

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA



**APLICACION DE BIOMONITORES PARA EVALUAR LA  
CONTAMINACION POR METALES PESADOS EN EL LAGO SUCHITLAN**

PRESENTADO POR:

**CARMEN DINORA CUADRA ZELAYA**

PARA OPTAR AL TITULO DE:

**INGENIERA DE ALIMENTOS**

Y

**DAVID ARNOLDO ROMERO GARCÍA**

PARA OPTAR AL TITULO DE:

**INGENIERO QUIMICO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, SEPTIEMBRE DE 2006

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTORA :

**DRA. MARÍA ISABEL RODRÍGUEZ**

SECRETARIA GENERAL :

**LICDA. ALICIA MARGARITA RIVAS DE RECINOS**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

DECANO :

**ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO**

SECRETARIO :

**ING. OSCAR EDUARDO MARROQUÍN HERNÁNDEZ**

**ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

DIRECTOR :

**ING. FERNANDO TEODORO RAMÍREZ ZELAYA**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:  
**INGENIERA DE ALIMENTOS**

Título :

**APLICACION DE BIOMONITORES PARA EVALUAR LA  
CONTAMINACION POR METALES PESADOS EN EL LAGO SUCHITLAN**

Presentado por :

**CARMEN DINORA CUADRA ZELAYA**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

Inga. Ana Cecilia Díaz de Flamenco

Licda. Ana Isabel Pereira de Ruiz

Ing. Luis Ramón Portillo Trujillo

San Salvador, Septiembre de 2006

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:  
**INGENIERO QUIMICO**

Título :

**APLICACION DE BIOMONITORES PARA EVALUAR LA  
CONTAMINACION POR METALES PESADOS EN EL LAGO SUCHITLAN**

Presentado por :

**DAVID ARNOLDO ROMERO GARCÍA**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

Inga. Ana Cecilia Díaz de Flamenco

Licda. Ana Isabel Pereira de Ruiz

Ing. Luis Ramón Portillo Trujillo

San Salvador, Septiembre de 2006

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

**Inga. Ana Cecilia Díaz de Flamenco**

**Licda. Ana Isabel Pereira de Ruiz**

**Ing. Luis Ramón Portillo Trujillo**

## AGRADECIMIENTOS

### **Ing. Fernando Teodoro Ramírez Zelaya**

Por enseñarnos que en la vida siempre encontraremos a alguien que nos apoye, gracias por compartir con nosotros sus experiencias personales.

### **Inga. Ana Cecilia Díaz de Flamenco**

Por su incondicional apoyo y guía durante nuestra carrera y en la realización de nuestro trabajo de graduación.

### **Licda. Ana Isabel Pereira de Ruíz**

Por su invaluable aporte en el desarrollo del trabajo de graduación, y sus enseñanzas en nuestra carrera.

### **Ing. Luis Ramón Portillo**

Por la idea inicial del proyecto y el préstamo del laboratorio del CIAN para la realización de la parte experimental de este Trabajo de Graduación.

### **Inga. Tania Torres**

Con ella aprendimos que en la vida siempre encontraremos personas inflexibles que nos hagan aumentar nuestro potencial para superar las pruebas.

### **Ing. Juan Ramírez**

Por enseñarnos que en la vida siempre habrá obstáculos en nuestro camino, pero que apoyados en Dios y en nuestra capacidad no son imposibles de sobrepasar.

También extendemos nuestro agradecimiento a la **Ingeniera Delmy Rico**, **Ingeniero Francisco Arévalo** y la **Licda. Xotchil Godoy**, que fueron parte importante en nuestro desarrollo académico, y por el apoyo que nos expresaron para la realización de nuestro trabajo.

## **CARMEN DINORA CUADRA ZELAYA**

Quiero dedicar este trabajo a todas aquellas personas que han dejado marca en mi vida, ya sea en forma de herida que me hizo más fuerte o como una dulce brisa alegrando mi corazón; todas sin excepción tiene mis sinceros agradecimientos ya que han formado alguna virtud o defecto útil en mi.

**A Dios** que me da la fuerza vital y la energía que hace que cada día siga adelante, quien observa cada uno de mis pasos, me señala diferentes caminos con la opción de escoger por mi misma el que seguiré, y aunque al final de ese camino me encuentre en la más triste y penosa situación siempre me da la esperanza de estar al final para consolarme y otra oportunidad.

**A mis Padres**, a quienes Dios escogió para que yo viniese al mundo, quienes me han dado mi familia de la que estoy orgullosa, quienes me dieron a mis hermanas, quienes me criaron de tal manera que su financiamiento... y la base sobre la que estoy formada me ha convertido en la persona quien soy, lo cual se los agradezco infinitamente y con todo mi corazón.

**A mis Hermanas Tania y Florence** a quienes agradezco su forma de ser desde mi infancia hasta hoy ya que su comportamiento y su amor a través de toda mi vida me ha hecho tan independiente como lo soy ahora, GRACIAS, de verdad.

**A Mauricio**, por su inexplicable amor hacia mi persona, por su dedicación, atención, afecto y por acoplarse a mi manera de ser, por hacer el silencio más agradable, YTTA.

**A Marielos y Karla** con quienes me crié como hermanas, por su manera de ser y quererme.

**A David**, por aceptar ser parte de mi familia, por que su dedicación y capacidad se acopló perfectamente a mi organización e inventiva, por quitarme el temor de mostrar a alguien todo mi potencial, ¡ah! y por ser tan normal, ¿normal?...por siempre mi amigo, gracias.

**A Maria Olimpia**, quien fue mi primera amiga, me cultivo en el arte literario y con quien pase momentos que nunca olvidare.

**A mi amiga Adriana** al formar parte importante y vital de mi adolescencia, por inculcarme su amor al conocimiento, secar mis lágrimas, escucharme, hacerme reír y nunca abandonarme.

**A Regina** por hacerme comprender que la realidad es simplemente una situación que no nos debe afectar si esta es mala, y que debemos disfrutar cuando es buena, por su hermosa y única amistad, TQM.

