

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



**CUANTIFICACION DE PLOMO, MERCURIO Y CADMIO EN AGUA DE
CONSUMO HUMANO DE CINCO COMUNIDADES DE EL SALVADOR
POR ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORCION ATOMICA**

TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO POR:

CAROLINA IVONNE ARAUJO CHEVEZ

**PARA OPTAR AL GRADO DE:
LICENCIATURA EN QUIMICA Y FARMACIA**

MARZO 2010

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMERICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

MSc. RUFINO ANTONIO QUEZADA SANCHEZ.

SECRETARIO GENERAL

LIC. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHAVEZ.

FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA

DECANO

LIC. SALVADOR CASTILLO AREVALO

SECRETARIA

MSc. MORENA LIZETTE MARTINEZ DE DIAZ

COMITE DE TRABAJO DE GRADUACION

COORDINADORA GENERAL

Licda. María Concepción Odette Rauda Acevedo.

ASESORA DE AREA DE GESTION AMBIENTAL: CALIDAD AMBIENTAL

Licda. Cecilia Haydeé Gallardo de Velásquez.

ASESORA DE AREA DE APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES

MSc. Sonia Maricela Lemus Martínez.

DOCENTES DIRECTORES

Licda. Sandra Guadalupe Peraza de Ramírez.

Lic. Guillermo Antonio Castillo Ruiz.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS TODOPODEROSO:

Por haberme brindado la sabiduría, entendimiento, y las ganas de luchar colmándome de bendiciones permitiéndome culminar una meta más en mi vida.

A MI FAMILIA:

Por todo el apoyo y paciencia brindada durante todo este trabajo de graduación y a todas las personas que me ayudaron para que sea posible la culminación y sea un trabajo de éxito.

A LA COORDINADORA GENERAL Y ASESORAS DE AREAS:

Licda. María Odette Rauda, Licda. Cecilia Haydeé Gallardo de Velásquez. y MSc. Sonia Maricela Lemus Martínez por ser objetivos en sus evaluaciones, por su tiempo y dedicación en el desarrollo y culminación del presente trabajo.

A MIS DOCENTE DIRECTORES:

Licda. Sandra Guadalupe Peraza de Ramírez. y Lic. Guillermo Antonio Castillo Ruiz, por ser mis asesores y amigos, guiándome por el camino del saber, por su gran apoyo y paciencia, por haberme aportado con la orientación y conocimientos profesionales que fueron de mucha importancia para la elaboración de este trabajo.

Gracias por todo. Carolina Araujo.

DEDICATORIA

A DIOS TODOPODEROSO: Por darme la fuerza y deseos, por guiar cada paso e iluminó mi mente durante todos estos años por brindarme el privilegio de alcanzar y concluir satisfactoriamente mis estudios superiores. Por todo esto y más gracias mi Dios.

A MIS PADRES Y HERMANOS: Marina Evelyn de Araujo y Romeo Araujo, por darme todo su amor y apoyo incondicional y por el esfuerzo que hicieron por mí hasta el final, con el propósito de convertir mis ideales en una realidad.

Mis hermanitos Bea, Romeo y Félix Araujo a ellos muchas gracias por todo su apoyo, por qué nunca dudaron de mí y mis capacidades.

A MI ABUELA Y PRIMOS: A mi abuelita y a Toño, Riqui, Nena que fueron parte de mis estímulos, pues son a aquellos que sirvo de ejemplo para sus vidas.

A MI NOVIO Y SU FAMILIA: Fernando Espinoza y Familia Espinoza, por su amor y apoyo, fuiste tú amor, que supo motivarme en mis momentos de flaqueza para seguir adelante y para alcanzar mis metas.

A MIS AMIGOS: Robert, Stephanie, Denis, Lesly, Rafa, Luis Miguel, y a todos aquellos que estuvieron ahí siempre en el momento justo para brindarme su ayuda y apoyo por ustedes que me animan, los amo amigos.

A MIS CATEDRATICOS: Que supieron guiarme tanto en la parte informativa como en la formativa de la carrera para convertirme en profesional.

A MIS ALUMNOS: Porque me animaban cada día para lograr una meta más en mi vida sirviéndoles de guía y ejemplo para sus vidas. Gracias mis amores

CON AMOR: Carolina Araujo.

INDICE

Contenido	Pág
Resumen	
Capítulo I	
1.0 Introducción	xx
Capítulo II	
2.0 Objetivos	
2.1 Objetivo General	
2.2 Objetivos Específicos	
Capítulo III	
3.0 Marco Teórico	23
3.1 Generalidades.	23
3.1.1. Agua	23
3.1.2. Contaminación del Agua.	24
3.2 Metales Pesados.	27
3.3 Mercurio	28
3.3.1 Generalidades del mercurio	28
3.3.2 Usos del mercurio.	28
3.3.3 Principales vías de absorción del mercurio	29
3.3.4 Efectos tóxicos por contaminación de mercurio.	30
3.3.5 Métodos de determinación del mercurio	33

3.4 Plomo	34
3.4.1 Generalidades del plomo	34
3.4.2 Usos del plomo	34
3.4.3 Principales vías de absorción del plomo	35
3.4.4 Efectos tóxicos por contaminación de plomo	37
3.4.5 Métodos de determinación del plomo.	40
3.5 Cadmio	41
3.5.1 Generalidades y Usos del cadmio	42
3.5.2 Principales vías de absorción del cadmio.	43
3.5.3 Efectos tóxicos por contaminación de cadmio.	44
3.5.4 Métodos de determinación del cadmio.	47
3.6 Estadio de Prevalencia de Enfermedad Renal Crónica en Cinco Comunidades de El Salvador	47
3.7 Descripciones Geográficas de las Zonas de Muestreo.	48
3.7.1 Municipio de Apastepeque.	48
3.7.2 Municipio de San Salvador.	48
3.7.3 Municipio de Concepción Ataco.	49
3.7.4 Municipio de San Luis Talpa.	59
3.7.5 Municipio de Jiquilisco.	50
3.8 Valores permisibles de Plomo, Mercurio y Cadmio	51
3.8.1 Norma Salvadoreña Obligatoria para la Calidad del Agua. Agua Potable (INS 13.07.01:04).	51

3.8.2 Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994	51
3.8.3 Norma Oficial Argentina, Ley 18284.	52
3.9 Espectrofotometría de Absorción Atómica (AA).	52
3.9.1 Atomizadores Electrotérmicos.	53
Capítulo IVII	
4.0 Diseño Metodológico.	55
4.1. Tipo de Estudio.	55
4.2. Metodología.	55
4.2.1. Investigación Bibliográfica.	55
4.2.2. Investigación de Campo.	55
4.2.3. Investigación de Laboratorio.	57
Capítulo V	
5.0 Resultados e Interpretación	62
Capítulo VI	
6.0 Conclusiones.	75
Capítulo VII	
7.0 Recomendaciones.	78
Bibliografía	
Glosario	
Anexos	

INDICE DE CUADROS

Cuadro N°		Pág.
1	Valores de Normas Salvadoreñas NSO: 13.07.01:04 de los metales Plomo, Mercurio y Cadmio.	51
2	Valores de Normas Mexicana NOM-127-55 ^{a1} -1994.	51
3	Valores de Normas Argentinas, ley 18284.	52
4	Descripción de las zona, municipio y cantón de muestreo.	56
5	Concentraciones de metales en muestras de agua potable por comunidad.	62
6	Correcciones por Desviación Geométrica Estándar de las concentraciones de mercurio.	64
7	Concentraciones corregidas de metales en muestras de agua potable por comunidad.	64
8	Media aritmética y Desviación estándar e las concentraciones de los contaminantes en estudio es agua de consumo humano por comunidad según estudios de prevalencia del ERC.	65
9	Valores asignados de menor a mayor riesgo de contaminación de metales: Plomo, Mercurio y Cadmio por comunidad.	69
10	Incidencia de los metales contaminantes con respecto al riesgo de ubicación del sector geográfico de las comunidades por análisis de regresión lineal, utilizando el programa de SPSS.	70

- 11 Se muestra la incidencia entre los contaminantes Plomo, Mercurio y Cadmio vs Creatinina en sangre según estudios de prevalencia ERC, el método estadístico se realizó por regresión lineal, utilizando el programa SPSS. 72

INDICE DE FIGURAS

Figura N°		Pág.
1	Esquema de espectrofotometría de absorción atómica	53
2	Concentración de medias de Plomo versus Comunidad	66
3	Concentraciones de medias de Mercurio versus Comunidad.	67
4	Concentraciones de medias de Cadmio versus Comunidad.	68

INDICE DE ANEXOS

Anexo N°

- 1 Preparación de reactivos.
- 2 Procedimiento de estándares de plomo, mercurio y cadmio.
- 3 Material, equipo y reactivos.
- 4 Daño producido por cadmio y mercurio.
- 5 Mapas de ubicación de zonas de muestreos.
- 6 Normas de calidad de agua potable.
- 7 Resultados obtenidos por laboratorio de PROCAFE.
- 8 Formulas y resultados obtenidos por el método estadístico de regresión lineal por el programa SPSS y desviación geométrica estándar (DGS)
- 9 Medias de creatinina en sangre según estudio de prevalencia de enfermedad renal crónica (ERC).

ABREVIATURAS

AA	Absorción Atómica
ERC	Enfermedad Renal Crónica
Msnm	Metros sobre el nivel del mar
PROCAFE	Fundación Salvadoreña para Investigaciones del Café
NSO 13.07.01:04	Inciso 13.07.01:04
EPA	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (Por sus siglas en ingles)
ASTM	Sociedad Americana de Ensayos de materiales (Por sus siglas en ingles)
USGS	Inspección Geológica de los Estados Unidos (Por sus siglas en ingles)
APHA	Asociación de la Salud Publica de América (Por sus siglas en ingles)
AWWA	Asociación Americana del Trabajo en Agua (Por sus siglas en ingles)
WEF	Foro Económica Mundial (Por sus siglas en ingles)
EDTA	Acido Etileno Tetracético

PVC	Cloruro de Polivinilo
NOM	Norma Oficial Mexicana
GSD	Desviación Geométrica Estándar
N/A	No Detectable
DS	Desviación Estándar
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences, según siglas en ingles, que significa paquete estadístico para las ciencias sociales
ANDA	Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados
WASTOX	Modelo matemático para sustancias tóxicas en aguas superficiales
Km	Kilometro
Cm	Centímetro
Mg	Miligramo
µg	Microgramo
G	Gramo
Nm	Nanómetro

ppm	Parte por millón
$K_2S_2O_8$	Persulfato Potásico
$KMnO_4$	Permanganato de Potasio
$SnCl_2$	Cloruro de Estañoso
HNO_3	Ácido Nítrico
H_2SO_4	Ácido Sulfúrico
L	Litro
\leq	Símbolo que representa menor o igual
%	Símbolo que representa porcentaje
λ	Símbolo que representa longitud de onda

RESUMEN

RESUMEN

En la presente investigación se cuantificó los metales pesados Plomo, Mercurio y Cadmio en agua de consumo humano y se compararon posteriormente con los límites establecidos por la Norma Salvadoreña Obligatoria para la Calidad de Agua. Agua Potable (NSO: 13.07.01:04).

Se realizó 5 tomas de muestras en cinco comunidades con diferentes actividades económicas y ubicación geográfica, según un estudio de prevalencia de Enfermedad Renal Crónica (ERC) los cuales son los siguientes: Cantón Shucutitán de Concepción de Ataco en Ahuachapán, Cantón Calderas de Apastepeque en San Vicente, Reparto Santa Clara de San Jacinto en San Salvador, Casco de la Hacienda Santa Clara de San Luís Talpa en La Paz y Caserío El Paraíso de Jiquilisco, Cantón Tierra Blanca, en Usulután. Haciendo un total de 25 muestras, la parte experimental se llevo a cabo en un laboratorio privado aplicando los Métodos Estandarizados de Tratamiento de Agua y Aguas de desechos, por el método de espectrofotometría de absorción atómica.

Al comparar los resultados obtenidos de las muestras de agua de consumo humano con los límites establecido por la Norma Salvadoreña Obligatoria para la Calidad de Agua. Agua Potable (NSO: 13.07.01:04), que establece los limites de concentración para los metales en estudio los cuales son: plomo de 0.01ppm, mercurio de 0.001 ppm y cadmio de 0.003 ppm, respectivamente.

Se determinó que las concentraciones de plomo, mercurio y cadmio sobrepasan los limite, mostrando mayor concentraciones para el Plomo en el Reparto Santa

Clara de San Jacinto en San Salvador (0.0211 ppm), Mercurio en el Casco de la Hacienda Santa Clara de San Luís Talpa en La Paz (0.0065 ppm) y Cadmio en el Cantón Calderas de Apastepeque en San Vicente (0.0032 ppm), y la zona de muestreo con menor presencia de los tres metales plomo, mercurio y cadmio es el Cantón Shucutitán de Concepción de Ataco en Ahuachapán.

Las concentraciones también fueron analizadas estadísticamente por el método de regresión lineal, utilizando el programa SPSS, donde se determinó la relación entre las concentraciones individuales de los metales y la zona de ubicación muestreada y no se observó incidencia entre las variables, probablemente se deba a que el número de muestras analizadas no son lo suficientemente representativa para demostrar cómo cada metal por sí solo es un riesgo para la salud. Posteriormente se realizó un análisis de los promedios de creatinina en sangre en relación al sexo femenino y masculino en la comunidad, y se muestra que se potencializa en proporcionalidad directa y alta significancia, es decir que si depende del sexo de la persona para que se bioacumule en sangre y se eleve la concentración de creatinina, al analizarse en conjunto con las concentraciones de plomo y mercurio; esto implica que las concentraciones de los metales en agua de consumo es una de las causas de enfermedad renal crónica en el país.

Por lo que se concluye que todas las comunidades sobrepasan los límites establecidos en plomo, mercurio y cadmio según la Norma Salvadoreña Obligatoria para la Calidad del Agua. Agua Potable NSO: 13:07.01:04

Y se recomienda que la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA) en conjunto con la Universidad de El Salvador (UES), realicen proyectos de monitoreo del agua potable de estas comunidades y así proponer medidas para poder evitar seguir dañando la salud de la población.

CAPITULO I
INTRODUCCION

1.0 INTRODUCCION

El estado natural del agua puede ser afectado por procesos naturales, y actividades humanas; la contaminación causada por el hombre a los mantos acuíferos ha sido esencialmente química. Sustancias tóxicas tales como los metales pesados generan bioacumulación; el Cadmio, Mercurio y Plomo son metales pesados clasificados como contaminantes en agua de consumo humano, estos metales además de bioacumularse, son nefrotóxicos y causan daños severos al riñón. En El Salvador se han publicado varios reportes que muestran que en la última década, el país ha sufrido un aumento inesperado de casos de Enfermedad Renal Crónica (ERC)⁽⁸⁾. Por lo que comparamos la prevalencia de dicha enfermedad en cinco comunidades con diferentes actividades económicas y ubicación geográfica; determinando que existe una prevalencia muy baja en la comunidad cafetalera Shucutitan, municipio de Ataco, departamento de Ahuachapán, ubicada arriba de 1,600 msnm (metros sobre el nivel del mar), y una prevalencia muy alta en los estadios iniciales en las comunidades cañeras como son Casco de Hacienda Santa Clara, municipio de San Luis Talpa y de la zona urbana, Reparto Santa Clara, Barrio San Jacinto, de los estadios severos con fallo renal en las dos comunidades cañeras, de la zona paracentral Cantón Tierra Blanca, municipio de Jiquilisco, Usulután y Cantón Calderas, municipio de Apastepeque ubicadas a menos de 100 msnm; en todas las comunidades la presencia de la enfermedad es mayor en hombres que en mujeres, siendo esta afección multicausal, no relacionada

con causas tradicionales como diabetes o hipertensión; el estudio sugiere los factores ambientales y ocupacionales como deshidratación, exposición a estrés térmico, pudiendo ser una posible causa la presencia de metales pesados en el agua de consumo humano⁽⁸⁾.

En el presente trabajo se realizó un análisis de muestras de agua de consumo humano, en las cinco comunidades de El Salvador en las cuales se desarrollo el Estudio de ERC⁽⁸⁾: Cantón Shucutitán de Concepción de Ataco en Ahuachapán, Cantón Calderas de Apastepeque en San Vicente, Reparto Santa Clara de San Jacinto en San Salvador, Casco de la Hacienda Santa Clara de San Luís Talpa en La Paz y Caserío El Paraíso de Jiquilisco, Cantón Tierra Blanca, en Usulután; tomando cinco muestras de agua de grifo en cada comunidad, para determinar las concentraciones de contaminantes nefrotóxicos de plomo, mercurio y cadmio, los análisis se realizarón en el Laboratorio de Servicios Analíticos de la Fundación Salvadoreña para Investigaciones del Café (PROCAFE) , con el método de espectrofotometría de absorción atómica especificado para cada uno de los contaminantes, siguiendo los Métodos Estandarizados de Tratamiento de Agua y Aguas de Desechos; comparando posteriormente los resultados obtenidos con los parámetros establecidos en la Norma Salvadoreña Obligatoria para la Calidad del Agua. Agua Potable (NSO 13.07.01:04). A su vez, se realizó una comparación entre los resultados obtenidos de las cinco comunidades y los datos del estudio de prevalencia en las mismas para establecer la posible relación entre las concentraciones de los

contaminantes y la prevalencia de Enfermedad Renal Crónica. La toma de muestra y su respectivo análisis se llevó a cabo durante el período comprendido por los años 2008 - 2009.

CAPITULO II

OBJETIVOS

2.0 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Cuantificar plomo, mercurio y cadmio en agua de consumo humano de cinco comunidades de El Salvador por espectrofotometría de absorción atómica.

2.2 Objetivos Específicos

- 2.2.1 Seleccionar las zonas de recolección de muestras de agua de consumo humano, según el “Estudio de Prevalencia de Enfermedad Renal Crónica en cinco comunidades de El Salvador”.
- 2.2.2 Determinar el contenido de plomo por el método de espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito en las muestras de agua de consumo recolectadas.
- 2.2.3 Determinar el contenido de mercurio por espectrofotometría de absorción atómica empleando el método de formación de hidruros en las muestras de agua de consumo recolectadas.
- 2.2.4 Determinar el contenido de cadmio por el método de espectrofotometría de absorción atómica en las muestras de agua de consumo recolectadas.
- 2.2.5 Comparar los resultados obtenidos en cuanto al contenido de plomo, mercurio y cadmio con los límites establecidos por la Norma Salvadoreña Obligatoria para la Calidad de Agua. Agua Potable (NSO 13.07.01:04).

