9093
	P2B	2.4118	2.4118	2.4118	2.4118	
	P2C	1.7436	0.6233	1.2952	1.2207	
Laguneta	P3A	5.0978	4.8745	4.8745	4.9489	6.1644
	P3B	7.5619	7.7312	7.7853	7.6928	
	P3C	5.7764	6.0014	5.7764	5.8514	
El Zapatero	P4A	5.7663	6.6620	6.2141	6.2141	6.9618
	P4B	5.9894	6.8835	6.4357	6.4362	
	P4C	7.7872	8.6824	8.2355	8.2350	
Zapatero zona de los enganches	P5A	6.6686	6.8921	6.6686	6.7431	7.3894
	P5B	7.3371	8.2334	7.7853	7.7853	
	P5C	8.0127	7.3408	7.5657	7.6397	
Los pozos	P6A	6.8921	5.7721	6.2203	6.2948	5.6956
	P6B	5.3172	5.7634	5.5403	5.5403	
	P6C	4.8781	5.5500	5.3265	5.2515	
<b>Normativa estadounidense Orientación técnica para detectar sedimentos contaminados</b>					Nivel de efecto más bajo 31 ppm Nivel de efecto severo 250 ppm	

\*Nota: los resultados obtenidos en determinación de plomo en muestras de sedimentos por el método de EAA por llama son declarados en base seca.

**Tabla N°28.** Resultados del análisis de zinc en las muestras de sedimentos (ppm)

Sitio de recolección	Código de muestra	Lectura N°1 (ppm)	Lectura N°2 (ppm)	Lectura N°3 (ppm)	Concentración de zinc (ppm)	Promedio de zinc (ppm)
El Espino	P1A	43.2959	43.1461	43.2459	43.2293	38.1366
	P1B	42.4345	42.2222	42.3221	42.3263	
	P1C	29.1250	28.5625	28.8750	28.8542	
Cajetillo	P2A	24.3075	24.3574	24.3574	24.3407	23.9616
	P2B	24.1517	24.3513	24.2515	24.2515	
	P2C	23.3258	23.2759	23.2759	23.2925	
Laguneta	P3A	21.0237	21.0237	21.0237	21.0237	28.4966
	P3B	42.8447	41.7832	42.3327	42.3202	
	P3C	22.0625	22.2125	22.1625	22.1458	
El Zapatero	P4A	34.2900	33.8907	34.0903	34.0903	36.2275
	P4B	35.2046	34.5434	34.8927	34.8802	
	P4C	39.9700	39.4579	39.7077	39.7119	
Zapatero zona de los enganches	P5A	28.9533	29.3030	29.1531	29.1365	37.4661
	P5B	43.4565	42.9945	43.2567	43.2359	
	P5C	40.2799	39.7676	40.0300	40.0258	
Los pozos	P6A	24.3817	24.2318	24.2818	24.2984	24.7750
	P6B	27.7875	27.5879	27.6877	27.6877	
	P6C	22.5137	22.1514	22.3513	22.3388	
<b>Normativa estadounidense Orientación técnica para detectar sedimentos contaminados</b>					Nivel de efecto más bajo 120 ppm Nivel de efecto severo 820 ppm	

\*Nota: los resultados obtenidos en determinación de zinc en muestras de sedimentos por el método de EAA por llama son declarados en base seca.

### **ANEXO N°13**

ANALISIS KRUSKAL-WALLIS DE LAS CONCENTRACIONES  
PROMEDIO DE ARSENICO, COBRE, CROMO, HIERRO, NIQUEL,  
PLOMO Y ZINC.



**Tabla N°29.** Prueba de Kruskal Wallis para cobre.

<b>Estadísticos de prueba cobre</b>	
	Concentración
Chi-cuadrado	23.075
gl	5
Sig. asintótica	.000
a. Prueba de Kruskal Wallis	
b. Variable de agrupación: Sitio de recolección	

**Tabla N°30.** Prueba de Kruskal Wallis para cromo

<b>Estadísticos de prueba cromo</b>	
	Concentración
Chi-cuadrado	33.195
gl	5
Sig. asintótica	.000
a. Prueba de Kruskal Wallis	
b. Variable de agrupación: Sitio de recolección	

**Tabla N°31.** Prueba de Kruskal Wallis para hierro

<b>Estadísticos de prueba hierro</b>	
	Concentración
Chi-cuadrado	16.048
gl	5
Sig. asintótica	.007
a. Prueba de Kruskal Wallis	
b. Variable de agrupación: Sitio de recolección	

**Tabla N°32.** Prueba de Kruskal Wallis para níquel

<b>Estadísticos de prueba níquel</b>	
	Concentración
Chi-cuadrado	27.514
gl	5
Sig. asintótica	.000
a. Prueba de Kruskal Wallis	
b. Variable de agrupación: Sitio de recolección	

**Tabla N°33.** Prueba de Kruskal Wallis para plomo

<b>Estadísticos de prueba plomo</b>	
	Concentración
Chi-cuadrado	32.590
gl	5
Sig. asintótica	.000
a. Prueba de Kruskal Wallis	
b. Variable de agrupación: Sitio de recolección	

**Tabla N°34.** Prueba de Kruskal Wallis para zinc

<b>Estadísticos de prueba zinc</b>	
	Concentración
Chi-cuadrado	28.845
gl	5
Sig. asintótica	.000
a. Prueba de Kruskal Wallis	
b. Variable de agrupación: Sitio de recolección	