**A Patricia Genovéz** por ser mi amiga y apoyo único en un momento de transición, ¡púchica Patricia!.

Y finalmente a todas aquellas personas que me han hecho más fuerte al reflexionar debido a algún comportamiento que me ha molestado en un principio; pero que al final apporto a mi sabiduría que simplemente es la esencia del comportamiento humano al sentirse intimidado, vulnerable o simplemente al no razonar.

*Son nuestras elecciones las que muestran lo que somos, mucho más que nuestras habilidades. (A. P. W. B. D.)  
De ahí radica la importancia de nuestros actos, los cuales reflejan nuestra alma. (C. D. C. Z.)*

## DAVID ARNOLDO ROMERO GARCÍA

*“Bendito sea Jehová, mi roca, quien adiestra mis manos para la batalla, y mis dedos para la guerra;” Salmo 144.*

Te agradezco **Señor Todopoderoso** por permitirme llegar hasta esta etapa de mi vida y haberme brindado unos padres tan maravillosos, “sin ti no soy nada”, ¡Gracias por todas tus bendiciones!, porque todo lo que proviene de Ti es bueno y todo pasa por alguna razón, esto me enseñó literalmente a tener cuidado con lo que se desea.

A **Carlos Alberto**, mi padre, por formar mi carácter, enseñarme a no bajar la mirada ante nadie y mostrarme que cosas son las importantes en la vida. Lamento que no hayas logrado ver el producto de tu esfuerzo, pero se que me acompañas en espíritu ¡Lo logramos Papá! Descansa en Paz.

A **Berta Alicia**, mi madre, por su infinito amor, apoyo, por siempre creer en mí. Por inculcar en mí la disciplina hacia el estudio y acompañarme en mis eternos desvelos, por siempre estar ahí, aguantando mis problemas (incluso los que yo causaba), mis quejas y tristezas dándome las palabras de apoyo para poder seguir siempre hacia delante.

A **Carlos y Virginia**, por ser mis hermanos, por cuidarme cada quien a su manera, brindarme consejos de sus propias experiencias y enseñarme que la vida no es sólo estudio.

A **Carmen Dinora**, por abrir las puertas de su vida para sembrar una verdadera amistad y disfrutar de los frutos que ahora cosechamos. Por estar conmigo en las buenas y en las malas, y enseñarme como afrontar las adversidades. Agradezco su inventiva y sin cuya capacidad y dirección no se hubiera logrado un producto tan valioso como el que tienen en sus manos. Siga siendo normal... ¿normal? Sí, ¿Por qué no?

Al **Ing. Oscar Marroquín**, de Mecánica, sin su invaluable ayuda no hubiera podido ingresar a la Universidad de El Salvador.

A **Edenilson**, por su incondicional apoyo y aprecio, brindándome su amistad en un momento crucial de mi vida y ayudarme a entender criterios que sólo con la experiencia se aprenden.

A **Lucy**, por ser una de mis más sinceras amistades y quererme tanto a pesar de todo, se lo mucho que significo para usted, lo bonito es que pocos me lo demuestran como usted, ¡Vivirá en mi corazón por siempre!

A **Ponce y Raúl** porque la distancia no puede borrar el pasado y las amistades son más resistentes que el tiempo, gracias por su apoyo y por no olvidarse de mí.

A Ana Elena Ortez Sandoval, porque con ella aprendí que hay que tener cuidado con quien nos relacionamos y lo falsas que pueden llegar a ser las personas por conseguir lo que quieren, no importando a quien perjudiquen en su camino.

Quiero sinceramente agradecer además a todas las personas (incluyendo mis fans) que de una u otra forma fueron de ayuda y apoyo para poder terminar mi formación universitaria.



## RESUMEN

La presente investigación se desarrolló con el objetivo de evaluar los metales pesados acumulados en la biota del ecosistema acuático del Lago Suchitlán en la época seca del año 2006. Primero se adquirió información para elaborar una caracterización geográfica y socioeconómica del Lago, que permitió la selección del área de estudio en que se desarrolló la investigación.

Los organismos que cumplieron los criterios para ser utilizados como biomonitores son el músculo de Guapote Tigre y la raíz de Jacinto Acuático, con los que se realizó el muestreo experimental en el mes de abril del año 2006. Se aplicó una digestión ácida previa a los biomonitores para el análisis multielemental mediante el equipo de espectrometría de Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total (TXRF) del Centro de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares (CIAN-FIA-UES). Los resultados de las diferentes mediciones demuestran la existencia, en los organismos muestreados, de Cr, Cu, Zn, Pb y Hg. La cuantificación de los metales pesados se realizó mediante el paquete de software Quantitative X-ray Analysis System (QXAS) y se comprobó la congruencia de resultados mediante el análisis de cromo y plomo en guapote y jacinto por la técnica de Absorción Atómica.

El mayor aporte en la generación de estos metales se atribuye a la actividad humana, por lo que se elaboró un levantamiento de fuentes contaminantes por tipo de industria a nivel municipal en la cuenca alta del Río Lempa como principal aporte de contaminación al embalse Cerrón Grande. Los dos biomonitores seleccionados se evaluaron respecto a los valores máximos permisibles de plomo y mercurio dados por la Comisión y el Consejo de la Unión Europea, comprobando que todas las muestras de guapote incumplen tales normativas al igual que las muestras de jacinto para el caso del mercurio y cumpliendo en sólo tres de las diez muestras para el caso del plomo.

Los valores de ingesta semanal provisional establecidos por la FAO/OMS para los metales plomo y mercurio, se calcularon el consumo límite a la semana de la carne de Guapote Tigre. Finalmente para los metales cobre, cromo y zinc se calcularon los porcentajes de aporte a la dieta alimenticia.