CAPITULO III
MARCO TÉORICO

3.0 MARCO TÈORICO

3.1 GENERALIDADES

3.1.1 El Agua

El agua es un compuesto formado por dos átomos de hidrógeno (H) y uno de oxígeno (O₂). Proveniente del latín *aqua* (agua). A temperatura ambiente es líquida, inodora, insípida e incolora, aunque adquiere una leve tonalidad azul en grandes volúmenes, debido a la refracción de la luz al atravesarla, ya que absorbe con mayor facilidad las longitudes de onda larga (rojo, naranja y amarillo) que las longitudes de onda corta (azul, violeta), desviando levemente estas últimas, provocando que en grandes cantidades de agua esas ondas cortas se hagan apreciables. Es fundamental para todas las formas de vida conocida. Los humanos consumen agua potable. Los recursos naturales se han vuelto escasos con la creciente población mundial y su disposición en varias regiones habitadas es la preocupación de muchas organizaciones gubernamentales.

Todas las formas de vida conocidas dependen del agua. El agua es parte vital de muchos procesos metabólicos en el cuerpo. Cantidades significantes de agua son usadas durante la digestión de la comida. Sin embargo, algunas bacterias y semillas de plantas pueden entrar a un estado criptobiótico por un período de tiempo indefinido cuando se deshidratan, y vuelven a la vida cuando se devuelven a un ambiente húmedo.

Cerca del 72% de la masa libre de grasa del cuerpo humano está hecha de agua. Para su adecuado funcionamiento nuestro cuerpo requiere entre uno y tres litros de agua diarios para evitar la deshidratación, la cantidad precisa depende del nivel de actividad, temperatura, humedad y otros factores. El cuerpo pierde agua por medio de la orina y las heces, la transpiración y la exhalación del vapor de agua en nuestro aliento.

Los humanos requieren agua pobre en sales y otras impurezas. Entre las impurezas también se cuentan sustancias químicas ó en otro sentido, microorganismos perjudiciales. Algunos solutos son aceptables y hasta deseables para un sabor apropiado. El agua adecuada para beber se llama agua potable. ⁽¹⁸⁾

3.1.2. Contaminación del Agua

La contaminación del agua es cualquier cambio químico, físico o biológico en la calidad del agua que tiene un efecto dañino en cualquier ser vivo que consuma esa agua. Cuando los seres humanos beben agua contaminada tienen a menudo problemas de salud. ⁽¹⁾

El agua pura es un recurso renovable, sin embargo puede llegar a estar tan contaminada por las actividades humanas, que en vez de ser útil, se hace nociva ⁽³⁾.

Hay varias clases de agentes contaminantes del agua.

- Los primeros son agentes causantes de enfermedad. Éstos son bacterias, virus, protozoos y los gusanos parásitos que se incorporan desde los sistemas de aguas residuales y las aguas residuales sin tratar.

- Una segunda categoría de agentes contaminantes del agua son los agentes consumidores de oxígeno; residuos que se pueden descomponer por las bacterias consumidoras de oxígeno.

- Una tercera clase de agentes contaminantes del agua son los contaminantes inorgánicos solubles en agua, tales como ácidos, sales y metales tóxicos, haciendo esta el agua inapropiada para beber y pueden causar la muerte de la vida acuática.

- Otra clase de agentes contaminadores del agua son los nutrientes; los nitratos y los fosfatos solubles en agua que causan el crecimiento excesivo de las algas y de otras plantas acuáticas, que agotan la fuente de oxígeno del agua. Esto mata a peces y afectar sobre todo a los infantes.

- El agua se puede también contaminar por compuestos orgánicos tales como aceite, plásticos y pesticidas, que son dañinos para los seres humanos y para las plantas y animales acuáticos.

- Una categoría muy peligrosa es el sedimento suspendido, porque causa una disminución en la absorción de la luz por el agua y las partículas separan compuestos peligrosos tales como pesticidas a través del agua.

- Finalmente, los compuestos radiactivos solubles en el agua pueden causar cáncer, defectos de nacimiento y daño genético siendo por tanto agentes contaminantes muy peligrosos del agua. La contaminación del agua es causada generalmente por actividades humanas; diversas fuentes humanas añaden agentes contaminantes al agua.

Hay dos clases de fuentes, fuentes puntuales y fuentes difusas.

- Las fuentes puntuales descargan agentes contaminantes en localizaciones específicas a través de tuberías o de alcantarillas en el agua superficial, ejemplos de fuentes puntuales son: fábricas, plantas de tratamiento de aguas residuales, minas subterráneas, pozos de petróleo, buques de petróleo, etc.

- Las fuentes de contaminación difusa son las fuentes que no se pueden localizar en un solo sitio de descarga, ejemplos de las fuentes de contaminación difusa son: deposición ácida del aire, tráfico, agentes contaminantes que se transportan a través de los ríos y de los agentes contaminantes que entran en el agua a través del agua subterránea.

La contaminación por fuente difusa es difícil de controlar porque los causantes de ella no pueden ser controlados.

Contaminación del agua por metales pesados: plomo, mercurio o cadmio

Las sales solubles en agua de los metales pesados como el plomo, cadmio y mercurio son muy tóxicos y acumulables por los organismos que los absorben, +los cuales a su vez son fuente de contaminación de las cadenas alimenticias al ser ingeridos por alguno de sus eslabones. Al ser ingeridos por el hombre en

el agua y alimentos contaminados por los compuestos de mercurio, plomo o cadmio le provocan ceguera, amnesia, raquitismo, hasta la muerte (1 y 4).

3.2 Metales Pesados

Los metales pesados son un grupo de elementos químicos que presentan una densidad relativamente alta y cierta toxicidad para el ser humano. El término "metal pesado" no está bien definido. A veces se emplea el criterio de densidad. Por ejemplo, metales de densidad mayor que $4,5 \text{ g/cm}^3$, pero los valores en la bibliografía pueden ir desde 4 g/cm^3 hasta 7 g/cm^3 . Otros criterios empleados son el número atómico y el peso atómico. Además, el término siempre suele estar relacionado con la toxicidad que presentan, aunque en este caso también se emplea el término "elemento tóxico" o "metal toxico".

Muchos de los metales que tienen una densidad alta no son especialmente tóxicos y algunos son elementos esenciales en el ser humano, a determinadas concentraciones puedan ser tóxicos en alguna de sus formas. Sin embargo, hay una serie de elementos que pueden presentar, un serio problema al medioambiente y es común referirse a ellos con el término genérico de "metales pesados".

Los metales pesados tóxicos más conocidos son el mercurio, el plomo, el cadmio y el talio. También se suele incluir un semimetal como es el arsénico y, en raras ocasiones, algún no metal como el selenio. A veces también se habla de contaminación por metales pesados incluyendo otros elementos tóxicos más ligeros, como el berilio o el aluminio (5).

3.3 Mercurio

3.3.1 Generalidades

En la actualidad se sabe que uno de los sitios de acumulación de mercurio en el cuerpo humano es el cerebro y sus efectos van desde daños en las funciones sensoriales y visuales, hasta defectos en las transmisiones sinápticas (forma en la que el sistema nervioso manda sus señales) y debilidad muscular.

El estudio de los metales pesados no es algo nuevo, sino que ha sido objeto de investigación desde épocas ancestrales, sin embargo, no se conocen con exactitud todos los mecanismos de acción que conllevan a los metales pesados a tener efectos tóxicos.

El mercurio es uno de los contaminantes más peligrosos, por su capacidad de biomagnificación, es decir, sus efectos se acumulan y se transmiten de unas especies biológicas a otras.

Las principales fuentes de contaminación son: la natural, debida a los desprendimientos o el desgaste de la corteza terrestre y la causada por el hombre, también llamada antropogénica, siendo ésta la más común ⁽⁶⁾.

3.3.2 Usos del Mercurio

El mercurio es un elemento que puede ser encontrado de forma natural en el medio ambiente. Puede ser encontrado en forma de metal, como Sales de Mercurio o como Mercurio orgánico.

El mercurio metálico es usado en una variedad de productos de casa, como barómetros, termómetros, bombillas fluorescentes. El mercurio en estos

mecanismos está atrapado y usualmente no causa ningún problema de salud. El Mercurio no es encontrado de forma natural en los alimentos, pero este puede aparecer en la comida, expandido en las cadenas alimentarias por pequeños organismos que son consumidos por los humanos, por ejemplo a través de los peces. Las concentraciones de mercurio en los peces usualmente exceden en gran medida las concentraciones en el agua donde viven. Los productos de la cría de ganado pueden también contener eminentes cantidades de mercurio. El mercurio no es comúnmente encontrado en plantas, pero este puede entrar en los cuerpos humanos a través de vegetales y otros cultivos. El mercurio se utiliza en la industria para la manufactura de equipo eléctrico y científico (baterías, lámparas, termómetros, barómetros y otros), su uso en pesticidas, conservadores de semillas, pinturas y cosméticos se han restringido en algunos países, pero todavía existen muchas compañías que lo utilizan. Otro uso muy controvertido son las amalgamas dentales, ya que estas desprenden vapores tóxicos que afectan principalmente a los dentistas y técnicos dentales (6).

3.3.3 Principales vías de absorción del mercurio.

La inhalación de vapor es la principal vía de entrada de mercurio metálico al organismo. Alrededor de un 80% de los vapores de mercurio inhalados se absorbe por los pulmones (a nivel alveolar). La absorción de mercurio metálico a través del aparato digestivo es despreciable (menos del 0,01% de la dosis administrada). También es posible la penetración subcutánea accidental de

mercurio metálico, por ejemplo, por la ruptura de un termómetro. Las principales vías de entrada de los compuestos inorgánicos de mercurio (sales mercuriales) son los pulmones (atomización de las sales de mercurio) y el tracto gastrointestinal. En este último caso, la absorción suele ser resultado de la ingestión accidental o voluntaria. Se calcula que entre un 2% y 10% de las sales mercuriales ingeridas, se absorbe a través del tracto gastrointestinal.

La absorción cutánea de mercurio metálico y algunos de sus compuestos también es posible, aunque la tasa de absorción es baja. Una vez en el organismo, el mercurio metálico permanece como tal durante un corto espacio de tiempo, lo que explica su capacidad de atravesar la barrera hematoencefálica; en la sangre y los tejidos, el mercurio metálico se oxida rápidamente para formar iones mercurio que se fijan a las proteínas, y el mercurio inorgánico se distribuye entre el plasma y eritrocitos, en sangre. Tras la exposición a vapores de mercurio metálico, éste se deposita en los riñones y el encéfalo, y cuando se produce una exposición a sales inorgánicas, se deposita principalmente en los riñones. (4)

3.3.4. Efectos tóxicos por contaminación con mercurio

Los síntomas de una intoxicación aguda son: irritación pulmonar (neumonía química), que puede producir edema pulmonar agudo. También es posible que resulte afectada la función renal. Casi siempre, la intoxicación aguda se debe a la ingestión accidental o voluntaria de sales de mercurio, lo que produce una grave inflamación del tracto gastrointestinal, seguida rápidamente de una

insuficiencia renal por necrosis de los túbulos contorneados proximales. La forma grave de intoxicación crónica por mercurio que hasta principios del siglo XX se observaba en lugares como Almadén y se caracterizaba por importantes trastornos renales, digestivos, mentales y nerviosos que derivaban en caquexia, ha desaparecido gracias a las medidas preventivas. Sin embargo, en la minería del mercurio aún pueden producirse intoxicaciones crónicas “intermitentes”, con alternancia de períodos de intoxicación activa y de intoxicación latente. En los períodos latentes, los síntomas remiten de forma que sólo son detectables mediante un análisis minucioso; persisten únicamente las manifestaciones neurológicas en forma de sudoración profusa, dermatografismo y cierta inestabilidad emocional. La gingivitis es el trastorno gastrointestinal más frecuente en la intoxicación por mercurio, pues una mala higiene bucal favorece este trastorno, que va acompañado de un sabor desagradable, metálico o amargo en la boca.

La forma de intoxicación por mercurio más frecuente en las personas que no se encuentran dentro de los grupos de riesgo ocupacional expuestos, es la ingestión de pescado, debido a que el medio acuático es uno de los más contaminados, ya que las fábricas lo desechan, depositándose en el sedimento donde las plantas marinas lo absorben. Los organismos herbívoros que se alimentan de ellas, a la vez que se contaminan lo pasan a los peces de la zona y otros animales de las cadenas alimenticias acuáticas como aves y mamíferos marinos. Este fenómeno que se mencionó anteriormente se conoce como

biomagnificación y se debe a que el mercurio que absorben los organismos vivos, ya sea en plantas, peces u hombres, no se elimina sino que se va acumulando.

El mercurio se presenta en tres formas: Mercurio inorgánico (Hg^{2+}) que se encuentra como óxido de mercurio; el mercurio elemental (Hg^0) y el mercurio orgánico o metil-mercurio.

El mercurio inorgánico (Hg^{2+}) se acumula de manera primordial en el riñón, el sistema nervioso central e hígado. El mercurio elemental (Hg^0) es muy poco absorbido y el metil-mercurio, es la forma más tóxica para los seres vivos debido a su gran capacidad para atravesar membranas celulares, así como las barreras hematoencefálicas y placentaria.

Al inhalar vapor de mercurio, como resultado de una exposición suave lo primero que se daña es:

- El sistema nervioso
- Pérdidas de la memoria
- Temblores
- Inestabilidad emocional
- Insomnio
- Pérdida de apetito

Como resultado de una exposición moderada:

- Desordenes mentales y disturbios motores más significativos

En casos más severos:

- Disminución de la visión y audición
- Desórdenes de lenguaje
- Movimientos temblorosos y pasos inestables

Los casos más serios muestran desorden mental seguido por la muerte ⁽⁴⁾.

3.3.5. Métodos de determinación del mercurio

Existen varios métodos para la determinación de mercurio en aguas, entre los cuales podemos mencionar:

- Método por Absorción Atómica sin llama, para el Mercurio disuelto y suspendido. Con límite de detección de 0.2-10 µg de Hg/L para aguas potables, aguas de superficies. Aguas salinas, agua de enjuagues e industriales.
- Detección de Mercurio por Cromatografía de intercambio por ion selectivo.
- El método 245.1 (EPA 1979), el cual indica que el análisis de mercurio en agua y aguas residuales puede realizarse por técnicas de vapor frío, manual o automatizado. El cual consigue límites de detección de 0.2 µg de Hg/L Y desviaciones estándar a niveles de 0.35 con recuperaciones entre 87% y 89%. Este método también se enumera como Standard Method 303F, ASTM D3223-80 y USGS I-3464-84. [51 FR 23696 (6/30/86)].
- Método 3500-Hg. APHA, AWWA, WEF. "Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater" (Métodos Estándares para la Examinación del Agua y Agua de desecho) ⁽⁶⁾.

3.4. Plomo

3.4.1. Generalidades

El Plomo es un metal blando que ha sido conocido a través de los años por muchas aplicaciones. Este ha sido usado ampliamente (5000 años antes de Cristo) para aplicaciones en productos metálicos, cables y tuberías, pero también en pinturas y pesticidas. El plomo es uno de los cuatro metales que tienen un mayor efecto dañino sobre la salud humana. Este puede entrar en el cuerpo humano a través de la comida (65%), agua (20%) y aire (15%). Las comidas como fruta, vegetales, carnes, granos, mariscos, refrescos y vino pueden contener cantidades significantes de Plomo. El humo de los cigarrros también contiene pequeñas cantidades de plomo.

El Plomo puede entrar en el agua potable a través de la corrosión de las tuberías, esto es más común que ocurra cuando el agua es ligeramente ácida. Este es el porqué de que en los sistemas de tratamiento de aguas públicas son ahora requeridos llevar a cabo un ajuste de pH en agua que sirve para el uso de consumo humano ⁽¹³⁾.

3.4.2. Usos del Plomo

El Plomo no cumple ninguna función esencial en el cuerpo humano, este puede principalmente hacer daño después de ser tomado en la comida, aire o agua ⁽¹³⁾

3.4.3. Principales vías de absorción del plomo

Alrededor del 10-20% del plomo es absorbido por los intestinos. Generalmente los efectos del envenenamiento por plomo son neurológicos o teratógenos. El plomo orgánico causa necrosis de neuronas. El plomo inorgánico crea degeneración axónica. Ambas especies de plomo causan edema cerebral y congestión. Los compuestos orgánicos del plomo se absorben rápidamente y por lo tanto suponen un mayor riesgo. Los compuestos orgánicos del plomo pueden ser cancerígenos. Las mujeres son generalmente más susceptibles al envenenamiento que los hombres. El plomo causa alteraciones menstruales, infertilidad y aumenta el riesgo de aborto. Los fetos son más susceptibles al envenenamiento por plomo que las madres, e incluso los fetos protegen a la madre del envenenamiento por plomo. En tiempos pasados el plomo se aplicaba como medida del control de la natalidad, por ejemplo como espermicida y para inducir el aborto.

En el organismo humano, el plomo inorgánico no se metaboliza, sino que se absorbe, se distribuye y se excreta directamente. La velocidad a que se absorbe el plomo depende de su forma química y física y de las características fisiológicas de la persona expuesta (edad y estado nutricional). El plomo inhalado y depositado en las vías respiratorias bajas se absorbe por completo. La cantidad de plomo absorbida en el tracto gastrointestinal de los adultos suele estar comprendida entre el 10% y el 15% de la cantidad ingerida; en los niños y las mujeres embarazadas, la cantidad absorbida puede aumentar hasta en un

50%. También se incrementa significativamente en condiciones de ayuno y en casos de déficit de hierro o calcio. Una vez en la sangre, el plomo se distribuye en tres compartimentos: la sangre, los tejidos blandos (riñón, médula ósea, hígado y cerebro) y el tejido mineralizado (huesos y dientes). El tejido mineralizado contiene aproximadamente el 95% de la carga corporal total de plomo en los adultos. El plomo en los tejidos mineralizados se acumula en subcompartimentos que difieren en la velocidad de reabsorción del plomo. En el hueso existe un componente lábil, que intercambia rápidamente el plomo con la sangre, y un reservorio inerte. El plomo del reservorio inerte representa un riesgo especial, pues constituye una posible fuente endógena de plomo. Cuando el organismo se encuentra en condiciones fisiológicas de estrés, como durante el embarazo, la lactancia o una enfermedad crónica, este plomo normalmente inerte puede mobilizarse y aumentar los niveles de plomo en sangre. Debido a la existencia de estos depósitos de plomo móviles, con frecuencia deben transcurrir varios meses o incluso años para observar una disminución significativa en los niveles sanguíneos de plomo, incluso tras la eliminación total de la fuente de exposición. El 99% del plomo en la sangre está asociado con los eritrocitos; el 1% restante está presente en el plasma, donde se encuentra disponible para ser transportado a los tejidos. El plomo en la sangre que no se retiene se excreta a través de los riñones o del aclaramiento biliar al tracto gastrointestinal. En estudios de exposición única en adultos, el plomo muestra una semivida en sangre de aproximadamente 25 días; en los

tejidos blandos, de unos 40 días; y en la porción no lábil de los huesos, de más de 25 años ⁽¹³⁾.