## - INDICE DE CONTENIDO -

<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>I</b>
<b>I. FUNDAMENTO TEÓRICO .....</b>	<b>1</b>
1.1 Generalidades de la contaminación de las aguas superficiales.....	1
1.2 Evaluación de la contaminación del agua utilizando biomonitores.....	3
1.2.1 Propiedades del biomonitor.....	4
1.2.2 Antecedentes del uso de biomonitores en El Salvador .....	6
1.3 Contaminación por Metales Pesados.....	7
1.3.1 Características del Cobre y sus efectos en la salud humana .....	8
1.3.2 Características del Cromo y sus efectos en la salud humana .....	9
1.3.3 Características del Zinc y sus efectos en la salud humana .....	12
1.3.4 Características del Plomo y sus efectos en la salud humana.....	14
1.3.5 Características del Mercurio y sus efectos en la salud humana.....	17
1.4 Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total .....	20
1.4.1 Fundamento de la Fluorescencia de Rayos X.....	21
1.4.2 Fundamento de Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total.....	24
1.4.3 Análisis Cualitativo y Cuantitativo.....	26
1.5 Caracterización del Lago Suchitlán .....	27
1.5.1 Ubicación Geográfica.....	28
1.5.2 Aspectos Físicos .....	30
1.5.3 Datos ambientales.....	31
1.5.4 Usos del Suelo .....	31
1.5.5 Afluentes al Lago Suchitlán .....	37

1.5.6 Información socioeconómica .....	39
1.5.7 Atractivos Turísticos .....	42
1.6 Flora y fauna acuática representativa del Lago Suchitlán .....	44
1.6.1 Existencia de la flora y fauna acuática representativa.....	46
<b>II. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....</b>	<b>47</b>
2.1 Criterios de decisión .....	48
2.2 Selección del área de estudio utilizando una matriz de decisión .....	51
<b>III. CARACTERIZACIÓN SOCIOECONÓMICA DEL LAGO SUCHITLAN.....</b>	<b>53</b>
3.1 Actividades socioeconómicas.....	53
3.2 Flora y fauna acuática representativa del Lago Suchitlán. ....	56
<b>IV. PROPIEDADES FISICOQUIMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DEL AGUA.....</b>	<b>56</b>
4.1 Análisis de Resultados de las Propiedades Físicoquímicas y Microbiológicas.....	59
<b>V. SELECCIÓN DEL BIOMONITOR.....</b>	<b>62</b>
<b>VI. MUESTREO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>72</b>
<b>VII. PREPARACIÓN DEFINITIVA DE LAS MUESTRAS.....</b>	<b>73</b>
<b>VIII. ANÁLISIS POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X POR REFLEXIÓN TOTAL.....</b>	<b>75</b>
8.1 El espectrómetro TXRF. ....	75
8.2 Colección de espectros. ....	76
8.3 Ajuste de espectros .....	77
8.4 Cuantificación .....	78
8.4.1 Curvas de calibración y sensibilidad .....	78
<b>IX. RESULTADOS .....</b>	<b>79</b>
9.1 Resultados preliminares para la cuantificación por Fluorescencia de Rayos X por Reflexión	
Total.....	79

9.2	Análisis del proceso de medición por Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total.....	81
9.3	Perfeccionamiento del análisis por Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total.....	81
9.4	Resultados definitivos para el cálculo de concentraciones por Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total .....	83
<b>X.</b>	<b>FUENTES CONTAMINANTES DE METALES PESADOS.....</b>	<b>88</b>
10.1	Rubros industriales a nivel nacional que utilizan Cr, Cu, Zn, Hg y Pb. ....	88
10.2	Localización geográfica a nivel municipal de los rubros industriales que contaminan con efluentes de Cromo, Cobre, Zinc, Plomo y Mercurio el Lago Suchitlán. ....	91
<b>XI.</b>	<b>ANALISIS DE LOS RESULTADOS.....</b>	<b>94</b>
11.1	Etapa de la Selección del biomonitor.....	94
11.2	Calidad analítica de los resultados de las concentraciones de Plomo, Mercurio, Cromo, Cobre y Zinc obtenidos por medio de la Técnica de Fluorescencia de Rayos x por Reflexión Total. ....	94
11.3	Concentración calculada de Plomo, Mercurio, Cromo, Cobre y Zinc en las muestras de Músculo de Guapote y Raíz de Jacinto Acuático. ....	95
11.4	Comparación de Concentraciones de Mercurio y Plomo con el Contenido Máximo en ppm dados por la Directiva 1999/29/CE para el Jacinto Acuático y el Reglamento (CE) 466/2001 para el Guapote Tigre. ....	95
11.5	Comparación de las concentraciones de Mercurio obtenidas para cada biomonitor, con valores de contenido máximo. ....	96
11.6	Comparación de las concentraciones de Plomo obtenidas para cada biomonitor, con valores de contenido máximo. ....	97
11.7	Cálculo de la cantidad límite consumible a la semana (CLCS) de carne o músculo de Guapote a partir de las concentraciones máxima y mínima de Mercurio y Plomo encontradas en el Músculo de Guapote Tigre. ....	98

11.8 Cálculo del aporte a la dieta alimenticia en miligramos de Cobre, Cromo y Zinc en función de la Cantidad Límite Consumible a la Semana máxima permitida de plomo y mercurio en el músculo del Guapote Tigre sin representar un riesgo para la salud .....	100
<b>XII. ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO SOSTENIBLE DEL LAGO SUCHITLÁN .....</b>	<b>103</b>
<b>XIII. PROPUESTAS PARA EL MANEJO DE LA PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN ALGUNOS TIPOS DE INDUSTRIA QUE EXISTEN EN EL PAÍS.</b>	<b>106</b>
13.1 Proceso industrial y opciones de minimización de residuos para la industria de Curtiembres .....	108
13.2 Proceso industrial y opciones de minimización de residuos para la industria de Teñido de textiles (proceso húmedo).....	110
13.3 Proceso industrial y opciones de minimización de residuos para la industria de Galvanoplastia y fabricación de otros metales.....	111
<b>XIV. CONCLUSIONES .....</b>	<b>114</b>
<b>XV. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>116</b>
<b>XVI. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>118</b>

## - INDICE DE FIGURAS -

<b>Figura 1.1.</b> Rutas físicas y biológicas del transporte de residuos peligrosos, su migración de los sitios de disposición y el potencial de exposición humana (Batstone, 1989).....	2
<b>Figura 1.2.</b> Esquema simplificado que muestra el origen de algunas transiciones de fluorescencia que aparecen tras la expulsión de un electrón de una capa interna del átomo.....	22
<b>Figura 1.3.</b> Representación esquemática de la refracción y reflexión de un haz de radiación monoenergético en función del ángulo de incidencia.....	25
<b>Figura 1.4.</b> Mapa de ubicación geográfica del Lago Suchitlán.....	29
<b>Figura 1.5.</b> Elevación de cada central hidroeléctrica ubicada en el Río Lempa, con su respectiva distancia desde la desembocadura.....	30
<b>Figura 1.6.</b> Principales afluentes al Lago Suchitlán.....	38
<b>Figura 1.7.</b> Principales Atractivos Turísticos Naturales y Culturales de la Región del Lago Suchitlán.....	43
<b>Figura 2.1.</b> División del Lago Suchitlán en tres áreas.....	47
<b>Figura 2.2.</b> Área delimitada para el estudio según matriz de decisión.....	52
<b>Figura 4.1.</b> Localización de puntos de muestreo para análisis de la calidad del agua.....	57
<b>Figura 5.1.</b> Sondeo en lancha del área delimitada de estudio para la selección de un área específica para el muestreo exploratorio.....	63
<b>Figura 5.2.</b> Sectores evaluados para seleccionar el sector para el muestreo exploratorio.....	64
<b>Figura 5.3.</b> Fachada principal del manual: "Recomendaciones para la toma de muestras de agua, biota y sedimentos en humedales Ramsar.....	65
<b>Figura 5.4.</b> Recolección manual de jacinto acuático.....	66

<b>Figura 5.5.</b> Pescado fresco colocado en una bolsa para muestras adecuadamente rotulada.....	66
<b>Figura 5.6.</b> Colección de espectros con equipo de Fluorescencia de Rayos X, usando el software Aptec.....	68
<b>Figura 5.7.</b> Ejemplo de espectro de dispersión de energías obtenido para músculo de guapote utilizando el software Aptec.....	68
<b>Figura 6.1.</b> Ubicación geográfica de los puntos de muestreo.....	72
<b>Figura 8.1.</b> Esquema del sistema de TXRF con excitación por tubo de Rayos X del Centro de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares (CIAN-FIA-UES).....	76
<b>Figura 8.2.</b> Espectro para una muestra de raíz de jacinto acuático.....	77
<b>Figura 8.3.</b> Ajuste de un espectro de raíz de jacinto acuático con AXIL.....	77
<b>Figura 9.1.</b> Gráfica comparativa de la concentración certificada y calculada para el material de referencia STDA5 expresadas en $\mu\text{g}$ de elemento/mL de solución.....	80
<b>Figura 9.2.</b> Curva de calibración de un elemento.....	82
<b>Figura 9.3.</b> Curva de sensibilidad multielemental.....	82
<b>Figura 9.4.</b> Gráfica comparativa de la concentración certificada y calculada para el material de referencia STDA5 expresadas en $\mu\text{g}$ de elemento/mL de solución.....	83
<b>Figura 9.5.</b> Curvas de calibración de Plomo y Mercurio elaboradas a partir del análisis de soluciones estándar de 0.2, 0.5 y 1 ppm por Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total.....	84
<b>Figura 9.6.</b> Gráficas comparativas de las concentraciones calculadas mediante el análisis por Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total y Absorción Atómica.....	86
<b>Figura 9.7.</b> Gráficas que representan los resultados definitivos a partir del Cuadro 7.....	88
<b>Figura 10.1.</b> Localización de fuentes contaminantes por rubro a nivel municipal en la cuenca alta del río Lempa, que aportan desechos que contienen Cr, -Cu, Zn, Hg y Pb, hasta el año 2004.....	93

<b>Figura 13.1.</b> Técnicas de minimización de residuos.....	111
<b>Figura 13.2.</b> Proceso típico del curtido y acabado del cuero, los compuestos químicos que se emplean y sus residuos.....	113
<b>Figura 13.3.</b> Diagrama de flujo del teñido textil.....	114
<b>Figura 13.4.</b> Diagrama de flujo del revestimiento con cromo de piezas decorativas de zinc.....	116



## - INDICE DE CUADROS -

<b>Cuadro 1.1.</b> Datos Agrícolas del municipio de Potonico (Chalatenango).....	32
<b>Cuadro 1.2.</b> Datos Agrícolas del municipio de San Luis del Carmen (Chalatenango).....	33
<b>Cuadro 1.3.</b> Datos Agrícolas del municipio de San Francisco Lempa (Chalatenango).....	33
<b>Cuadro 1.4.</b> Datos Agrícolas del municipio de Azacualpa (Chalatenango).....	33
<b>Cuadro 1.5.</b> Datos Agrícolas del municipio de El Paraíso (Chalatenango).....	34
<b>Cuadro 1.6.</b> Datos Agrícolas del municipio de Chalatenango (Chalatenango).....	34
<b>Cuadro 1.7.</b> Datos Agrícolas del municipio de Santa Rita (Chalatenango).....	34
<b>Cuadro 1.8.</b> Datos Agrícolas del municipio de San Rafael (Chalatenango).....	35
<b>Cuadro 1.9.</b> Datos Agrícolas del municipio de Tejutla (Chalatenango).....	35
<b>Cuadro 1.10.</b> Datos Agrícolas del municipio de Jutiapa (Cabañas).....	35
<b>Cuadro 1.11.</b> Datos Agrícolas del municipio de Cinquera (Cabañas).....	36
<b>Cuadro 1.12.</b> Datos Agrícolas del municipio de Suchitoto (Cuscatlán).....	36
<b>Cuadro 1.13.</b> Afluentes del Lago Suchitlán.....	37
<b>Cuadro 1.14.</b> Población de los municipios ribereños del Cerrón Grande.....	39
<b>Cuadro 1.15.</b> Sistemas de vías identificadas en la subcuenca del Lago Suchitlán.....	42
<b>Cuadro 1.16.</b> Rutas del transporte para el acceso a la subcuenca del Lago Suchitlán.....	44
<b>Cuadro 1.17.</b> Listado de Fauna Acuática existente en el Lago Suchitlán.....	45
<b>Cuadro 1.18.</b> Listado de Flora Acuática existente en el Lago Suchitlán.....	45
<b>Cuadro 1.19.</b> Volúmenes de especies capturadas en el Lago Suchitlán en el año 2003.....	46
<b>Cuadro 2.1.</b> Superficie Sembrada y Producción de granos básicos por Área.....	49
<b>Cuadro 2.2.</b> Matriz de Decisión para la selección del Área donde se hará el Estudio.....	51
<b>Cuadro 3.1.</b> Volúmenes de especies representativas en el Lago Suchitlán en el año 2003.....	56