3.4.4. Efectos Tóxicos por la contaminación con plomo

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.

El Plomo puede entrar en el feto a través de la placenta de la madre, Debido a esto puede causar serios daños al sistema nervioso y al cerebro de los niños por nacer, y los síntomas de la exposición al plomo incluyen cólicos, pigmentación de la piel y parálisis.

El organismo acumula este metal durante toda la vida y lo libera lentamente, por lo que incluso dosis pequeñas pueden producir, con el transcurso del tiempo, una intoxicación por plomo, pues de la carga corporal total de plomo depende el riesgo de efectos adversos. Los efectos biológicos del plomo son los mismos

independientemente de que entre en el organismo por inhalación o ingestión. El plomo interfiere con la función celular normal y con varios procesos fisiológicos.

- Efectos Neurológicos: El destino más sensible de intoxicación por plomo es el sistema nervioso. En niños, se han descrito deficiencias neurológicas con niveles de exposición que antes no se consideraban nocivos. Además de la falta de un umbral preciso, la toxicidad del plomo en la infancia puede tener efectos permanentes. Un estudio demuestra que el daño al sistema nervioso central (SNC) como consecuencia de la exposición al plomo a los 2 años de edad produce una deficiencia continua en el desarrollo neurológico, que se manifiesta como una puntuación de Coeficiente Intelectual más baja y una deficiencia cognitiva a la edad de 5 años.

- Efectos Hematológicos: El plomo inhibe la capacidad del organismo para producir hemoglobina al interferir con varios pasos enzimáticos en la vía metabólica del grupo "hemo". El plomo puede inducir dos tipos de anemia, la hemolítica y la que induce a anemia al interferir con la eritropoyesis y reducir la supervivencia de los eritrocitos. Cabe señalar, sin embargo, que la anemia no es una manifestación inicial de la intoxicación por plomo, sino que sólo se manifiesta cuando los niveles de plomo en sangre permanecen significativamente altos durante períodos prolongados.

- Efectos Endocrinos: Existe una correlación inversa clara entre los niveles de plomo en sangre y los niveles de vitamina D. Dado que en el sistema endocrino la vitamina D es responsable en gran parte del mantenimiento de la

homeostasis de calcio intracelular y extracelular, es probable que el plomo impida el crecimiento y la maduración celular y el desarrollo de huesos y dientes.

- Efectos renales: Un efecto directo de la exposición prolongada al plomo es la nefropatía, la alteración de la función de los túbulos proximales se manifiesta como aminoaciduria, glicosuria e hiperfosfaturia (un síndrome parecido al de Fanconi). También existen pruebas de una asociación entre la exposición al plomo y la hipertensión, un efecto que puede estar mediado por mecanismos renales. Puede desarrollarse gota como resultado de la hiperuricemia inducida por el plomo, y una disminución selectiva de la excreción fraccional de ácido úrico previa a una disminución del aclaramiento de creatinina. La insuficiencia renal es responsable del 10% de las muertes de pacientes con gota. ⁽¹⁰⁾

Los síntomas incluyen cambios de comportamiento y desorden en la concentración. El plomo se acumula en los tejidos, el tipo más severo de envenenamiento causa encefalopatía. La toxicidad del plomo tiene lugar cuando los iones de plomo reaccionan con grupos tiol en proteínas, como enzimas, y éstas se quedan activadas. Además el plomo puede interaccionar con otros iones metálicos. ⁽¹⁴⁾

El mecanismo tóxico del plomo está dado por tres modalidades:

- Compite con metales esenciales, especialmente el calcio y el zinc, en sus sitios de inserción.

- Afinidad por los grupos sulfidrilos (-SH) de las proteínas, lo que significa

alteración de la forma y función de ellas.

- Alteración del transporte de iones esenciales.

- Otros mecanismos de interferencia son la alteración (inhibición y estimulación) de la enzima sintetasa del ácido delta aminolevulínico (AAL-S) y la inhibición de

las enzimas de la transformación del coproporfirinógeno III en protoporfirina IX.

Todo esto se traduce clínicamente en diversos grados de anemia, cuando se

alcanzan niveles de plomo en sangre alrededor de 50 mg/dl ⁽¹⁴⁾.

El envenenamiento por plomo puede ser tratado por terapia de quelación que

es una técnica que consiste en la administración intravenosa de EDTA

(Ácido Etileno Diamino Tetracético) u otra sustancia como por ejemplo la penicilamina, más complejos polivitamínicos, poliminerales y anti-oxidantes en el organismo para el tratamiento de las diversas enfermedades causadas por los depósitos de calcio y la acumulación de metales pesados en las arterias.

Los agentes quelantes atrapan en su molécula los iones de minerales y metales bivalentes presentes en el sistema circulatorio, en las paredes de las arterias o en las articulaciones ⁽⁷⁾.

3.4.5. Método de determinación del plomo

El método que debe utilizarse para analizar plomo en cualquier tipo de muestra (ambientales como agua, aire y suelos o biológicas, como sangre, orina y pelo)

es por espectrometría de absorción atómica. ⁽¹⁾

3.5. Cadmio

3.5.1 Generalidades y Usos del cadmio

Las propiedades químicas y físicas del cadmio (Cd) son muy similares a las del zinc y con frecuencia coexiste con este metal en la naturaleza. En los minerales y las menas, la proporción de cadmio y zinc suele oscilar entre 1:100 a 1:1.000. El cadmio es muy resistente a la corrosión y se utiliza para su electrodeposición en otros metales, especialmente el acero y el hierro. Los tornillos, las tuercas de seguridad, los pestillos y diversas partes de los aviones y vehículos de motor están tratados con cadmio con el fin de protegerlos de la corrosión. Actualmente, sin embargo, sólo el 8 % de todo el cadmio refinado se utiliza para el galvanizado y los recubrimientos. Los compuestos de cadmio se utilizan también como pigmentos y estabilizadores de plásticos (30 % de su uso en los países desarrollados) y en ciertas aleaciones (3 %). Las baterías pequeñas, portátiles y recargables de cadmio que se utilizan, por ejemplo, en los teléfonos móviles representan un uso del cadmio cada vez mayor (en 1994, en los países desarrollados, el 55 % de todo el cadmio se utilizó en la fabricación de baterías).

Existen diversas sales de cadmio. La más importante es el estearato de cadmio, que se utiliza como estabilizador térmico en los plásticos de PVC (cloruro de polivinilo). El sulfuro de cadmio y el sulfoseleniuro de cadmio se utilizan como pigmentos amarillo y rojo en plásticos y tintes. El sulfuro de cadmio se utiliza también en células solares y fotográficas. El cloruro de cadmio se emplea como

fungicida, componente de los baños galvanoplásticos, colorante en pirotecnia, aditivo en las soluciones de estañado y mordente en la tinción e impresión de textiles. También se utiliza para la producción de determinadas películas fotográficas, para la fabricación de espejos especiales y para el recubrimiento de tubos electrónicos de vacío. El óxido de cadmio se utiliza como agente para galvanoplastia. Materia prima para los estabilizadores térmicos de PVC y componente de las aleaciones de plata, pigmentos fosforescentes y semiconductores, así como para el endurecimiento de cristales o el vitrificado de cerámica (4).

3.5.2 Principales vías de absorción del cadmio

La absorción gastrointestinal del cadmio ingerido es aproximadamente de un 2% a 6 % en condiciones normales, las personas que poseen pocas reservas de hierro en su organismo, lo que se traduce en una baja concentración de ferritina en el suero, pueden presentar una absorción mucho mayor, de hasta un 20 % de la dosis administrada. Además, se pueden absorber cantidades significativas de este metal por vía pulmonar, como consecuencia de la inhalación del humo de tabaco o por la exposición profesional al polvo de cadmio atmosférico. Se calcula que la absorción pulmonar del polvo de cadmio respirable inhalado es del 20% al 50 %. Tras la absorción, ya sea por vía digestiva o respiratoria, el cadmio se transporta al hígado, donde se inicia la producción de una proteína de bajo peso molecular que se une al cadmio, la metalotioneína. Se considera que de un 80% a 90 % de la dosis total de

cadmio que entra en el organismo se presenta unido a la metalotioneína. Esto evita que los iones de cadmio libres ejerzan su efecto tóxico. Es probable que exista un transporte continuo por vía hemática desde el hígado al riñón de pequeñas cantidades de metalotioneína unida al cadmio. El complejo metalotioneína - cadmio se filtra a través de los glomérulos a la orina primaria. Al igual que en el caso de otras proteínas y aminoácidos de bajo peso molecular, las células de los túbulos proximales reabsorben el complejo metalotioneína-cadmio de la orina primaria; en estas células, las enzimas digestivas degradan las proteínas en péptidos de menor tamaño y aminoácidos. Los iones de cadmio libres que se liberan tras la degradación de la metalotioneína inician una nueva síntesis de metalotioneína, que se une al cadmio y protege a la célula de los efectos sumamente tóxicos de los iones libres de cadmio. Se piensa que cuando se supera la capacidad de producción de metalotioneína en las células de los túbulos, se produce la insuficiencia renal. Los riñones y el hígado presentan las concentraciones de cadmio más elevadas, pues contienen cerca del 50 % de la carga corporal de cadmio. La concentración de cadmio en la corteza renal, antes de que se produzcan lesiones renales inducidas por este metal, es aproximadamente 15 veces superior a la concentración hepática. La eliminación del cadmio es muy lenta, y por ello se acumula en el organismo, aumentando su concentración con la edad y el tiempo de exposición. Tomando como base la concentración en un mismo

órgano a diferentes edades, se ha calculado que la semivida biológica del cadmio en el hombre oscila entre 7 y 30 años (4).

3.5.3 Efectos tóxicos por contaminación de cadmio

La inhalación de compuestos de cadmio en concentraciones en el aire superiores a 1 mg Cd/m^3 durante 8 horas o en concentraciones superiores durante períodos más cortos puede producir una neumonitis química y, en casos graves, edema pulmonar. Generalmente, los síntomas aparecen entre 1 a 8 horas después de la exposición y son similares a los de la gripe o la fiebre por humos de metales. Los síntomas más graves de la neumonitis química y del edema pulmonar pueden tener un período de latencia de hasta 24 horas. El fallecimiento puede sobrevenir después de 4 a 7 días. Pueden producirse exposiciones a concentraciones de cadmio en la atmósfera superior a 5 mg Cd/m^3 durante las operaciones de soldadura, corte al plasma o fundición de aleaciones de cadmio. La ingestión de bebidas contaminadas con cadmio en concentraciones superiores a 15 mg Cd/L produce síntomas de intoxicación alimentaria. Los síntomas son: náuseas, vómitos, dolor abdominal y ocasionalmente, diarrea. Las fuentes de contaminación de los alimentos pueden ser las cacerolas y sartenes recubiertos con esmalte a base de cadmio o soldaduras realizadas con cadmio que se utilizan en las máquinas expendedoras de bebidas calientes y frías. En los animales, la administración parenteral de cadmio en dosis superiores a 2 mg Cd/kg de peso corporal

produce necrosis testicular. Sin embargo, no se ha descrito este tipo de efectos en el hombre.

Se han producido casos de intoxicación crónica por cadmio tras exposiciones profesionales prolongadas a humos o polvo de óxido de cadmio y a estearatos de cadmio. Los cambios asociados con la intoxicación crónica por cadmio pueden ser locales, en cuyo caso se afectan las vías respiratorias, o sistémicos, debidos a la absorción de cadmio. Las alteraciones sistémicas incluyen lesiones renales, con proteinuria y anemia. Los principales síntomas derivados de la exposición a cadmio en el aire son los correspondientes a una neumopatía de carácter obstructivo, en forma de enfisema, en tanto que la insuficiencia y las lesiones renales constituyen las características más relevantes de las exposiciones prolongadas a niveles más bajos de cadmio en el aire, o de las intoxicaciones por alimentos contaminados con cadmio. En los trabajadores expuestos a niveles elevados de cadmio se encuentra frecuentemente una ligera anemia hipocrómica que podría deberse, por una parte, a un incremento de la destrucción de los hematíes y, por otra, a un déficit de hierro. Asimismo, en los casos de exposición a concentraciones muy elevadas de cadmio, pueden observarse manchas amarillas en los cuellos de las piezas dentarias y pérdida del sentido del olfato (anosmia). El enfisema pulmonar se considera un posible efecto de la exposición prolongada al cadmio existente en el aire cuando se encuentra en concentraciones superiores a $0,1 \text{ mg Cd/m}^3$. Se ha descrito que la exposición a concentraciones de aproximadamente $0,2 \text{ mg Cd/m}^3$ durante más

de 20 años puede producir ciertos efectos pulmonares. El enfisema pulmonar inducido por cadmio puede reducir la capacidad laboral y ser causa de invalidez y de acortamiento de la vida. En los casos de exposición de larga duración a niveles bajos de cadmio, los riñones son los órganos críticos, es decir, los primeros afectados. El cadmio se acumula en la corteza renal. Se calcula que las concentraciones superiores a 200 $\mu\text{g Cd/g}$ de peso en fresco producen disfunción de los túbulos renales y disminución de la reabsorción de las proteínas de la orina. Esto produce proteinuria tubular y un aumento en la excreción de proteínas de bajo peso molecular, como la α_1 -microglobulina (proteína HC), la β_2 -microglobulina y la proteína de unión al retinol (RTB). Estudios recientes indican, sin embargo, que puede producirse el daño tubular incluso con niveles inferiores de cadmio en la corteza renal. A medida que avanza la insuficiencia renal, también se pierden por la orina aminoácidos, glucosa y minerales, como el calcio y el fósforo. El aumento de la eliminación de calcio y fósforo puede alterar el metabolismo óseo y no es raro encontrar cálculos renales en los trabajadores expuestos a este metal. Tras la exposición prolongada a niveles medios elevados de cadmio, también pueden verse afectados los glomérulos renales, produciéndose una disminución en la tasa de filtración glomerular.

En casos graves, puede llegar a desarrollarse uremia. Estudios recientes muestran que la disfunción glomerular es irreversible y depende de la dosis (4).

3.5.4. Método de determinación del cadmio.

El método que debe utilizarse para analizar cadmio en cualquier tipo de muestra (ambientales como agua, aire y suelos o biológicas, como sangre, orina y pelo) es por espectrometría de absorción atómica. (1)

3.6. Prevalencia de Enfermedad Renal Crónica en Cinco Comunidades de El Salvador.

En la última década se ha observado un incremento de casos de Enfermedad Renal Crónica (ERC) en Centroamérica. Los casos encontrados no se encuentran relacionados con causas tradicionales tales como diabetes o hipertensión, se sospecha que las causas podrían ser de etiología ocupacional ó medioambiental, por ejemplo: agua contaminada y deshidratación. Este estudio compara la prevalencia de Enfermedad Renal Crónica (ERC) en cinco comunidades con diferente actividad económica y ubicación geográfica.

De las comunidades estudiadas, tres son productoras de caña de azúcar, dos de las cuales se encuentran en el área costera y la tercera a 500 msnm. La cuarta comunidad es productora de café a 1600 msnm y otra es urbana a 500 msnm. Para este estudio se realizó un examen de la función renal a 664 pobladores de las cinco comunidades los cuales se encontraban dentro del rango de edades de 20 a 60 años, dando como resultado dicho examen que la prevalencia de Enfermedad Renal Crónica en sus estadios iniciales es alta, siendo más común en los hombres; las comunidades más afectadas resultaron ser las comunidades productoras de caña ubicadas al nivel del mar. Se observó

que la comunidad en la cual los pobladores se encuentran menos afectados por Enfermedad Renal Crónica es la comunidad Caficultora ubicada a gran altitud ⁽⁸⁾

3.7 Descripciones Geográficas de las Zonas de Muestreo (anexo 5)

3.7.1 Municipio de Apastepeque

Municipio y distrito del departamento de San Vicente. Está limitado por los siguientes municipios: al Norte, por Santa Clara y San Esteban Catarina; al Este, por San Ildefonso; al Sur, por San Vicente y al Oeste, por San Esteban Catarina y San Cayetano Istephiaaeque. Se encuentra ubicado entre las coordenadas geográficas siguientes: 13°42'12" LN (extremo septentrional) y 13°37'04" LN (extremo meridional); 88°36'20" LWG (extremo oriental) y 88°47'57" LWG (extremo occidental).

3.7.2 Municipio de San Salvador

Municipio del distrito y departamento de San Salvador. Está limitado por los siguientes municipios: al Norte, por Cuscatancingo, Mejjicanos y Nejapa; al Este, por Soyapango, Delgado y San Marcos; al Sur, por San Marcos (Cantón San José Aguacatitán), y Panchimalco y al Oeste, por Antiguo Cuscatlán y Nueva San Salvador, (estos del departamento de la Libertad). Se encuentra ubicado entre las coordenadas geográficas siguientes: 13°45'15" LN (extremo septentrional) y 13°37'35" LN (extremo meridional); 89°09'41" LWG (extremo oriental), y 89°16'36" LWG (extremo occidental).

3.7.3 Municipio de Concepción de Ataco

El cantón Shucutitan pertenece al municipio de Concepción de Ataco, departamento de Ahuachapán. Concepción de Ataco esta limitado por los siguientes municipios al Norte por Ahuachapán; al Este por Apaneca y San Pedro Tuxtla; al Sur, por Guaimango y Jujutla y al Oeste por Tacuba. Se encuentra ubicado entre las coordenadas geográficas siguientes: 13°53'58" LN (extremo septentrional) y 13°47'28" LN (extremo meridional); 89°48'56" LWG (extremo oriental) y 89°54'44" LWG (extremo occidental).

Su clima es fresco y agradable, pertenece al tipo de tierra templada. La cabecera del municipio es la Vía de Concepción de Ataco, situada en una meseta de la Sierra Apaneca –Ilamatepec, a 1260 msnm.