<b>Cuadro 4.1.</b> Resultados de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del agua.....	58
<b>Cuadro 4.2.</b> Resultados de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del agua.....	59
<b>Cuadro 4.3.</b> Valores permisibles de propiedades fisicoquímicas y microbiológicas.....	61
<b>Cuadro 5.1.</b> Matriz de Decisión para la selección del sector para muestreo exploratorio.....	64
<b>Cuadro 5.2.</b> Resultados obtenidos por colección de espectros de cada muestra evaluada.....	69
<b>Cuadro 5.3.</b> Clasificación de las muestras por mayor presencia por metal pesado.....	70
<b>Cuadro 5.4.</b> Matriz que relaciona las propiedades de biomonitor con las especies a colectar.....	71
<b>Cuadro 7.1.</b> Datos registrados para el jacinto acuático y guapote tigre.....	74
<b>Cuadro 9.1.</b> Comparación de concentración certificada y calculada para el material de referencia STDA5 expresadas en $\mu\text{g}$ de elemento/mL de solución.....	80
<b>Cuadro 9.2.</b> Comparación de concentración certificada y calculada para el material de referencia STDA5 expresadas en $\mu\text{g}$ de elemento/mL de solución de estándar.....	83
<b>Cuadro 9.3.</b> Comparación de las concentraciones calculadas mediante el análisis por Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total y Absorción Atómica.....	85
<b>Cuadro 9.4.</b> Concentraciones definitivas de Cr, Cu, Zn, Pb y Hg en las muestras de Guapote Tigre y Jacinto Acuático, expresadas en ( $\mu\text{g}$ de elemento/g de muestra) en base seca.....	87
<b>Cuadro 10.1.</b> Rubros industriales a nivel nacional que utilizan Cr, Cu, Zn, Hg y Pb en estado elemental y en sus compuestos.....	89
<b>Cuadro 10.2.</b> Industrias presentes a nivel municipal en la cuenca alta del Río Lempa y que contaminan el Lago. Suchitlán con desechos que contienen Cr, Cu, Zn, Hg y Pb.....	91
<b>Cuadro 11.1.</b> Comparación de valores de concentración de Mercurio obtenidos en la de raíz de Jacinto Acuático con valores de contenido máximo de Mercurio para materia prima para alimento animal (todos los valores están expresados en base seca).....	96

<b>Cuadro 11.2.</b> Comparación de valores de concentración de Mercurio obtenidos en el músculo de Guapote Tigre con valores de contenido máximo de Mercurio para productos de la pesca (todos los valores están expresados en base húmeda).....	97
<b>Cuadro 11.3.</b> Comparación de valores de concentración de Plomo obtenidos en el músculo de Guapote Tigre con valores de contenido máximo de Plomo para productos de la pesca (todos los valores están expresados en base húmeda).....	97
<b>Cuadro 11.4.</b> Comparación de valores de concentración de Plomo en la raíz de Jacinto Acuático con valores de contenido máximo de Plomo para materia prima para alimento animal (todos los valores están expresados en base seca).....	98
<b>Cuadro 11.5.</b> Valores de la Cantidad Límite Consumible (CLCS) máxima permitida de Guapote Tigre en kg de carne fresca, en base al contenido de mercurio.....	99
<b>Cuadro 11.6.</b> Valores de la Cantidad Límite Consumible (CLCS) máxima permitida de Guapote Tigre en kg de carne fresca, en base al contenido de plomo.....	100
<b>Cuadro 11.7.</b> Cantidad mínima y máxima en miligramos que puede consumirse para no representar un riesgo a la salud de los metales Mercurio y Plomo.....	101
<b>Cuadro 11.8.</b> Concentraciones de los Metales Cobre, Cromo y Zinc obtenidos para las muestras de Guapote Tigre.....	101
<b>Cuadro 11.9.</b> Aporte en miligramos de los metales Cobre, Cromo y Zinc en miligramos diarios.....	102
<b>Cuadro 11.10.</b> Porcentaje de aporte en la dieta de los minerales cobre, cromo y zinc por parte de la carne de Guapote Tigre. ....	103
<b>Cuadro 13.1.</b> Opciones de minimización de residuos para la industria de Curtiembres.....	112
<b>Cuadro 13.2.</b> Opciones de minimización de residuos para la industria de Teñido de textiles.....	115
<b>Cuadro 13.3.</b> Opciones de minimización de residuos para la industria de Galvanoplastia.....	117

## - INDICE DE ANEXOS -

<b>Anexo 1:</b> Glosario de términos y siglas. ....	119
<b>Anexo 2:</b> Gráficas de propiedades fisicoquímicas y microbiológicas. ....	122
<b>Anexo 3:</b> Gráficas para propiedades fisicoquímicas y microbiológicas por CEL. ....	126
<b>Anexo 4:</b> Procedimiento para el transporte y almacenamiento del biomonitor.....	128
<b>Anexo 5:</b> Procedimiento para el secado de las muestras previo a la digestión.....	131
<b>Anexo 6:</b> Procedimiento para la digestión de las muestras.....	133
<b>Anexo 7:</b> Procedimiento para preparación de disoluciones de muestras ya digestadas.....	135
<b>Anexo 8:</b> Procedimiento para colección de espectros por Fluorescencia de Rayos X.....	137
<b>Anexo 9:</b> Fichas de punto de toma de muestra para agua.....	139
<b>Anexo 10:</b> Ficha de punto de toma de muestra para biomonitor.....	143
<b>Anexo 11:</b> Cálculo de los porcentajes de Humedad en los Biomonitores .....	158
<b>Anexo 12:</b> Cálculo de Valores de metales obtenidos en los biomonitores en base húmeda.....	159
<b>Anexo 13:</b> Ejemplo de cálculo de los valores de la Cantidad Límite Consumible (CLCS) máxima permitida de Guapote Tigre en kg de carne fresca para el mercurio y el plomo.....	167
<b>Anexo 14:</b> Ejemplo de cálculo de la cantidad mínima y máxima en miligramos que puede consumirse para no representar un riesgo a la salud de los metales Mercurio y Plomo.....	168
<b>Anexo 15:</b> Ejemplo de cálculo del aporte a la dieta alimenticia en miligramos de Cobre, Cromo y Zinc en función de la Cantidad Límite Consumible a la Semana máxima permitida de plomo y mercurio en el músculo del Guapote Tigre sin representar un riesgo para la salud.....	169
<b>Anexo 16:</b> Tabla que indica los Contenidos Máximos de Plomo y Mercurio en los Productos Alimenticios encontrada en el anexo 1 del documento CONSLEG: 2001R0466 —	

05/05/2004 que contiene el Reglamento (CE) No 466/2001 de la Comisión de las  
Comunidades Europeas.....170

**Anexo 17:** Tabla que indica Contenido máximo de Plomo y Mercurio en alimentos para animales  
encontrada en el anexo 1 del documento CONSLEG: 1999L0029 — 10/01/2002 que  
contiene la Directiva 1999/29/CE del Consejo de la Unión Europea.....174

**Anexo 18:** Tabla que indica las ingestas diarias recomendadas de vitaminas y minerales encontrada  
en el anexo 1 del documento Normativas y recomendaciones nutricionales.....176

## INTRODUCCION

Los metales pesados introducidos al ambiente por la actividad industrial perturban el equilibrio natural de estos metales producido por las fuentes naturales. Cuando este tipo de contaminantes llega al ambiente se produce el fenómeno de bioacumulación a lo largo de la cadena trófica. En el ecosistema acuático los peces se encuentran en el tope de la cadena lo que provoca una mayor concentración de metales pesados en su organismo que son bioacumulados por el hombre al ser parte de su dieta alimenticia. Las plantas acuáticas al estar en contacto directo con el agua también son capaces de bioacumular. Algunos de los metales pesados provocan enfermedades crónicas e intoxicaciones a las personas debido a que no forman parte de las funciones metabólicas y se acumulan en el organismo.

El Lago Suchitlán o Embalse Cerrón Grande es el lago artificial de mayor extensión de El Salvador. Los departamentos de Chalatenango, San Salvador, Cuscatlán y Cabañas se encuentran alrededor del Lago y todos los ríos de esta región son sus afluentes, llevando la contaminación de los desechos industriales a este punto. El embalse es muy importante para los pobladores ribereños para desarrollar sus actividades agrícolas, ganaderas, turísticas y de pesca; los productos de algunas de las actividades como la pesca son consumidos localmente y comercializados en diferentes sectores del país. Debido a esto es de interés nacional evaluar la contaminación de metales pesados que está afectando la biota del Lago Suchitlán.

En la presente investigación se evalúan los metales pesados en el mes de abril del año 2006 en el Lago Suchitlán, utilizando biomonitores seleccionados con criterios adaptados de la bibliografía. Para el análisis y la cuantificación se utiliza la técnica de análisis multielemental Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total (TXRF). Mediante la identificación de los metales presentes se realiza un análisis mediante normativas de valores permisibles e ingesta desde el punto de vista de la Ingeniería de Alimentos y se presentan alternativas de prevención de la contaminación por metales pesados para algunos tipos de industria con el enfoque de Ingeniería Química.

Además del documento impreso se presenta además una copia digital, que incorpora en una carpeta anexa los archivos mencionados en la bibliografía que pueden ser de utilidad para futuras investigaciones como fuente directa de información.

## I. FUNDAMENTO TEÓRICO

### 1.1 Generalidades de la contaminación de las aguas superficiales.

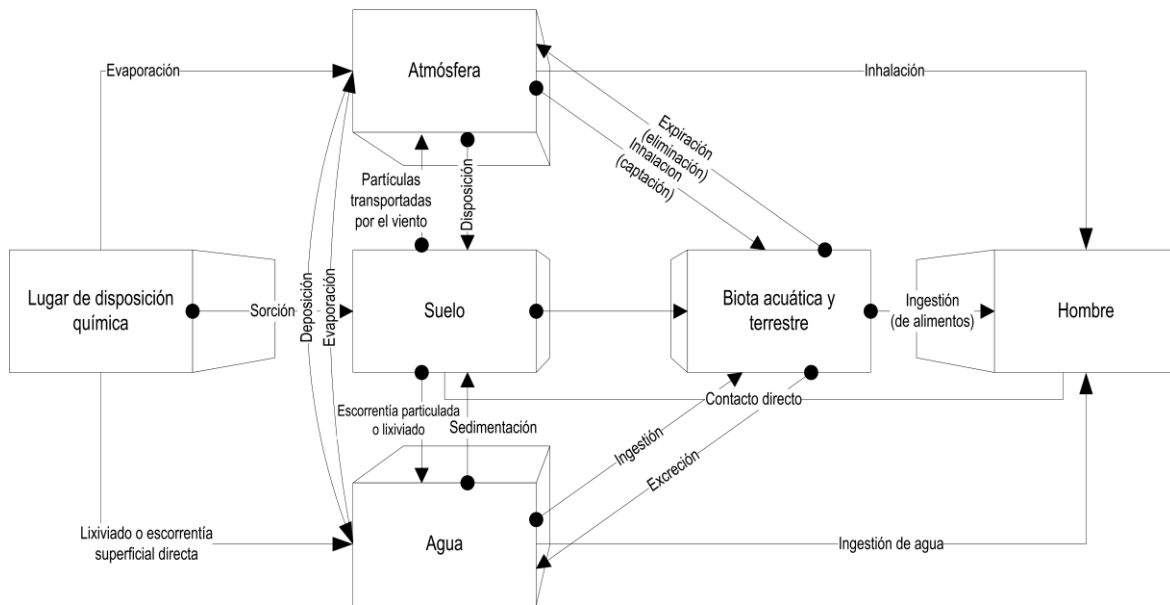
La contaminación de los recursos hídricos superficiales es un problema cada vez más grave, debido a que estos se usan como destino final de residuos domésticos e industriales, sobre todo en las áreas urbanas. Estas descargas son las principales responsables de la alteración de la calidad de las aguas naturales, que en algunos casos llegan a estar tan contaminadas que su potabilización resulta muy difícil y costosa (Vargas, 2004).