El clima es cálido en su mayor parte, pertenece a los tipos de tierra caliente, tierra templada y tierra fría. La cabecera del municipio es la ciudad de San Salvador; está situado a 665 msnm.

3.7.4 Municipio de San Luis Talpa

Municipio del distrito de Olocuilta y departamento de la Paz. Está limitado por los siguientes municipios: al Norte, por Olocuilta, San Juan Talpa y Tapalhuaca; al Este por San Pedro Masahuat; al Sur, por el Océano Pacífico y al Oeste, por la Libertad (del departamento de La Libertad). Se encuentra ubicado entre las coordenadas geográficas siguientes: 13°30'00" LN (extremo septentrional) y 13°22'05" LN (extremo meridional) y 89°02'45" LWG (extremo oriental) y 89°09'27" LWG (extremo occidental).

El clima es cálido, pertenece al tipo de tierra Caliente. La cabecera de este municipio es la villa de San Luis Talpa, situada a 23.7 Km al W de la ciudad de Zacatecoluca y a 50 msnm.

3.7.5 Municipio de Jiquilisco

Municipio y distrito del departamento de Usulután. Está limitado por los siguientes municipios: al Norte, por San Agustín, San Francisco Javier y Ozatlán; al Este, por Ozatlán, Usulután y Puerto el Triunfo; al Sur, por el océano Pacífico y al Oeste, por Tecoluca (departamento de San Vicente). Se encuentra ubicado entre las coordenadas geográficas siguientes: 13°28'17" LN (extremo septentrional), 13°12'38" LN (extremo meridional); 88°30'38" LWG (extremo oriental) y 88°48'53" LWG (extremo occidental)

El Clima de este municipio es cálido, debido a la proximidad con la zona costera y pertenece al tipo de tierra caliente. La cabecera de este municipio es la ciudad de Jiquilisco, situado a 35msnm.

3.8. Valores Permisibles de Plomo, Cadmio y Mercurio para Agua de Consumo Humano

3.8.1. Norma Salvadoreña Obligatoria para la Calidad del Agua Potable (Anexo 6)

Cuadro N° 1: Valores Norma Salvadoreña NSO 13.07.01:04

Característica	Límite Permisible
Cadmio	0.003 mg/L
Mercurio	0.001 mg/L
Plomo	0.01 mg/L

3.8.2. Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Salud Ambiental, Agua para uso y consumo Humano - Límites Permisibles de Calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su Potabilización". (11)

Cuadro N° 2: Valores Norma Mexicana NOM-127-SSA1-1994

Característica	Límite Permisible
Cadmio	0.005 mg/L
Mercurio	0.001 mg/L
Plomo	0.025 mg/L

3.8.3. Normas Oficiales de Argentina para la Calidad del Agua, Disposiciones de la Ley 18284 ⁽¹³⁾

Cuadro N° 3: Valores Norma Argentina, Ley 18284

Característica	Límite permisible
Cadmio	0.005 mg/L
Mercurio	0.001 mg/L
Plomo	0.05 mg/L

3.9. Espectrofotometría de Absorción Atómica (AA). ^{(14), (18)}

La espectrofotometría de absorción atómica usa la adsorción de la luz para medir la concentración de la fase gaseosa de átomos. Ya que la mayoría de las muestras son sólidas o líquidas, los átomos o iones de los analitos deben ser vaporizados a la flama o en un horno de grafito.

Se utiliza comúnmente un nebulizador pre-quemador (o cámara de nebulización) para crear una niebla de la muestra y un quemador con forma de ranura que da una llama con una longitud de trayecto más larga.

La temperatura de la llama es lo bastante baja para que la llama de por sí no excite los átomos de la muestra de su estado fundamental.

El nebulizador y la llama se usan para desolvatar y atomizar la muestra.

3.9.1 Atomizadores Electrotérmicos

Una significativa mejora en la sensibilidad se logró con el calentamiento por resistividad en lugar de la flama. Un atomizador electrotérmico muy común, es conocido como horno de grafito, que consiste de un tubo cilíndrico de grafito de aproximadamente 1-3cm de longitud, y 3-8mm de diámetro. El tubo de grafito es alojado en un ensamble que sella las salidas del tubo con ventanas óptimamente transparentes. El ensamble también permite el paso de corrientes de gas inerte, protegiendo el grafito de la oxidación, y removiendo los productos gaseosos producidos durante la atomización.

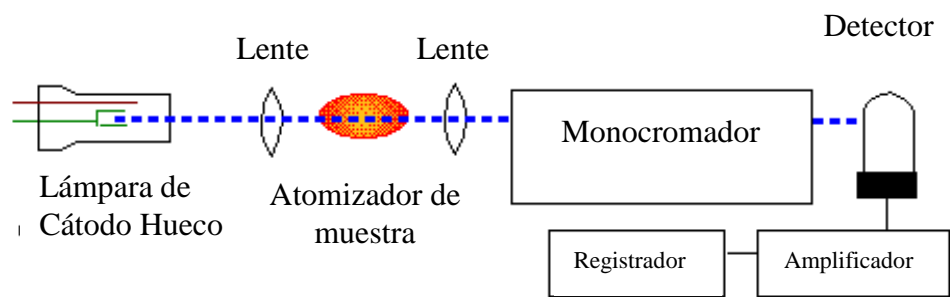


Fig. N° 1 Esquema de Espectrofotómetro de Absorción Atómica

CAPITULO IV
DISEÑO METODOLÓGICO

4.0. DISEÑO METODOLOGICO

4.1 Tipo de estudio

- **Transversal:** Debido a que se cuantifico la concentración de los metales plomo, cadmio y mercurio, en las muestras de agua, en un tiempo determinado, interesando estudiar el problema en ese momento.
- **Experimental:** Ya que los resultados se basan en los análisis químicos realizados en el Laboratorio de Servicios Analíticos de la Fundación Salvadoreña para la Investigación del Café (PROCAFE).

4.2 Metodología

La metodología se desarrollo en tres etapas.

- Investigación Bibliográfica.
- Investigación de Campo.
- Investigación de Laboratorio.

4.2.1. Investigación Bibliográfica

Realizada a través de consultas en las siguientes bibliotecas:

- Facultad de Química y Farmacia Universidad de El Salvador.
- Central de la Universidad de El Salvador.
- Universidad Centroamericana José Simeón Cañas.
- Internet.

4.2.2. Investigación de Campo

- **Universo:** Agua de consumo humano en cinco comunidades de El Salvador.

- **Muestra:** Cinco muestras con capacidad de un litro de agua, en cada una de las cinco comunidades de El Salvador (Ver Cuadro No 4).

-Recolección de Muestra:

Se realizaron tomas de muestra de agua de consumo humano en cinco comunidades, de El Salvador según estudio de prevalencia de ERC ⁽⁸⁾, donde se empleó el análisis y cuantificación de los metales pesados Plomo, Cadmio y Mercurio en los siguientes municipios:

Cuadro N°4: Descripción de las zonas por diferentes ubicación geográfica y recursos económicos de los municipios y cantones de muestreo en cinco comunidades de El Salvador según estudio de ERC ⁽⁸⁾.

ZONA	MUNICIPIO	CANTON	Nº DE MUESTRAS
Occidental (Dpto. Ahuachapán)	Concepción de Ataco (Café)	Cantón Shucutitan	5
Central (Dpto. Ahuachapán)	San Salvador (Urbana)	Reparto Santa Clara, Barrio San Jacinto	5
Paracentral (Dpto. La Paz y San Vicente).	San Luis Talpa (Caña Costa Semi Rural)	Casco Hacienda Santa Clara	5
	Apastepeque (Caña Altura)	Cantón Calderas	5
Oriental (Dpto. La Unión)	Jiquílisco (Caña Costa Rural)	Cantón Tierra Blanca	5
TOTAL			25

-Tipo de Muestreo

Las muestras de agua potable fueron tomadas de los grifos de algunas casas de las comunidades en estudio, el muestreo fue dirigido y puntual ya que este

se realizó en zonas específicas previamente establecidas en el período del mes de Abril del año 2009.

El tamaño total de la muestra fue de veinticinco de las cuales se recolectaron cinco muestras de agua, con capacidad de un litro, en cada una de las comunidades antes mencionadas.

4.2.3. Investigación de Laboratorio:

- Toma de Muestra ⁽⁷⁾:

Las muestras para análisis fisicoquímico se recolectaron en frascos de polietileno con capacidad de un litro y con cierre hermético.

Para la toma de muestra se prosiguió de la siguiente manera:

1. Abrir la válvula del grifo hasta alcanzar el flujo máximo dejando correr el agua durante uno o dos minutos.
2. Disminuir la intensidad del flujo de agua para la toma posterior de la muestra.
3. Desenroscar el tapón del frasco y enjuagar dos veces con el agua para ambientarlo.
4. Proceder a llenar el frasco completamente.
5. Tapar el frasco con el tapón hermético y rotular.
6. Colocar las muestras en hielera para preservarlas a temperatura de 4°C a 10°C para su posterior traslado.

Para el almacenamiento de las muestras estas no deben estar en botellas de vidrio de textura suave ya que se puede dar la posibilidad de contaminación debido a la lixiviación del vidrio; se deben utilizar botellas de cristal de borosilicato o botellas de polietileno lavadas previamente con una solución de ácido clorhídrico (1+1) y posteriormente con abundante agua desmineralizada. Se debe ajustar el pH de las muestras con un valor menor o igual a 2 con ácido nítrico para preservarlas.

- Cuantificación de plomo por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica por Horno de Grafito ⁽¹⁾ ($\lambda = 283.3\text{nm}$).

1. Correr el blanco y ajustar a cero el equipo
2. Realizar la curva de calibración con solución patrón (Ver anexo 7)
3. Leer la absorbancia
4. Enjuagar nebulizador con mezcla de HNO_3 /Agua (1.5mL/1mL)
5. Atomizar la muestra
6. Leer la absorbancia.
7. Realizar por duplicado

Para la elaboración de la curva de calibración, se tomaron concentraciones de 0.025ppm, 0.05ppm y 0.1ppm, con un límite de detección del espectrofotómetro de 0.05 ppm ⁽¹⁾. (Ver anexo 2)

- Cuantificación de cadmio por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica por Horno de Grafito ⁽¹⁾ ($\lambda = 228.8\text{nm}$).

1. Correr el blanco y ajustar a cero el equipo
2. Realizar la curva de calibración con solución patrón (Ver anexo 7)
3. Leer la absorbancia
4. Enjuagar nebulizador con mezcla de HNO_3 /Agua (1.5mL/1mL)
5. Atomizar la muestra
6. Leer la absorbancia.
7. Realizar por duplicado

Para la elaboración de la curva de calibración, se tomaron concentraciones de 0.025ppm, 0.05ppm y 0.1ppm, con un límite de detección del espectrofotómetro de 0.05 ppm ⁽¹⁾. (Ver anexo 2)

- Cuantificación de Mercurio por el método de espectrofotometría de Absorción Atómica por Formación de Hidruros ⁽¹⁾ ($\lambda = 253.7\text{nm}$).

1. Realizar la estandarización del equipo con las soluciones patrón de mercurio (Ver anexo No. 1 y 7)
2. A 100 mL de cada una de las soluciones patrón y un blanco añadir 5 mL de H_2SO_4 concentrado y agitar
3. Agregar a cada solución 2.5 mL de HNO_3 concentrado y 15 mL de solución de KMnO_4 , dejar reposar por 15 minutos

- 8.0 Añadir 8mL de solución de $K_2S_2O_8$ y calentar a $95\text{ }^\circ\text{C}$ durante dos horas en baño de María
5. Dejar enfriar a temperatura ambiente y agregar suficiente solución de Cloruro de Sodio - Sulfato de Hidroxilamina hasta reducir el exceso de $KMnO_4$
6. Agregar 5 mL de solución de $SnCl_2$
7. Aspirar cada una de las soluciones preparadas y realizar las lecturas de Absorbancia
8. Limpiar el sistema después de cada lectura con agua libre de metales
9. Transferir 100 mL de la muestra a un erlemeyer y tratar igual que las soluciones patrón
10. Aspirar la muestra y realizar la lectura de Absorbancia.
11. Realizar por duplicado.

Para la elaboración de la curva de calibración, se tomaron concentraciones de 0.03ppm, 0.05ppm y 0.1ppm, con un límite de detección del espectrofotómetro de 0.005 ppm ⁽¹⁾. (Ver anexo 2)




CAPITULO V
RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.0 RESULTADOS E INTERPRETACIÓN

A continuación se presentan los resultados obtenidos del análisis físico químico y estadísticos por absorción atómica y regresión lineal a un total de 25 muestras de agua de consumo humano en cinco comunidades de El Salvador, el cual consistió en la cuantificación de los metales plomo, cadmio y mercurio en agua potable, comparando los resultados posteriormente con los límites establecidos por la Norma Salvadoreña Obligatoria de Agua. Agua Potable NSO: 13.07.01:04. (Ver anexo 6 y 7)

Cuadro N° 5: Concentraciones de metales: plomo, mercurio y cadmio, en muestras de agua potable de consumo humano, recolectadas en cinco comunidades de El Salvador, con base a la ubicación geográfica y diferente actividad económica proporcionada por el estudio de prevalencia (ERC) ⁽⁸⁾. (Ver anexo 7).

Metal y Norma (NSO: 13.07.01:04)	Zonas	Comunidad	M1 mg/L	M2 mg/L	M3 mg/L	M4 mg/L	M5 mg/L
Plomo 0.01 mg/L	1	Canton Calderas	0.0148	0.0161	0.0188	0.0170	0.0186
	2	Tierra Blanca	0.0146	0.0132	0.0162	0.0172	0.0167
	3	Hacienda Santa Clara	0.0152	0.0195	0.0192	0.0212	0.0263
	4	Canton Shucutitan	0.0130	0.0133	0.0095	0.0185	0.0098
	5	Reparto Santa Clara	0.0176	0.0141	0.0145	0.0247	0.0344
Mercurio 0.001 mg/L	1	Canton Calderas	0.0011	0.0014	0.0049	<0.0005	0.0088
	2	Tierra Blanca	0.0050	<0.0005	0.0099	<0.0005	0.0011
	3	Hacienda Santa Clara	0.0045	0.0081	0.0094	0.0091	0.0013
	4	Canton Shucutitan	<0.0005	<0.0005	0.0013	<0.0005	<0.0005
	5	Reparto Santa Clara	<0.0005	0.0022	0.0031	<0.0005	0.0048
Cadmio 0.003 mg/L	1	Canton Calderas	0.0030	0.0032	0.0035	0.0025	0.0036
	2	Tierra Blanca	0.0016	0.0020	0.0016	0.0017	0.0022
	3	Hacienda Santa Clara	0.0019	0.0031	0.0031	0.0021	0.0024
	4	Canton Shucutitan	0.0015	0.0018	0.0016	0.0017	0.0019
	5	Reparto Santa Clara	0.0022	0.0021	0.0020	0.0025	0.0028

-  En amarillo se marca las mayores concentraciones que superan el límite establecido por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO: 13.07.01:04 Agua. Agua Potable.
-  En verde se marca las menores concentraciones que no superan el límite establecido por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO: 13.07.01:04 Agua. Agua Potable.
-  En celeste se marca las concentraciones que se encuentran fuera del límite de detección del aparato de AA.

En el cuadro N° 5, Se muestran los datos experimentales obtenidos de plomo, mercurio y cadmio en agua potable de consumo humano, en cada una de las comunidades muestreadas de nuestro país y se determinó los que presentan mayor concentraciones entre las comunidades son: Reparto Santa Clara (San Jacinto), con una concentración en plomo de 0.0344 ppm, mercurio la comunidad con mayor concentración es Tierra Blanca (Jiquilisco) con un valor de 0.0099 ppm, y en el caso de cadmio la comunidad Calderas (Apastepeque), presenta mayor concentración de 0.0036 ppm, y el que presenta menor concentración en los tres metales en estudio es el Canton Shucutitan (Ataco) (Ver cuadro N° 5).

Siendo sus límites según Normas Salvadoreñas Obligatorias para la Calidad del Agua. Agua Potable NSO: 13.07.01:04 para Plomo 0.01 mg/L, Mercurio 0.001 mg/L y Cadmio 0.003 mg/L respectivamente.




Para las concentraciones no detectadas por ser menores al límite de detección del equipo se representan de color celeste (Ver cuadro N° 5), se hace uso del método de llenado de valores haciendo uso de la Desviación Geométrica Estándar (DGS) ⁽⁹⁾ (Ver cuadro N° 6). Posteriormente se calculan los valores para llenar el cuadro de acuerdo al método de llenado. (Ver anexo N° 8).

Cuadro N° 6: Correcciones de las concentraciones de mercurio de valores considerados como no detectados (<0.0005), por el espectrofotómetro (AA) utilizando el método estadístico de Desviación Geométrica Estándar (Ver anexo N° 8)⁽⁹⁾

Comunidad	Mercurio (DGS)
Cantón Calderas	1.42
Tierra Blancal	1.63
Hacienda Santa Clara	1.4
Cantón Shucutitan	N/A
Reparto Santa Clara	1.5

Cuadro N°7: Concentraciones corregidos de metales: Plomo, Mercurio y Cadmio, en muestras de agua potable, de consumo humano, por comunidad, recolectados en base al estudio de prevalencia para ERC ⁽⁸⁾.

Metal y Norma (NSO: 13.07.01: 04)	Zonas	Comunidad	M1 mg/L	M2 mg/L	M3 mg/L	M4 mg/L	M5 mg/L
Plomo 0.01 mg/L	1	Canton Calderas	0.0148	0.0161	0.0188	0.0170	0.0186
	2	Tierra Blanca	0.0146	0.0132	0.0162	0.0172	0.0167
	3	Hacienda Santa Clara	0.0152	0.0195	0.0192	0.0212	0.0263
	4	Canton Shucutitan	0.0130	0.0133	0.0095	0.0185	0.0098
	5	Reparto Santa Clara	0.0176	0.0141	0.0145	0.0247	0.0344
Mercurio 0.001 mg/L	1	Canton Calderas	0.0011	0.0014	0.0049	0.0007	0.0088
	2	Tierra Blanca	0.0050	0.0007	0.0099	0.0007	0.0011
	3	Hacienda Santa Clara	0.0045	0.0081	0.0094	0.0091	0.0013
	4	Canton Shucutitan	<0.0005	<0.0005	0.0013	<0.0005	<0.0005
	5	Reparto Santa Clara	0.0007	0.0022	0.0031	0.0007	0.0048
Cadmio 0.003 mg/L	1	Canton Calderas	0.0030	0.0032	0.0035	0.0025	0.0036
	2	Tierra Blanca	0.0016	0.0020	0.0016	0.0017	0.0022
	3	Hacienda Santa Clara	0.0019	0.0031	0.0031	0.0021	0.0024
	4	Canton Shucutitan	0.0015	0.0018	0.0016	0.0017	0.0019
	5	Reparto Santa Clara	0.0022	0.0021	0.0020	0.0025	0.0028

-  En amarillo se marca las mayores concentraciones que superan el límite establecido por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO: 13.07.01:04 Agua. Agua Potable.
-  En verde se marca las menores concentraciones que no superan el límite establecido por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO: 13.07.01:04 Agua. Agua Potable.
-  En celeste se marca las concentraciones que se encuentran fuera del límite de detección del aparato de AA.

En el cuadro N° 7, se muestran los datos experimentales obtenidos de plomo, mercurio, cadmio, y los valores ya corregidos de las concentraciones de mercurio, por el método anteriormente explicado, la comunidad Shucutitan no es posible realizar las correcciones ya que se presenta cuatro datos de cinco que se encuentran fuera del límite de detección del espectrofotómetro (AA), ya que para aplicar este método se requieren al menos dos valores dentro del rango normal.

Cuadro N°8: Medias Aritméticas y Desviación estándar de las concentraciones de los metales: Plomo, Mercurio y Cadmio en agua potable de consumo humano por comunidad registrada según zona geográfica de diferente actividad económica guiada por el estudio de prevalencia (ERC) ⁽⁸⁾

Comunidad	Plomo (mg/L)		Mercurio (mg/L)		Cadmio (mg/L)	
	Media	(DS)	Media	(DS)	Media	(DS)
Cantón Calderas	0.0171	(0.0017)	0.0032	(0.0036)	0.0032	(0.0004)
El Paraíso, Tierra Blanca	0.0156	(0.0016)	0.0035	(0.0043)	0.0018	(0.0003)
Hacienda Santa Clara	0.0203	(0.0040)	0.0065	(0.0035)	0.0025	(0.0006)
Cantón Shucutitan	0.0128	(0.0036)	0.0003	(0.0006)	0.0017	(0.0002)
Reparto Santa Clara	0.0211	(0.0086)	0.0023	(0.0021)	0.0023	(0.0003)

En el cuadro N° 8, se calculó la media aritmética y desviación estándar de las concentraciones de cada uno de los metales en estudio, por comunidad, con la finalidad de representar los resultados gráficamente comparándolos con los

límites permitidos por la Norma Salvadoreña Obligatoria para la Calidad del Agua. Agua Potable NSO: 13:07.01:04.



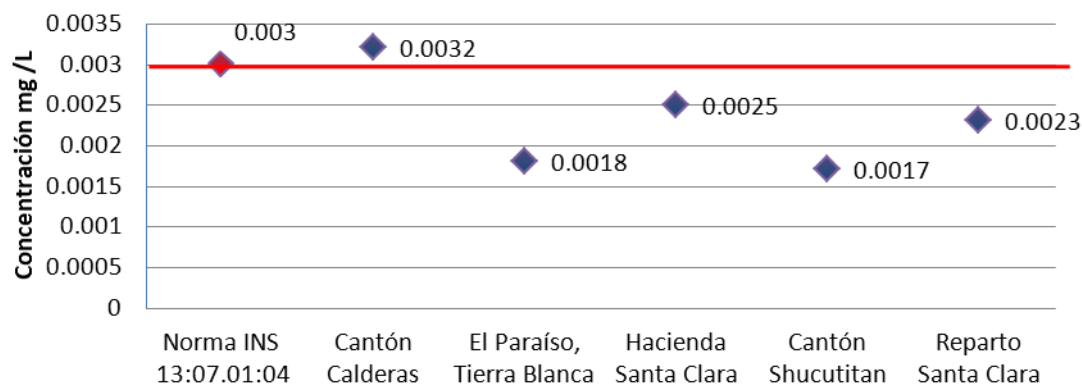
Fig. N°2: Gráfica de las medias de concentraciones de Plomo (mg/L) relacionadas con las diferentes comunidades en estudio y comparada con la Norma Salvadoreña de Agua. Agua Potable NSO: 13:07.01:04.

En la figura N° 2, se muestra que El Reparto Santa Clara de la zona urbana de San Jacinto, en San Salvador, es el que presenta mayor índice de concentración de plomo (0.0211 mg/L), en muestras de agua de consumo humano, y la comunidad de Shucutitan, Ataco (Ahuachapán), caracterizado por siembras de café, es la que presenta menor contaminación de plomo (0.0128 mg/L), si el límite establecido para la concentración de plomo es de 0.01mg/L según la Norma Salvadoreña Obligatoria para la Calidad del Agua. Agua Potable NSO: 13:07.01:04, (Ver anexo N° 6), todas las comunidades exceden el límite establecido por la norma NSO: 13:07.01:04 para el metal evaluado.



Fig. N° 3: Gráfica de las medias de concentraciones de Mercurio (mg/L) relacionadas con las diferentes comunidades en estudio y comparada con la Norma Salvadoreña de Agua. Agua Potable NSO: 13:07.01:04.

La figura N° 3, muestra que la comunidad que presenta mayor presencia de mercurio, es Casco de Hacienda Santa Clara, San Luis Talpa, (La Paz), caracterizado por producción de Caña, costa semi-rural, (0.0065 mg/L) y la zona que presenta menor índice de concentración de mercurio es el Cantón Shucutitan, Ataco (Ahuachapán) productor de café (0.0003 mg/L), que se mantiene dentro de los límites permitidos según la Norma Salvadoreña Obligatoria para la Calidad del Agua. Agua Potable NSO: 13:07.01:04 (ver anexo N° 6), que es de 0.001 mg/L, en todas las comunidades a excepción del Cantón Shucutitan se exceden la concentración permitida para el metal por la norma NSO:13:07.01:04.



Comunidades

Fig. N° 4: Gráfica de las medias de concentraciones de Cadmio (mg/L) relacionadas con las diferentes comunidades en estudio y comparada con la Norma Salvadoreña de Agua. Agua Potable NSO: 13:07.01:04.

La figura N° 4, muestra que el Cantón Calderas, Apastepeque, (San Vicente), reconocido por su producción de caña, es el que contiene mayor concentración de Cadmio (0.0032 kg/L) y el Cantón Shucutitan, Ataco, (Ahuachapán) es el que mantiene a este contaminante en menor concentración (0.0017kg/L), y se determinó que todos se encuentran dentro del límite establecido a excepción del Cantón Calderas, ya que se encuentran dentro del límite establecido por la Norma Salvadoreña Obligatoria para la Calidad del Agua. Agua Potable NSO: 13:07.01:04 (Ver anexo N° 6), que es de 0.003 mg/L.

Análisis de los metales: Plomo, Mercurio y Cadmio por el método estadístico de Regresión Lineal utilizando el programa estadístico SPSS.

Para efecto de analizar el impacto de las concentraciones de los metales en las comunidades, se realizó Regresión Lineal, con el programa estadístico **Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)** ⁽²¹⁾, La regresión y los análisis de correlación nos muestran como determinar la naturaleza y la fuerza de una relación entre dos variable ^{(20), (22),(23)}.

Un análisis de regresión lineal, tiene como fin determinar la significancia de incidencia entre los valores, tomando en cuenta el parámetro de la norma, si el valor de significancia es menor de 0.05 las variables tiene incidencia o relación una con otra, el valor de beta indica la tendencia a linealidad entre las variables y si es proporcionalmente directa o no representada por signos positivo o negativo ⁽²²⁾. (Ver anexo N° 8)

Se ordenan por nivel de riesgo existente en padecer enfermedades renales, tomando como base el Estudio de Prevalencia de Enfermedad Renal Crónica ⁽⁸⁾

Cuadro N° 9: Valor asignado de menor a mayor riesgo de contaminación de metales plomo, mercurio y cadmio por cada comunidad.

Comunidad	Valor de Riesgo Asignado
Cantón Shucutitan	0
Cantón Calderas	1
Reparto Santa Clara	2
Casco de la Hacienda Santa Clara	3
Cantón Tierra Blanca	4

Se muestra la codificación asignada al realizar el proceso de regresión lineal, en el programa SPSS este orden lógico de menor a mayor riesgo por comunidad, y es necesario debido a que en dicho programa se deben de codificar variables como sexo, edad, todas las variables independientes existentes en el estudio (22). (Ver anexo N° 8).

Cuadro N° 10: Se muestran la incidencia de los metales contaminantes de: Plomo, Mercurio y Cadmio con respecto al riesgo de ubicación del sector geográfico de las comunidades, el análisis estadístico se realizó por regresión lineal, utilizando el programa SPSS (22) (Ver anexo 8)

Variables		Beta	Significancia
Independiente	Dependiente		
Comunidad por Riesgo	Plomo	-0.261	0.067
Comunidad por Riesgo	Mercurio	0.041	0.794
Comunidad por Riesgo	Cadmio	0.136	0.346

El cuadro N° 10, Se determinó que en el caso del Plomo, el valor de beta es negativo, indicando una relación inversa entre las variables, entre mayor es la cantidad de plomo acumulado en agua, menor es el riesgo de vivir en la comunidad, debido a esta relación el punto sale de la linealidad. Para mercurio y cadmio la tendencia es directa en su relación con las variables, a mayor cantidad de concentración de los metales, mayor es el riesgo de vivir en la comunidad, debido a que el valor de significancia es mayor de 0.05, el valor que da β (beta) no es significativo y no se deben tomar en cuenta para un análisis concluyente.

En la última década se ha observado un incremento de casos de Enfermedad Renal Crónica (ERC) en Centroamérica. Los casos encontrados no se encuentran relacionados con causas tradicionales tales como diabetes o hipertensión, se sospecha que las causas podrían ser de etiología ocupacional ó medioambiental, por ejemplo: agua contaminada y deshidratación. Este estudio compara la prevalencia de Enfermedad Renal Crónica (ERC) en cinco comunidades con diferente actividad económica y ubicación geográfica.

Para este estudio se realizó un examen de la función renal a 664 pobladores de las cinco comunidades los cuales se encontraban dentro del rango de edades de 20 a 60 años, dando como resultado dicho examen que la prevalencia de Enfermedad Renal Crónica en sus estadios iniciales es alta ⁽⁸⁾.

Por lo que se ve necesario darle mayor aplicabilidad a los resultados obtenidos de las concentraciones de los metales contaminantes en muestras de agua potable, con respecto a las concentraciones de creatinina en sangre de la población que habita en dichas comunidades, obteniéndose los resultados siguientes (Ver anexo N° 8).

Cuadro N° 11: Se muestra la incidencia entre los contaminantes Plomo, Mercurio y Cadmio con respecto a la creatinina en sangre según estudios de prevalencia ERC, el método estadístico se realizó por regresión lineal, utilizando el programa SPSS (22). (Ver anexo 8).

Variables		Hombres		Mujeres	
Independiente	Dependiente	Beta	Significancia	Beta	Significancia
Plomo	Creatinina	-0.279	0.177	-0.323	0.115
Mercurio	Creatinina	-0.051	0.825	0.081	0.727
Cadmio	Creatinina	0.218	0.295	0.267	0.197
Plomo/Mercurio	Creatinina	-0.132	0.584	-0.245	0.304
		-0.029	0.904	0.122	0.604
Plomo/Cadmio	Creatinina	-0.447	0.043	-0.526	0.014
		0.405	0.065	0.486	0.021
Mercurio/Cadmio	Creatinina	-0.198	0.314	-0.048	0.815
		0.631	0.004	0.557	0.013

En amarillo se marcan los valores significativos que tiene una relación estadística de incidencia directa de los metales sobre la creatinina.

- Para el sexo masculino, el plomo y mercurio, representan en beta individualmente, una relación inversa con respecto a la concentración de creatinina en sangre, y no presentan significancia, para cadmio muestra una relación directa a medida aumenta la concentración de cadmio, aumenta la concentración de creatinina en sangre, pero no presenta significancia en su resultado.
- Para el sexo femenino el metal plomo, presenta una relación inversa entre sus variables y no muestra significancia en su resultado, para mercurio y cadmio, presenta una relación directa pero sin que exista significancia entre sus variables.
- Posteriormente analizamos los resultados haciendo mezcla de las variables independientes, para saber cómo interactúan los metales en su efecto sobre la creatinina, potenciando o no el efecto.

- Al aplicar al programa SPSS y combinamos dos variables independientes en estudio, plomo y mercurio las concentraciones de los metales siguen siendo insignificantes en su efecto sobre la creatinina, tanto para hombres como para mujeres ya que el valor sobrepasa de su límite de significancia que es de 0.005.

- Para el caso de plomo y cadmio, en hombres y mujeres se determinó que la significancia para los dos metales aumenta considerablemente ya que su valor de significancia es menor de 0.005, lo que significa que si, afecta la diferencia de sexo para poder absorber en mayor cantidad o no el metal, siendo las mujeres en general las que logran absorber en mayor grado que los hombres⁽⁸⁾ y se observa en la elevación de concentración de creatinina en sangre, beta para el plomo es negativo siendo señal de la relación inversa en su proporción con respecto a la concentración de creatinina, mientras que beta para el cadmio es positiva o directamente proporcional con respecto a la concentración creatinina.

- En la mezcla de variables mercurio/cadmio, solamente el valor de cadmio es directamente proporcional entre las concentraciones de mercurio y se observa un elevado aumento de la concentración de creatinina en sangre, ya que tiene una significancia alta tanto para hombres como mujeres por ser menor de 0.005.

CAPITULO VI
CONCLUSIONES

6.0 CONCLUSIONES

1. De las cinco comunidades evaluadas la comunidad con mayor concentración de Plomo es la zona urbana del Reparto Santa Clara, San Jacinto con una media de 0.0211mg/L y la comunidad que presenta la menor concentración es Shucutitan en la zona de Ataco, con una media de 0.0128 mg/L.
2. La comunidad de La Hacienda Santa Clara en San Luis Talpa, presenta mayor concentración de Mercurio con una media de (0.0065 ppm) y la comunidad de Shucutitan de Ataco, presenta la menor concentración de mercurio (0.0003ppm)
3. La comunidad de Shucutitan en Ataco, en el análisis de cadmio en agua de consumo humano es el que presenta menor concentración (0.0017 ppm) y el que muestra mayor concentración en su promedio es la comunidad del Cantón Calderas en Apastepeque (0.0032 ppm).
4. Ninguna de las comunidades en estudio cumple con el límite establecido para plomo y la Norma Salvadoreña Obligatoria para la Calidad del Agua. Agua Potable NSO: 13:07.01:04
5. El Cantón Shucutitan de Ataco, no cumplen con el límite establecido de la concentración de mercurio por la Norma Salvadoreña Obligatoria para la Calidad del Agua. Agua Potable NSO: 13:07.01:04.

6. La comunidad Cantón Calderas de Apastepeque, para el caso del cadmio, supera el límite establecido por la Norma Salvadoreña Obligatoria para la Calidad del Agua. Agua Potable NSO: 13:07.01:04.
7. Al relacionar el riesgo de las comunidades en estudio con respecto a los metales individualmente, y aplicar regresión lineal por el método SPSS, no se observa incidencia entre las variables, debido a que el número de muestras analizadas no es lo suficientemente representativa para demostrar cómo cada metal por si solo es un riesgo para la salud humana.
8. El efecto de las concentraciones de cadmio sobre las concentraciones de creatinina en sangre tanto en hombre como en mujer se potencializa en proporcionalidad directa y alta significancia, al analizarse en conjunto los metales en estudio, pero en mayor cantidad las concentraciones de plomo y mercurio; esto implica que las concentraciones de los metales en agua de consumo es una de las causas de enfermedad renal crónica en el país.

CAPITULO VII
RECOMENDACIONES

7.0 RECOMENDACIONES

1. Que la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), en conjunto con la Universidad de El Salvador (UES) y el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS), establezcan un convenio para la creación de un sistema de vigilancia y realizar monitoreos en las comunidades estudiadas con respecto a la contaminación de metales pesados plomo, mercurio y cadmio ya que muchas sobre pasan el límite establecido por la Norma Salvadoreña para la Calidad de Agua. Agua Potable NSO: 13:07.01.04.
2. Hacer del conocimiento público los resultados de esta investigación por medio de campus universitarios para que tomen las medidas necesarias para el bienestar de las familias que habitan estas comunidades.
3. Que la Universidad de El Salvador (UES), por medio de la Facultad de Química y Farmacia realicen proyectos involucrando a sus estudiantes para que monitoreen el agua potable de estas comunidades y así propongan medidas para poder evitar seguir dañando la salud de sus habitantes.
4. Qué en investigaciones posteriores se incremente el número de muestras a analizar por comunidad estudiada, con el objetivo de obtener mejores resultados estadísticos de regresión lineal, respecto a la relación de las concentraciones de los metales en agua y el riesgo de padecer enfermedad renal crónica en las comunidades.