Los vertidos residuales domésticos e industriales, así como la disposición inadecuada de desechos sólidos y la aplicación de agroquímicos, pesticidas y plaguicidas en la agricultura son fuentes permanentes de contaminación del agua (Cuéllar, 2001).

El riesgo que representa a la salud la presencia de sustancias químicas es distinto al que suponen los contaminantes microbiológicos porque, por lo general, estos últimos tienen efectos más agudos. Por otra parte, son pocas las sustancias químicas que causan problemas a la salud con efectos inmediatos, en las concentraciones que normalmente pueden detectarse en el agua contaminada, ya que normalmente éstos se manifiestan tras largos períodos de exposición, por lo que las sustancias químicas que revisten especial importancia están representados por los contaminantes acumulativos (Rojas, 2002).

La Figura 1.1 señala las vías potenciales por las que pueden introducirse los residuos peligrosos. Algunas vías corresponden a un insumo directo hacia un compartimiento ambiental, como la evaporación de un producto químico en la atmósfera. Otras vías representan insumos indirectos, como la deposición atmosférica de materia particulada llevada por el viento a aguas superficiales (Batstone et al, 1989). El ambiente puede asimilar efluentes industriales a través de dos rutas principales: mediante la descomposición química en compuestos que ingresan a los ciclos naturales o como alimento para organismos vivos cuyos residuos también pueden ingresar a los ciclos naturales. En algunos casos, la asimilación hace que el tóxico sea más accesible a formas animales superiores. Por ejemplo, las sales de mercurio en los sedimentos pueden ser metiladas por bacterias

ingeridas por peces como el metilmercurio y con el tiempo se acumulan en el cuerpo humano. Según se incrementa la contaminación, en particular en centros urbanos con altas concentraciones de población e industria, la sobrecarga de la capacidad asimilativa natural se vuelve evidente en corrientes de agua, tierra y aire (Hamza, 1991).



**Figura 1.1. Rutas físicas y biológicas del transporte de residuos peligrosos, su migración de los sitios de disposición y el potencial de exposición humana (Batstone, 1989).**

La concentración de metales pesados y de otras sustancias tóxicas presentes en los efluentes industriales que se descargan en los cuerpos de agua representan riesgos para la salud humana y organismos acuáticos debido a las siguientes razones (Hamza, 1991):

- ⊕ Las sustancias tóxicas pueden tener efectos perjudiciales sobre la salud humana. Por ejemplo, los cianuros impiden las reacciones de oxidación fosforilativa que permiten la respiración celular; el mercurio y sus compuestos, en especial el metilmercurio, se asocian con casos que se caracterizan por el deterioro de la audición, de la vista y de la coordinación muscular y en algunos brotes, por la elevada tasa de mortalidad; y el plomo, considerado un contaminante mundial, puede producir una serie de efectos graves, incluidos los trastornos neurológicos.
- ⊕ La mortandad de peces a menudo se debe a la toxicidad aguda causada por la descarga de lodos o descargas accidentales de materia sumamente tóxica en la masa de agua. La toxicidad crónica causada por constantes descargas de contaminantes tóxicos de bajo nivel altera todo el equilibrio de la población acuática al destruir especies sensibles y promover que las especies



menos deseables pero más tolerantes prosperen, disminuye la provisión de alimentos de algas e invertebrados y reduce el potencial reproductivo ya que los huevos y alevines son más susceptibles que los adultos a las concentraciones subletales de tóxicos.

- ✦ Muchos materiales orgánicos pueden degradarse biológicamente en los cursos de agua y producen demandas excesivas de oxígeno. El agotamiento completo del oxígeno disuelto en un arroyo contaminado impedirá la supervivencia de la vida acuática; debido a la ausencia del oxígeno disuelto, algunos de los microorganismos emplearían el oxígeno combinado en ciertos materiales como los sulfatos, creando pestilencia y molestia.
- ✦ La materia colorante puede reducir sustancialmente la penetración de la luz y en consecuencia, afectar la producción de oxígeno fotosintético; la elevada turbiedad y las cargas bacterianas representan otros problemas estéticos que también afectan sustancialmente la calidad del agua.

## **1.2 Evaluación de la contaminación del agua utilizando biomonitores.**

La medida o el control de la calidad ambiental es una cuestión extremadamente compleja, pues tanto las características del medio físico como las de la biota son muy heterogéneas, variables y sujetas a sinergias y retroalimentaciones. Los estudios básicos sobre degradación ambiental y la mayor parte de la legislación correspondiente se basan en la medida de la concentración que alcanza una determinada sustancia tóxica en un emisario o, en el mejor de los casos, en la inmisión sobre alguno de los diferentes compartimentos abióticos (aire, agua, sedimento o suelo). Posteriormente se examinan los niveles de contaminación con relación a estándares de calidad, que se supone que sirven para proteger la salud humana u otros organismos y hábitats (Carballeira, 2000).

Sin embargo, se ha comprobado en numerosos estudios que la medida de la concentración de un contaminante en el medio no guarda relación directa con el daño producido en el sistema. Aspectos tales como transporte y transformación, biodisponibilidad, posibilidad de absorción, dosis suministrada, bioacumulación y daño causado por el tóxico, forman una cadena de procesos muy complejos y difíciles de predecir debido a que la eficiencia de cada paso depende de las condiciones fisicoquímicas del medio, del nivel biológico considerado, la interacción entre contaminantes, la época del año, etc., de tal forma que la valoración de la *salud* del sistema dista mucho de ser objetiva. Por ello, es necesario hacer uso de otras alternativas como la medida de la bioacumulación

de toxinas en organismos. Para facilitar la labor, se seleccionan solamente unos pocos organismos (bioindicadores), que en función de unas determinadas propiedades permitan obtener una idea lo más aproximada posible sobre la situación del sistema (Carballeira, 2000).

Muchos organismos, sumamente sensibles a su medio ambiente, cambian aspectos de su forma, desaparecen o, por el contrario, prosperan cuando su medio se contamina. Los *monitoreos* biológicos son muy útiles, ya que, por ejemplo, la acumulación de metales pesados en organismos acuáticos puede ser 10 millones de veces mayor a la del ambiente donde viven (Navarrete, 2003).