BIBLIOGRAFÍA

1. APHA, AWWA, WEF (Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales), Ediciones Díaz de Santos, S.A., 1992, Madrid, España.
2. Bonilla G, Estadística Elemental, Editorial UCA, vol.20, 1995, capítulo 6, página 19 –207.
3. CONACYT (Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología), Norma Salvadoreña Obligatoria para la Calidad del Agua Potable, COSUDE, 1ª Edición, 1999.
4. Gunnar N. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo, Capítulo 63.
5. Garcia T., “End - stage renal disease among patients in a referral hospital in El Salvador” Rev. Panama Salud Publica. 2002 Sep; 12(3):202-6. Spanish. PMID: 12396639
6. Jiménez C. 2004, Validación de método para la determinación de mercurio en ríos de la Zona Metropolitana de San Salvador por Espectrofotometría Ultravioleta – Visible.
7. OMS (Organización Mundial de la Salud) Guía para el Control de Calidad de Aguas, 3ª edición, 1985.
8. Peraza S., Abstracts Book of the Epicoh Neureoh Conference Multiple Exposures, Multiple Effects; 2008; “Prevalence of Chronic Kidney Disease in Five Communities of El Salvador”; Heredia, Costa Rica; 164

9. Modern Industrial hygiene, Volúmen 1, 2nd edition, Jimmy L. Perkins, University of Texas, Health Science Center, Houston, School of Public Health, San Antonio Regional Campus. ACGIH, Lincinate, Ohio, USA, 2008, pág # 444.
10. <http://al-quimicos.blogspot.com/2007/05/toxicidad-del-plomo.html>
11. www.anpdapac.com.mx/pdf%20y%20docs/normas/127SSA14.pdf
12. <http://www.aula21.net/Nutriweb/agua.htm>
13. <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacg/e/normas2/Norma-Arg.pdf>
14. http://es.wikipedia.org/wiki/Espectroscopia_de_absorci%C3%B3n_at%C3%B3mica
15. <http://es.wikipedia.org/wiki/Plomo>
16. <http://www.lenntech.com/espanol/plomo-y-agua.htm>
17. <http://www.un.org/spanish/events/waterday/2005/>
18. <http://pdf.rincondelvago.com/espectroscopia-de-absorcion-atmica.html>
19. <http://www.infodoctor.org/www/meshc15.htm?idos=12902>
20. <http://es.wikipedia.org/wiki>
21. <http://www.entradagratis.com/DatoMuestra.php?ld=23118>
22. <http://html.rincondelvago.com/regresion-lineal-simple.html>
23. <http://es.wikipedia.org/wiki/SPSS>
24. <http://www.bing.com/search?q=curso+de+estadistica+SEQC&go=&form=QBRE&filt=>

25. http://www.fisicanet.com.ar/matematica/estadisticas/ap07_regresion_y_correlacion.php
26. http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/mayter/docencia/regresion/tema5.pdf
27. <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/127ssa14.html>

GLOSARIO (14), (15), (16), (17), (22), (23)

Aminoaciduria: Es una presencia anormal en la cantidad de aminoácidos en la orina.

Anemia Hemolítica: La anemia hemolítica es una afección en la cual hay un número insuficiente de glóbulos rojos en la sangre y es ocasionada por la destrucción prematura de éstos.

Anemia Hipocrómica: Anemia caracterizada por una disminución en la relación del peso de la hemoglobina con el volumen del eritrocito, es decir, la concentración hemoglobínica corpuscular media es inferior a lo normal; las células individuales contienen menos hemoglobina que la que podrían tener en condiciones óptimas.

Anosmia: pérdida o disminución del sentido del olfato. Puede ser temporal como permanente.

Axón: es una prolongación filiforme de la célula nerviosa, a través de la cual viaja el impulso nervioso de forma unidireccional, y que establece contacto con otra célula mediante ramificaciones terminales.

Cancerígeno: Sustancia o agente que causa o favorece el desarrollo de Cáncer

Caquexia: es un estado de extrema desnutrición, atrofia muscular, fatiga, debilidad, anorexia en personas que no están tratando activamente de perder peso.

Encefalopatía: Es un daño al cerebro y al sistema nervioso que se presenta como una complicación de trastornos hepáticos. Este trastorno causa diferentes síntomas neurológicos, incluyendo cambios en los reflejos, cambios en el estado de conciencia y cambios en el comportamiento, que pueden fluctuar de leves a graves.

Eritropoyesis: es una hormona glicoproteica. En los seres humanos, es producida principalmente por el riñón (90%)

Ferritina: Es una proteína que se encuentra dentro de las células y que almacena hierro de manera que el cuerpo lo pueda usar posteriormente.

Glicosuria: Presencia de glucosa en la orina la cual en condiciones normales no la contiene.

Hiperfosfaturia: Exceso en la eliminación renal, del fósforo como fosfato inorgánico.

Necrosis: Es la muerte de tejido corporal y ocurre cuando no llega suficiente sangre al tejido, ya sea por lesión, radiación o sustancias químicas. La necrosis es irreversible.

Necrosis Tubular: es un trastorno renal que involucra daño a las células de los túbulos renales, ocasionando una insuficiencia renal aguda.

Nefrona: Un nefrón o nefrona es la unidad estructural y funcional básica del riñón, responsable de la purificación de la sangre. Su función principal es filtrar la sangre para regular el agua y las sustancias solubles, reabsorbiendo lo que es necesario y excretando del resto como orina.

Nefrotóxico: Sustancia o agente Tóxico o destructivo para el Riñón.

Neurona: Son células excitables especializadas en la recepción de estímulos y conducción del impulso nervioso. Está formada por un cuerpo celular y diferentes prolongaciones. Está encargada principalmente de transmitir el flujo nervioso.

Neurotóxico: tóxico o destructor del tejido nervioso sustancia que por vía química transmite impulsos nerviosos.

Proteinuria: La proteinuria es la presencia de proteína en la orina en cantidad superior a 150 mg en la orina de 24 horas, esta puede ser transitoria, permanente, ortostática, monoclonal o de sobrecarga.

Teratógeno: Teratógeno (del griego *teratos*, 'monstruo', y *genes*, 'nacido'), sustancia o agente del medio exterior que puede producir deformidades en un feto si es absorbida por la madre durante el embarazo

Análisis de Regresión: Es un procedimiento estadístico que estudia la relación funcional entre variables. Con el objeto de predecir una en función de la/s otra/s.

Diagrama de Dispersión: Es un gráfico que muestra la intensidad y el sentido de la relación entre dos variables de interés.

Variable dependiente (respuesta, predicha, endógena): es la variable que se desea predecir o estimar

Variables independientes (predictivas, explicativas exógenas): Son las variables que proveen las bases para estimar.

Regresión simple: interviene una sola variable independiente

Regresión múltiple: intervienen dos o más variables independientes.

Regresión lineal: la función es una combinación lineal de los parámetros.

Regresión no lineal: la función que relaciona los parámetros no es una combinación lineal

ANEXOS

ANEXO N° 1

PREPARACION DE REACTIVOS

PREPARACIÓN DE REACTIVOS ⁽¹⁾

Solución Patrón de Plomo: Disolver 0.1598g de nitrato de plomo en una cantidad mínima de HNO₃ 1+1, adicionar 10ml de HNO₃ concentrado y diluir con agua hasta 1000ml.

Solución Patrón de Cadmio: Disolver 0.100 g de Cadmio metálico en 4 ml de HNO₃ concentrado añadir 8.0 mL más de HNO₃ concentrado y diluir con agua hasta 1000ml. (1,000 mL = 100 µg Cd).

Solución patrón de Mercurio: Disolver 1.354 g de cloruro de mercurio en aproximadamente 700 mL de agua. Añadir 10 mL de HNO₃ concentrado y dilúyase con agua hasta 1000 mL.

Solución de permanganato potásico: Disolver 50 g de KMnO₄ en agua y diluir hasta 1L.

Solución de persulfato potásico: Disolver 50 g de K₂S₂O₈ en agua y diluir hasta 1 L.

Solución de Cloruro de Sodio - Sulfato de hidroxilamina: Disolver 120 g de NaCl y 120 g de (NH₂OH)₂·H₂SO₄ en agua y diluir hasta 1 L.

Solución de cloruro estannoso: Disolver 100g de SnCl_2 en agua que contenga HCl concentrado y dilúyase hasta 1.0 L. Esta solución se descompone con el tiempo. Si forma suspensión, agítase continuamente el reactivo durante su uso.

ANEXO N° 2
PROCEDIMIENTOS DE ESTANDARES DE PLOMO, MERCURIO
Y CADMIO

TECNICAS PARA LA PREPARACION DE CURVAS ⁽¹⁾

Plomo

Curva patrón de Plomo en agua por el método espectrofotométrico de absorción atómica en horno de grafito

Preparar la curva a partir de una solución de trabajo de 100 mg/L de plomo (Ver anexo 1) y se realizó la preparación de la siguiente forma:

- Tomar 10.0mL de la solución estándar de 1000 mg/L de plomo y llevar a volumen de 100.0mL con agua destilada.
- La curva patrón de plomo se prepara a las siguientes concentraciones 0.025mg/L, 0.050mg/L y 0.1 mg/L y se lleva a volumen final de 100.0mL con agua destilada.

Cadmio

Curva patrón de Cadmio en agua por el método espectrofotométrico de absorción atómica en horno de grafito.

Preparar la curva a partir de una solución de trabajo de 100 mg/L cadmio (Ver anexo 1) y se realiza la preparación de la siguiente forma:

- Tomar 10.0mL de la solución estándar de 1000 mg/L de cadmio y se lleva a volumen de 100.0mL con agua destilada.
- La curva patrón de Cadmio se prepara a las siguientes concentraciones 0.025mg/L, 0.050mg/L y 0.1 mg/L y se lleva a volumen final de 100.0mL con agua destilada.

Mercurio

Curva patrón de Mercurio en agua por el método espectrofotométrico de absorción atómica por la formación de hidruros.

Preparar la curva a partir de una solución de trabajo de 100 mg/L de mercurio

(Ver anexo 1) y se realiza la preparación de la siguiente forma:

- Tomar 10.0mL de la solución estándar de 1000 mg/L de mercurio y se lleva a volumen de 100.0mL con agua destilada.
- La curva patrón de mercurio se prepara en las siguientes concentraciones 0.030mg/L, 0.050mg/L y 0.1 mg/L. y se lleva a volumen final de 100.0mL con agua destilada.

Cálculo:

Tomando como ejemplo el esquema de preparación de la curva patrón para la determinación de Plomo.

Volumen inicial (V_1): 100mL

Concentración inicial (C_1): 0.025 ppm

Volumen final (V_2): 100mL

Concentración Final (C_2): ?

$$V_1C_1 = V_2C_2 \rightarrow C_2 = \frac{V_1C_1}{V_2} \rightarrow C_2 = \frac{(100mL)(0.025\text{ ppm})}{100mL} \rightarrow C_2 = 0.025\text{ ppm}$$

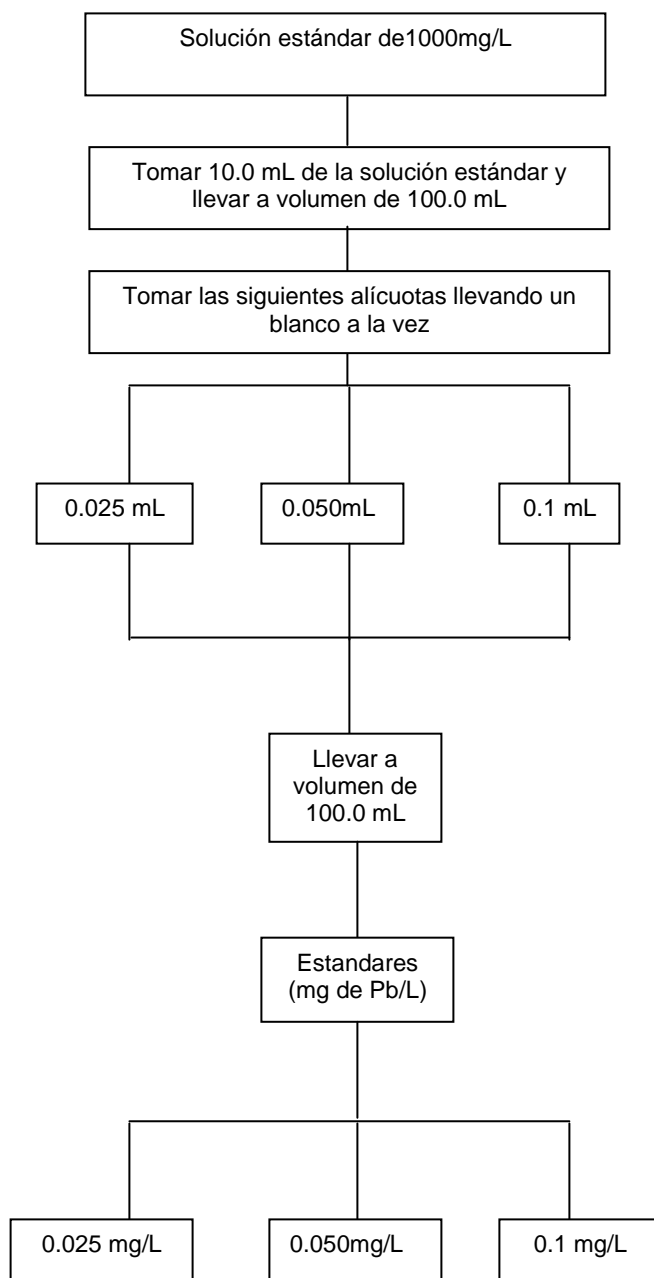


Figura N° 1: Esquema para la preparación de la curva patrón de plomo.

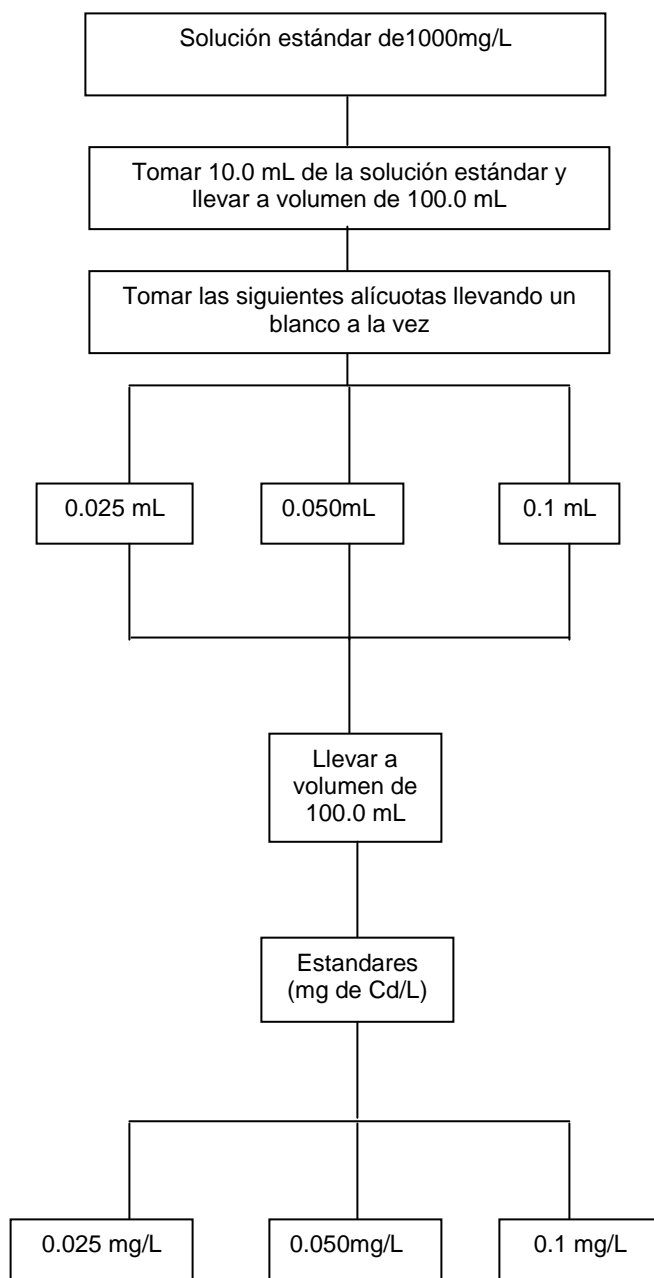


Figura N° 2: Esquema para la preparación de la curva patrón de Cadmio.

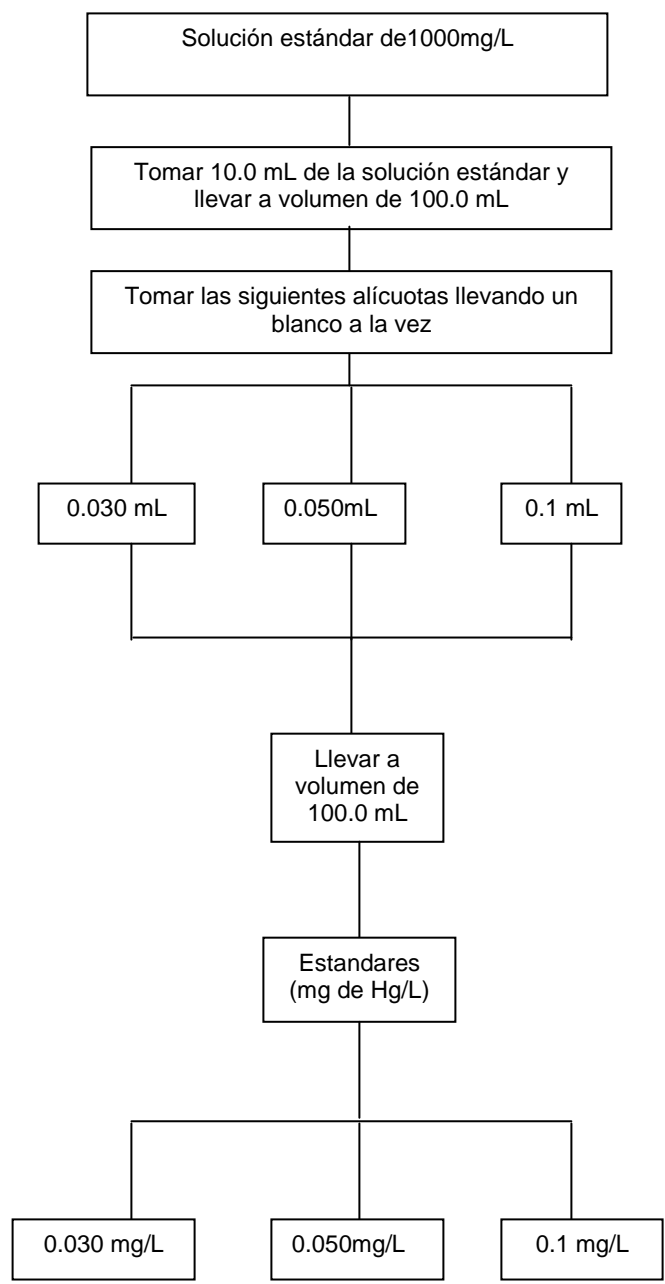


Figura N° 3: Esquema para la preparación de la curva patrón de Mercurio

ANEXO N° 3

MATERIALES, EQUIPO Y REACTIVOS

MATERIAL, EQUIPO Y REACTIVOS

Material

- Balón volumétrico de 1000.0 mL.
- Beaker de 50 mL. y 100 mL.
- Bureta de 50 mL.
- Erlenmeyer de 250 mL.
- Pipetas volumétricas de 1.0 mL., 5.0 mL. y 10.0 mL.
- Probetas de 10mL, 15mL y 100 mL.

Equipo

- Balanza Analítica
- Balanza Granataria
- Espectrofotómetro de Absorción Atómica
- Hot Plate

Reactivos

- Acido Nítrico Concentrado (L)
- Acido Sulfúrico Concentrado(L)
- Agua Libre de Metales(L)
- Cadmio Metálico(s)
- Cloruro de Mercurio(s)
- Cloruro de Sodio(s)
- Cloruro Estannoso(s)
- Nitrato de Plomo(L)
- Permanganato Potásico(s)
- Persulfato Potásico(s)
- Sulfato de Hidroxilamina(s)

(S) Solido

(L) Líquido

ANEXO N° 4

DAÑOS PRODUCIDOS POR CADMIO Y MERCURIO

DAÑOS DEL CADMIO Y MERCURIO, FIGURA DE LA PRENSA GRÁFICA

DIA DOMINGO 10 DE FEBRERO DE 2008

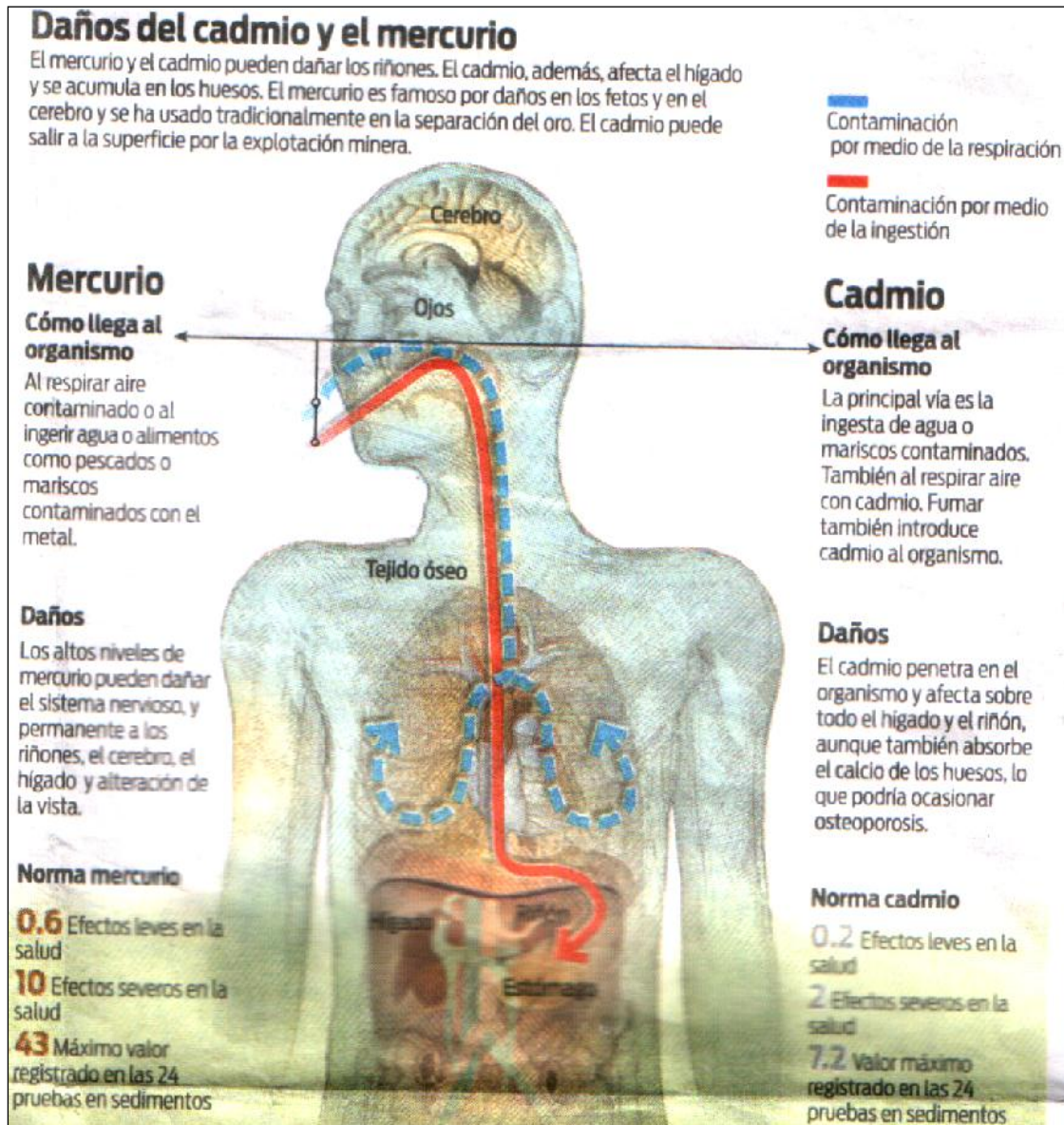


Fig. No. 4: Efectos causados por Cadmio y Mercurio en el Organismo

ANEXO N° 5

MAPAS DE UBICACIÓN DE ZONAS DE MUESTREOS



Fig. No 6: MAPA DETALLADO DE MUNICIPIO DE SAN SALVADOR

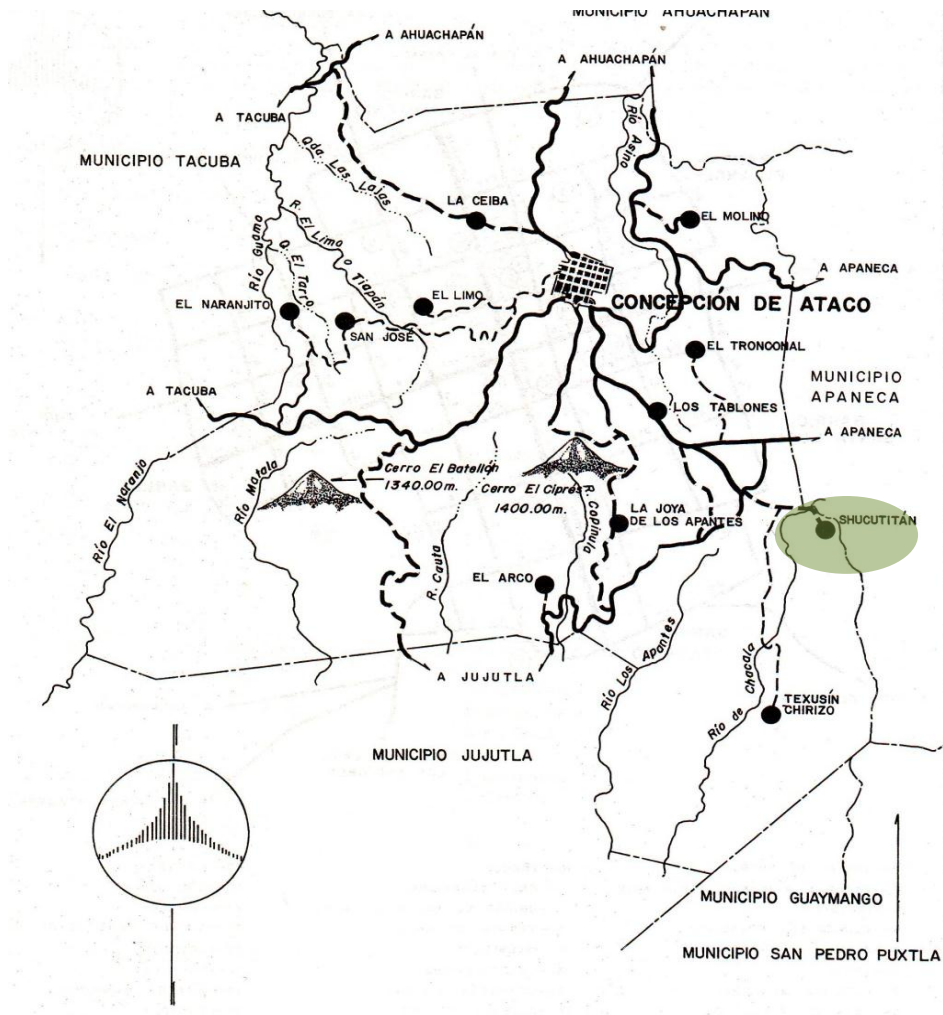


Fig. No.7: MAPA MUNICIPIO DE CONCEPCION DE ATACO

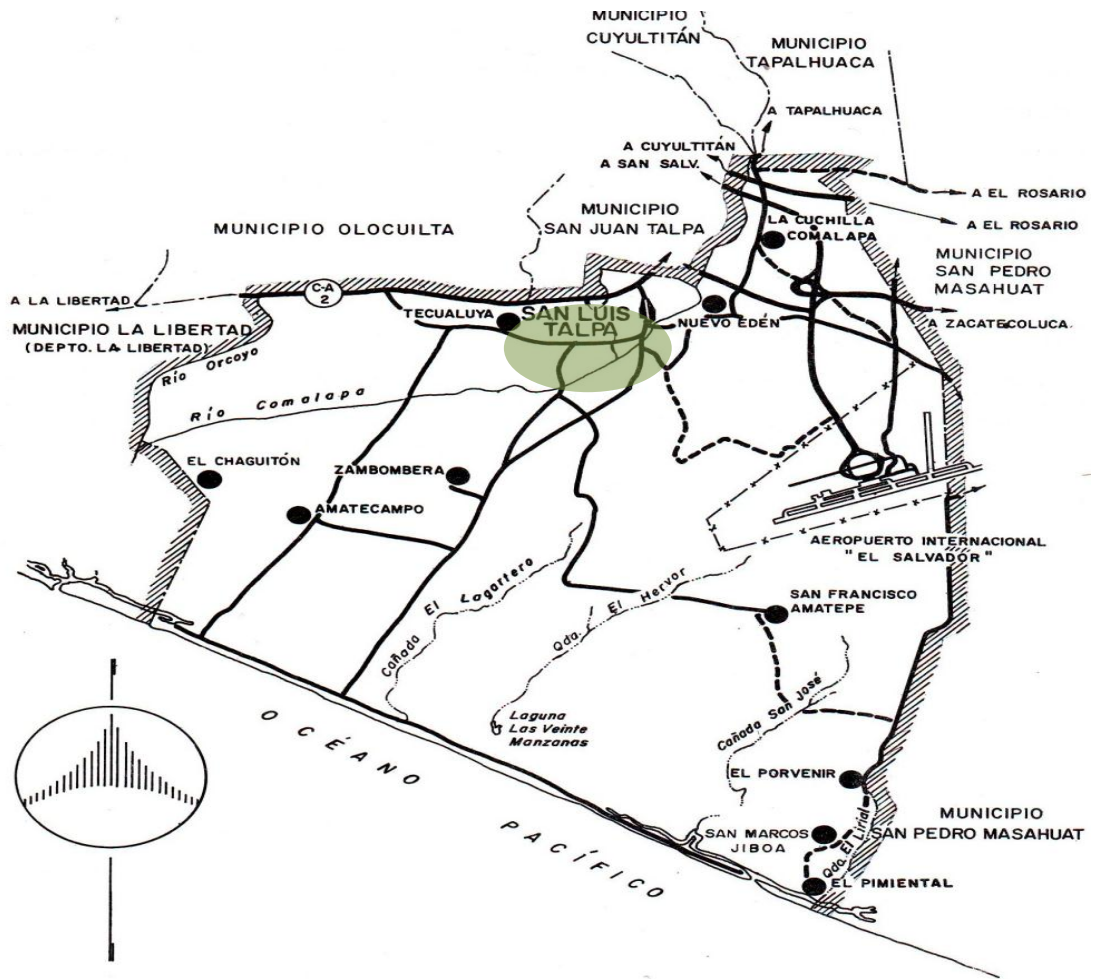


Fig. No. 8: MAPA DE MUNICIPIO DE SAN LUIS TALPA

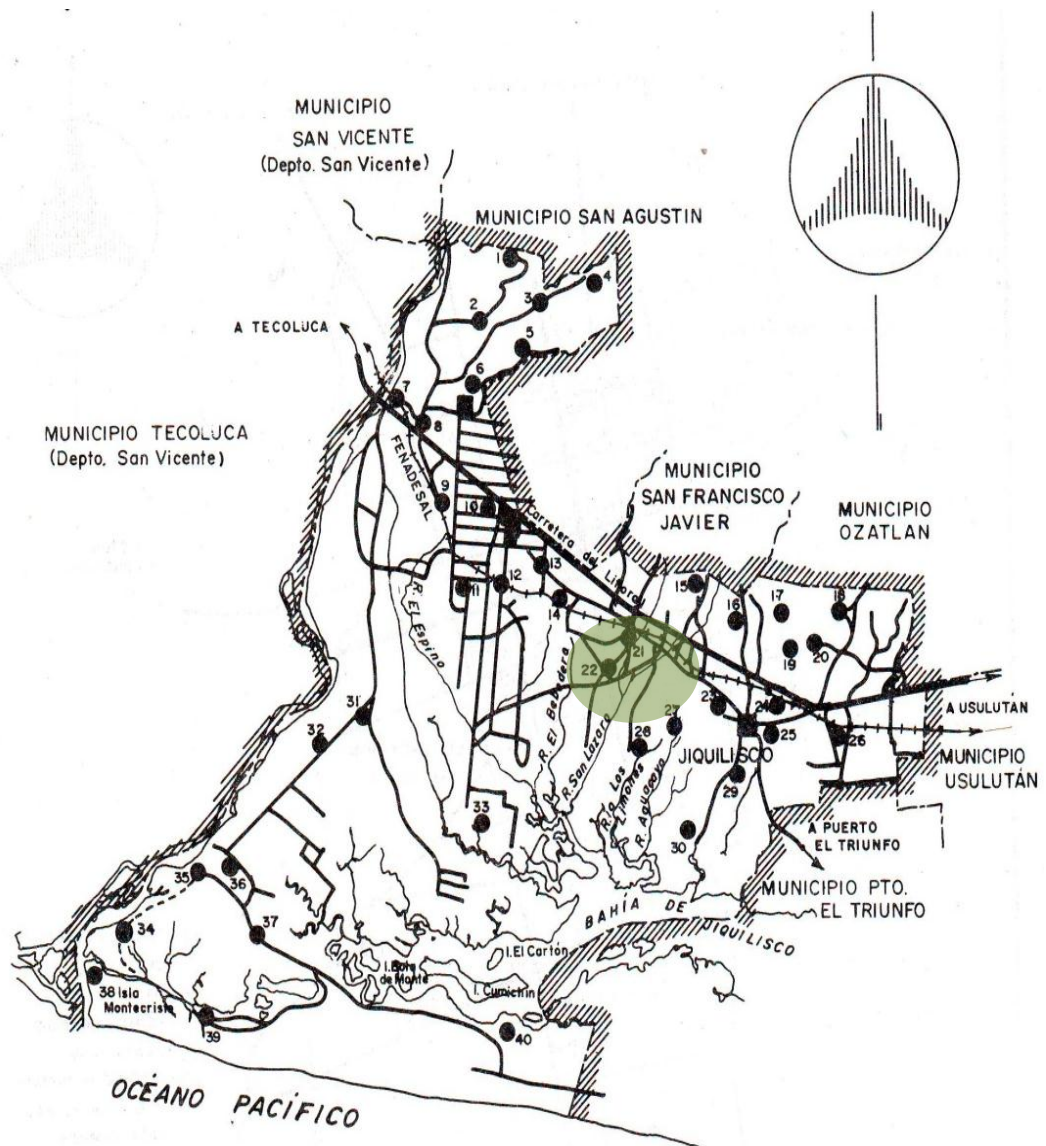


Fig. No. 9: MAPA DE MUNICIPIO DE JIQUILISCO

ANEXO N° 6

NORMAS OBLIGATORIAS PARA LA CALIDAD DE AGUA POTABLE



REPÚBLICA DE EL SALVADOR
MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA
Y ASISTENCIA SOCIAL

GERENCIA DE ATENCION INTEGRAL
EN SALUD AMBIENTAL

NORMA SALVADOREÑA OBLIGATORIA
NSO 13.07.01.04 AGUA. AGUA POTABLE

PUBLICADA EN EL DIARIO OFICIAL DE
FECHA 02 DE FEBRERO DE 2006,

San Salvador, El Salvador C.A.

AGUA POTABLE

Tabla 2

Límites permisibles de características físicas y organolépticas

PARÁMETRO UNIDADES LIMITE MÁXIMO PERMISIBLE

	UNT 5
Turbidez	
Temperatura	°C No Rechazable

- 1) Límite Mínimo Permisible 6.0 Unidades
- 2) Por las condiciones propias del país.
- 3) Para el agua tratada en la salida de planta de tratamiento de aguas superficiales, el Límite Permisible es 1

Tabla 3

Valores para sustancias químicas

PARÁMETRO	LIMITE MÁXIMO PERMISIBLE
	mg/l
Aluminio	0.2
Antimonio	0.006
Cobre	1.3
Dureza Total como (CaCo ₃)	500
Fluoruros	1.00
Hierro Total	0.30
Manganeso	0.1)
Plata	0.07
Sodio	200.00
Sulfatos	400.00
Zinc	5.00

Cuando los valores de hierro y manganeso superen el límite máximo permisible

Normas oficiales para la calidad del agua

Argentina

Agua Potable

DISPOSICIONES DE LA LEY 18284 (CODIGO ALIMENTARIO ARGENTINO) SOBRE AGUAS Art. 982

(Modificado por R 494 /94)

Con las denominaciones de Agua potable de suministro público y agua potable de uso domiciliario, se entiende la que es apta para la alimentación y uso doméstico: no deberá contener sustancias o cuerpos extraños de origen biológico, orgánico, inorgánico o radiactivo en tenores tales que la hagan peligrosa para la salud.

Deberá presentar sabor agradable y ser prácticamente incolora, inodora, límpida y transparente.

El agua potable de uso domiciliario es el agua proveniente de un suministro público, de un pozo o de otra fuente, ubicada en los reservorios o depósitos domiciliarios. Ambas deberán cumplir con las características físicas, químicas y microbiológicas siguientes:

Características físicas:

Turbiedad: máx.: 3 N T U;

Color: máx.: 5 escala Pt-Co;

Olor: sin olores extraños.

Características químicas:

pH: 6,5 - 8,5:

pH sat.: pH \pm 0,2.

Substancias inorgánicas:

Amoníaco (NH) máx.: 0,20 mg/l + 4
Aluminio residual (Al) máx.: 0,20 mg/l;
Arsénico (As) máx.: 0,05 mg/l;
Cadmio (Cd) máx.: 0,005 mg/l;
Cianuro (CN) máx.: 0,10 mg/l; -
Cinc (Zn) máx.: 5,0 mg l (sic);
Cloruro (Cl) máx.: 350 mg/l; -
Cobre (Cu) máx.: 1,00 mg/l;
Cromo (Cr) máx.: 0,05 mg/l;
Dureza total (CaCO) máx.: 400 mg/l 3
Fluoruro (F) N.E.: ver más abajo-
Hierro total (Fe) máx.: 0,30 mg/l;
Manganeso (Mn) máx.: 0,10 mg/l;
Mercurio (Hg) máx.: 0,001 mg/l;
Nitrato (NO) máx.: 45 mg /l; -3
Nitrito (NO) máx.: 0,10 mg/l;ho-2
Plata (Ag) máx.: 0,05 mg/l;
Plomo (Pb) máx.: 0,05 mg/l
Sólidos disueltos totales máx.: 1500 mg/l
Sulfatos (SO) máx.: 400 mg/l; = 4
Cloro activo residual (Cl) mínimo: 0,2 mg/l.-

Fluoruro (F): para los fluoruros la cantidad máxima se da en función de la temperatura promedio de la zona, teniendo en cuenta el consumo diario del agua de bebida:

Temperatura media y Contenido límite recomendado de máxima del año (°C)

Flúor (mg/l) límite inferior - límite superior:

10,0 - 12,0 0,9 1,7

12,1 - 14,6 0,8 1,5

14,7 - 17,6 0,8 1,3

17,7 - 21,4 0,7 1,2

21,5 - 26,2 0,7 1,0

26,3 - 32,6 0,6 0,8

La autoridad sanitaria competente podrá admitir valores distintos si la composición normal del agua de la zona y la imposibilidad de aplicar tecnologías de corrección lo hicieran necesario.

Características micrológicas:

Bacterias coliformes: NMP a 37°C-48 hs. (Caldo Mc Conkey o Lauril Sulfato), en 100 ml: igual o menor

de 3.

Escherichia coli: ausencia en 100 ml.

Pseudomonas aeruginosa: ausencia en 100 ml.

En la evaluación de la potabilidad del agua ubicada en reservorios de almacenamiento domiciliario deberá incluirse entre los parámetros microbiológicos a controlar el recuento de bacterias mesófilas en agar (APC - 24 h a 37°C); en el caso de que el recuento supere las 500 UFC /ml y se cumplan el resto de los parámetros indicados, sólo se deberá exigir la higienización del reservorio y un nuevo recuento.

En las aguas ubicadas en los reservorios domiciliarios no es obligatoria la presencia de cloro activo.

Contaminantes orgánicos:

THM, máx.: 100 ug/l

Aldrin + Dieldrin, máx.: 0,03 ug/l;

Clordano, máx.: 0,30 ug/l;

DDT (Total + Isómeros), máx.: 1,00 ug/l;

Detergentes, máx.: 0,50 mg/l;

Límites Permisibles de Características Físicas y Organolépticas^{(10),(27)}

Las características físicas y organolépticas deberán ajustarse a lo establecido en la Tabla 2.

TABLA 2

CARACTERISTICA	LIMITE PERMISIBLE
Color	20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto.
Olor y sabor	Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultados de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico).
Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método.

4.3 Límites permisibles de características químicas

El contenido de constituyentes químicos deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla 3. Los límites se expresan en mg/l, excepto cuando se indique otra unidad.

TABLA 3

CARACTERISTICA	LIMITE PERMISIBLE
Aluminio	0.20
Arsénico	0.05
Bario	0.70
Cadmio	0.005
Cianuros (como CN ⁻)	0.07
Cloro residual libre	0.2-1.50
Cloruros (como Cl ⁻)	250.00
Cobre	2.00

Cromo total	0.05
Dureza total (como CaCO ₃)	500.00
Fenoles o compuestos fenólicos	0.001
Fierro	0.30
Fluoruros (como F ⁻)	1.50
Manganeso	0.15
Mercurio	0.001
Nitratos (como N)	10.00
Nitritos (como N)	0.05
Nitrógeno amoniacal (como N)	0.50
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6.5-8.5
Plaguicidas en microgramos/l: Aldrín y dieldrín (separados o combinados)	0.03
Clordano (total de isómeros)	0.30
DDT (total de isómeros)	1.00
Gamma-HCH (lindano)	2.00
Hexaclorobenceno	0.01
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0.03
Metoxicloro	20.00
2,4 – D	50.00
Plomo	0.025
Sodio	200.00
Sólidos disueltos totales	1000.00
Sulfatos (como SO ₄ ⁼)	400.00

Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0.50
Trihalometanos totales	0.20
Zinc	5.00

Los límites permisibles de metales se refieren a su concentración total en el agua, la cual incluye los suspendidos y los disueltos.

ANEXO N° 7

**RESULTADOS OBTENIDOS EN LABORATORIOS DE SERVICIOS
ANALITICOS DE LA FUNDACION SALVADOREÑA PARA LA
INVESTIGACION DEL CAFÉ (PROCAFE)**



FUNDACIÓN SALVADOREÑA PARA INVESTIGACIONES DEL CAFÉ

LABORATORIO DE SERVICIOS ANALITICOS

SECCIÓN ESPECIALES



INFORME No. : EC-71

PROPIETARIO: CAROLINA ARAUJO

DIRECCIÓN: Pje.1 sur Polg. E #61 Ciudad Merlot Jdnes de la Hda.

TELÉFONO: 2278-2964


RECEPCIÓN:	20/04/09
ANÁLISIS:	25/04/09
EMISIÓN:	27/04/09

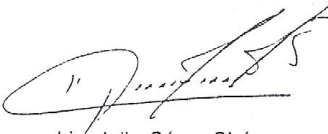
RESULTADOS DE ANÁLISIS EN MUESTRAS ESPECIALES LECTURAS

CÓDIGO DE LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	PLOMO mg/L	MERCURIO mg/L	CADMIO mg/L
EC-515	ZONA 1 M1	0.0148	0.0011	0.0030
EC-516	M2	0.0161	0.0014	0.0032
EC-517	M3	0.0188	0.0049	0.0035
EC-518	M4	0.0170	<0.0005	0.0025
EC-519	M5	0.0186	0.0088	0.0036
EC-520	ZONA 2 M1	0.0146	0.0050	0.0016
EC-521	M2	0.0132	<0.0005	0.0020
EC-522	M3	0.0162	0.0099	0.0016
EC-523	M4	0.0172	<0.0005	0.0017
EC-524	M5	0.0167	0.0011	0.0022
EC-525	ZONA 3 M1	0.0152	0.0045	0.0019
EC-526	M2	0.0195	0.0081	0.0031
EC-527	M3	0.0192	0.0094	0.0031
EC-528	M4	0.0212	0.0091	0.0021
EC-529	M5	0.0263	0.0013	0.0024

NOTA ACLARATORIA: El resultado del análisis corresponde a la muestra enviada por usted (es) a este Laboratorio. El muestreo es responsabilidad del usuario. El Laboratorio no autoriza la reproducción parcial sin la debida autorización por escrito.




Lic. Rema Elizabeth Funes de Cruz
Coordinador del Laboratorio de Servicios Analíticos


Lic. Julio César Chávez
Técnico Analista

El Café es Vida

Avenida Manuel Gallardo, y 13 Calle Pehiente, Santa Tecla, la libertad, El Salvador, C.A.
PBX: (503)2288-3088, FAX(503) 2228-0669, E-mail info@procafe.com.sv, http://www.procafe.com.sv



FUNDACIÓN SALVADOREÑA PARA INVESTIGACIONES DEL CAFÉ

LABORATORIO DE SERVICIOS ANALITICOS

SECCIÓN ESPECIALES



INFORME No. : EC-71

PROPIETARIO: CAROLINA ARAUJO

DIRECCIÓN: Pje.1 sur Polg. E #61 Ciudad Merlot Jdnes de la Hda.

TELÉFONO: 2278-2964


RECEPCIÓN:	20/04/09
ANÁLISIS:	25/04/09
EMISIÓN:	27/04/09

RESULTADOS DE ANÁLISIS EN MUESTRAS ESPECIALES LECTURAS

CÓDIGO DE LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	PLOMO mg/L	MERCURIO mg/L	CADMIO mg/L
EC-530	ZONA 4 M1	0.0130	<0.0005	0.0015
EC-531	M2	0.0133	<0.0005	0.0018
EC-532	M3	0.0095	0.0013	0.0016
EC-533	M4	0.0185	<0.0005	0.0017
EC-534	M5	0.0098	<0.0005	0.0019
EC-535	ZONA 5 M1	0.0176	<0.0005	0.0022
EC-536	M2	0.0141	0.0022	0.0021
EC-537	M3	0.0145	0.0031	0.0020
EC-538	M4	0.0247	<0.0005	0.0025
EC-539	M5	0.0344	0.0048	0.0028

NOTA ACLARATORIA: El resultado del analisis corresponde a la muestra enviada por usted (es) a este Laboratorio. El muestreo es responsabilidad del usuario. El Laboratorio no autoriza la reproducción parcial sin la debida autorización por escrito.




Lic. Regina Elizabeth Funes de Cruz
Coordinador del Laboratorio de Servicios Analíticos



Lic. Julio César Chávez
Técnico Analista

El Café es Vida

Avenida Manuel Gallardo, y 13 Calle Poniente, Santa Tecla, la libertad, El Salvador, C.A.

PBX: (503)2288-3088, FAX(503) 2228-0666. E-mail info@procafe.com.sv, <http://www.procafe.com.sv>

ANEXO N° 8

**FORMULAS Y RESULTADOS OBTENIDOS POR EL METODO
ESTADISTICO DE REGRESION LINEAL POR EL PROGRAMA SPSS
Y DESVIACION GEOMETRICA ESTANDAR (DGS)**

Desviación Geométrica Estándar (DGS) ⁽⁹⁾

Se cálculo la Desviación Geométrica Estándar, en las concentraciones de mercurio (<0.0005), para realizar las correcciones necesarias y obtener valores representativos estadísticamente, en el Cantón Shucutitan (Ataco), se presenta un único punto por eso no puede aplicársele el método de cálculo con la DGS, de por lo que es considerado un punto muestral anormal.

La finalidad del proceso es introducir los datos en el análisis estadístico de regresión lineal donde no pueden haber varios espacios vacíos, por lo que es necesario tener valores numéricos aún en los espacios que son valores no detectables que reporta el laboratorio. Para determinar dichos valores, se sigue el siguiente proceso se calcular la DGS:

- Si DGS se encuentra entre 1.5 y 2.0, entonces el valor no detectado se sustituye por $2^{0.5}$ por límite de detección, es decir, que el valor no detectado será igual a $2^{0.5}$ por 0.0005
- Si DGS es igual a 3.0 el valor no detectado se sustituye por 2 por el límite de detección, es decir, el valor no detectado es igual a 2 por 0.0005.

Ejemplo del cálculo de corrección de las concentraciones de mercurio utilizando GSD ⁽⁹⁾, (Ver cuadro 7).

- Calculando el valor de Desviación Geométrica Estándar, por la diferencia de la sumatoria de las concentraciones de las muestras y la media aritmética, dividiéndolo entre el número total de las concentraciones evaluadas por comunidad y elevada por la raíz cuadrada de su valor obtenido. ⁽²⁾

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum / X_i - M}}{n}$$

$$M = \frac{0.0011+0.0014+0.0049+0.0005+0.0088}{5} = 0.00334 \text{ mg/L}$$

- Aplicando formula de Desviación Geométrica Estándar

$$\sigma = \frac{(0.0011-0.00334)^2 + (0.0014-0.00334)^2 + (0.0049-0.00334)^2 + (0.0005-0.00334)^2 + (0.0088-0.00334)^2}{5}$$

$$\sigma = 0.002 \text{ mg/L}$$

- Determinando el valor estándar de cada concentración fuera del límite de aparato de AA.

$$Z = X_i - M / \sigma$$

$$Z = 0.0005 - 0.00334 / 0.002$$

$$Z = - 1.42$$

Si DGS se encuentra entre 1.5 y 2.0, entonces el valor no detectado se sustituye por $2^{0.5}$ por el límite de detección, es decir, que el valor no detectado será igual a $2^{0.5} \times 0.0005$ (2), (Ver cuadro 6).

La concentración corregida para el caso del Cantón Calderas es de **0.0007** (Ver cuadro N° 7).

ANÁLISIS DE REGRESIÓN (21), (22), (23)

Procedimiento: seleccionar una muestra a partir de la población, listar pares de datos para cada observación; dibujar un diagrama de puntos para dar una imagen visual de la relación; determinar la ecuación de regresión.

Supuestos de Regresión Lineal Clásica

Cada error está normalmente distribuido con:

- Esperanza de los errores igual a 0
- Variancia de los errores igual a una constante σ^2 .
- Covariancia de los errores nulas para todo $i \neq j$

Proceso de estimación de la regresión lineal simple

Modelo de regresión

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$$

Ecuación de regresión

$$E(y) = \beta_0 + \beta_1 x$$

Parámetros desconocidos

$$\beta_0, \beta_1$$

Ecuación estimada de regresión

$$y = b_0 + b_1 x$$

Estadísticos de la muestra

$$b_0, b_1$$

- **Estimación de la ecuación de Regresión Simple.**

$Y' = a + b.X$, donde:

- Y' es el valor estimado de Y para distintos X .
- a es la intersección o el valor estimado de Y cuando $X=0$
- b es la pendiente de la línea, o el cambio promedio de Y' para cada cambio en una unidad de X
- Ecuación de mínimos cuadrados es usado para obtener a y b :

$$b = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$a = (\sum Y)/n - b.(\sum X)/n$$

- **Mínimos Cuadrados**

El modelo de regresión es lineal en los parámetros.

Los valores de X son fijos en muestreo repetido.

El valor medio de la perturbación error ϵ_i es igual a cero.

Homocedasticidad o igual variancia de ϵ_i .

No autocorrelación entre las perturbaciones.

La covariancia entre ϵ_i y X_i es cero.

El número de observaciones no debe ser mayor que el número de parámetros a estimar.

Variabilidad en los valores de X .

El modelo de regresión está correctamente especificado.

No hay relaciones lineales perfectas entre las explicativas.

- **Estimación de la variancia de los términos del error (σ^2)**

Debe ser estimada por varios motivos

Para tener una indicación de la variabilidad de las distribuciones de probabilidad de Y.

Para realizar inferencias con respecto a la función de regresión y la predicción de Y.

La lógica del desarrollo de un estimador de σ^2 para el modelo de regresión es la misma que cuando se muestrea una sola población

La variancia de cada observación Y_i es σ^2 , es la misma que la de cada término del error

Dado que los Y_i provienen de diferentes distribuciones de probabilidades con medias diferentes que dependen del nivel de X, la desviación de una observación Y_i debe ser calculada con respecto a su propia media estimada \hat{Y}_i .

$$Y_i - \hat{Y}_i = e_i$$

Por tanto, las desviaciones son los residuales

Y la suma de cuadrados es:

$$SC_e = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - a - b.X_1)^2 = \sum_{i=1}^n e_i^2$$

La suma de cuadrados del error, tiene n-2 grados de libertad asociados con ella, ya que se tuvieron que estimar dos parámetros.

Por lo tanto, las desviaciones al cuadrado dividido por los grados de libertad, se denomina cuadrados medios

$$CM_e = \frac{SC_e}{n-2} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n-2}$$

Donde CM es el Cuadrado medio del error o cuadrado medio residual. Es un estimador insesgado de σ^2

- **Análisis de Variancia en el análisis de regresión**

El enfoque desde el análisis de variancia se basa en la partición de sumas de cuadrados y grados de libertad asociados con la variable respuesta Y.

La variación de los Y_i se mide convencionalmente en términos de las desviaciones

$$(Y_i - \bar{Y})$$

La medida de la variación total SC_{tot} , es la suma de las desviaciones al cuadrado

$$\sum(Y_i - \bar{Y})^2$$

- **Desarrollo formal de la partición**

Consideremos la desviación

$$(Y_i - \bar{Y})$$

Podemos descomponerla en

$$\frac{(Y_i - \bar{Y})}{T} = \frac{(\hat{Y}_i - \bar{Y})}{R} + \frac{(Y_i - \hat{Y}_i)}{E}$$

(T): desviación total

(R): es la desviación del valor ajustado por la regresión con respecto a la media general

(E): es la desviación de la observación con respecto a la línea de regresión

Si consideremos todas las observaciones y elevamos al cuadrado para que los desvíos no se anulen

$$\frac{\sum(Y_i - \bar{Y})^2}{SC_{tot}} = \frac{\sum(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{SC_{reg}} + \frac{\sum(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{SC_{er}}$$

(SC_{tot}): Suma de cuadrados total

(SC_{reg}): Suma de cuadrados de la regresión

(SC_{er}): Suma de cuadrados del error

Dividiendo por los grados de libertad, (n-1), (k) y

(n-2), respectivamente cada suma de cuadrados, se obtienen los cuadrados medios del análisis de variancia.

Coeficiente de Determinación

Coeficiente de Determinación, R^2 - es la proporción de la variación total en la variable dependiente Y que es explicada o contabilizada por la variación en la variable independiente X .

- El coeficiente de determinación es el cuadrado del coeficiente de correlación, y varía entre 0 y 1.

Cálculo del R^2 a través de la siguiente fórmula

$$R^2 = \frac{[\sum(\hat{Y}_c - \bar{Y})^2]}{[\sum(\hat{Y}_o - \bar{Y})^2]}$$

Inferencia en Regresión

Los supuestos que establecimos sobre los errores nos permiten hacer inferencia sobre los parámetros de regresión (prueba de hipótesis e intervalos de confianza), ya que los estimadores de β_0 y β_1 pueden cambiar su valor si cambia la muestra.

Por lo tanto debemos conocer la distribución de los estimadores para poder realizar prueba de hipótesis e intervalos de confianza

ANEXO N° 9

**MEDIAS DE CREATININA EN SANGRE SEGÚN ESTUDIOS DE
PREVALENICA DE ENFERMEDAD RENAL CRONICA (ERC)**

Tabla N° 1: Medias de Creatinina en sangre según estudio de prevalencia de enfermedades Renales Crónicas (ERC) ⁽⁸⁾, muestras tomadas en agua de consumo humano.

Comunidad	Muestra (Valor de Creatinina Sérica)	
	Masculino N (Media)	Femenino N (Media)
	53	76
Jiquilisco Caña costa rural	(1.17)	(0.77)
	41	83
Ataco Café	(0.82)	(0.68)
	47	85
San Jacinto Urbana	(0.95)	(0.72)
	59	100
San Luis Talpa Caña Costa rural	(1.14)	(0.78)
	56	64
Apastepeque Caña Altura	(0.91)	(0.66)