Según Carballeira (2000) habitualmente la monitorización ambiental se realiza de tres formas, de manera aislada o conjunta: monitorización de la tasa de liberación de los contaminantes (emisión), monitorización del grado y variación de los contaminantes en el ambiente (inmisión) y monitorización de los efectos bioecológicos. Mientras que las dos primeras formas se refieren a monitorizaciones químicas, la tercera, la monitorización biológica, se centra en: 1) determinar los niveles de contaminantes en las poblaciones animales y vegetales (bioacumulación), y 2) en la evaluación de los efectos ecotoxicológicos de los sistemas expuestos. Sólo mediante la relación entre niveles de bioacumulación/respuestas ecotoxicológicas es posible establecer normas de protección ambiental ajustadas a cada tipo de contaminación y ambiente o región.

No siempre las técnicas analíticas son lo suficientemente sensibles o no están desarrolladas para medir algunos contaminantes dentro de un plan de vigilancia permanente en tiempo real. La periodicidad de la monitorización química puede influir claramente en la detección del contaminante, ignorando concentraciones significativas ocasionales. La biomonitorización suministra información sobre la respuesta de la biota integrando los efectos del ambiente y de los contaminantes, lo que no puede ser determinado directamente con medidas fisicoquímicas (Carballeira, 2000).

### **1.2.1 Propiedades del biomonitor**

Las especies indicadoras son aquellos organismos (o restos de los mismos) que ayudan a descifrar cualquier fenómeno o acontecimiento actual (o pasado) relacionado con el estudio de un ambiente. Las especies tienen requerimientos físicos, químicos, de estructura del hábitat y de relaciones con

otras especies. A cada especie o población le corresponden determinados límites de estas condiciones ambientales entre las cuales los organismos pueden sobrevivir (límites máximos), crecer (intermedios) y reproducirse (límites más estrechos) (Navarrete, 2003).

Carballeira (2000) establece que los biomonitores pueden ser de dos tipos: *acumuladores* o directos y *sensitivos* o indirectos. En los primeros se explota su capacidad de acumulación corporal de compuestos químicos y en los segundos su sensibilidad diferencial frente a los contaminantes cuantificables ópticamente (abundancia relativa, cambios morfológicos, alteraciones etológicas...) o a través de sus respuestas fisiológico-bioquímicas (tasa fotosintética, actividad enzimática, etc.). Un biomonitor puede suministrar los dos tipos de información al mismo tiempo, y, si la indicación la suministra en tiempo real, se denomina *organismo centinela*<sup>1</sup>.

Según Carballeira (2000) es imposible estudiar todo tipo de organismos, es necesario seleccionar aquellos que ofrezcan la mejor información sobre el ecosistema. Los biomonitores deben cumplir una serie de criterios y requerimientos. De manera resumida, para que un organismo sea un buen monitor debe cumplir una serie de requisitos generales:

- ⊕ Poseer una amplia distribución geográfica y ecológica, lo que permite la comparación de resultados.
- ⊕ Ser común y relativamente estático para tener una referencia espacial clara.
- ⊕ Estar disponible todo el año y, si es posible, varios años, con el fin de seguir la evolución de la contaminación en el tiempo y por clases de edad.
- ⊕ Poseer una talla o densidad suficiente para poder disponer de biomasa mínima para los análisis.
- ⊕ Un biotopo y un comportamiento que faciliten el muestreo y la manipulación de laboratorio y campo respectivamente.
- ⊕ Buen acumulador, de tal forma que la concentración corporal, por un lado, sea lo suficientemente elevada para permitir su análisis directo (factor de bioacumulación elevado<sup>2</sup>).

---

<sup>1</sup> Los centinelas suelen ser organismos muy sensibles que se someten artificialmente a las condiciones de un medio y funcionan como alarmas para detectar la presencia de contaminantes. Cada día son más utilizados, sobre todo en el medio acuático.

<sup>2</sup> El factor de bioacumulación es un término general que no distingue entre la vía de incorporación del contaminante. Así, si éste procede directamente del medio, se denomina factor de bioconcentración (concentración corporal/concentración en el medio) y, si se adquiere por vía trófica, factor de biomagnificación (concentración en el depredador/ concentración en la presa).

- ⊕ Debe presentar una relativa tolerancia a los contaminantes, es decir, debe ser capaz de acumular el contaminante sin alterar significativamente su comportamiento bioacumulador.

A estas características habría que añadir otras como: velocidad de reequilibrio lenta para poder detectar perturbaciones accidentales; conservación sencilla; importancia desde una perspectiva ecológica (especie clave) o económica y para la salud humana (especie comercial). Además hay que tener en cuenta que la fiabilidad de un bioindicador está controlada por factores extrínsecos o ambientales (pH, temperatura, forma de la deposición, etc.) e intrínsecos (estado fisiológico y época del año, edad y sexo, interferencia entre contaminantes, etc.) (Carballeira, 2000).

### **1.2.2 Antecedentes del uso de biomonitores en El Salvador**

El río Lempa es el más largo de la vertiente del Pacífico de Centroamérica, y muy importante para El Salvador como fuente de pesca, regadíos, generación de energía eléctrica, agua potable, principalmente. FUSADES (2000) realizó un estudio que se concentró en detectar la presencia de bacterias indicadoras de contaminación fecal, pesticidas y metales en diferentes zonas de la cuenca del río Lempa.

La determinación de metales en los diferentes ecosistemas acuáticos de El Salvador ha merecido la atención de pocas investigaciones científicas (RPI, 1994; Barraza, 1998; FUSADES, 2000). Aunque existen otras investigaciones cuyo acceso es restringido.

PROARCA/CAPAS (2000) estableció niveles de metales pesados en sedimentos y biota propia del río Lempa (desde la presa 15 de Septiembre hasta la bocana del río), en las diferentes estaciones del año. Para ello se realizaron extracciones ácidas fuertes para sedimentos y material vegetal (raíces de jacinto de agua), así como extracciones débiles de los sedimentos. En estudios realizados por CEL/HARZA<sup>3</sup> (1999), se encontraron en muestras de tilapia, guapote y bagre, concentraciones de cromo y plomo que exceden al valor límite recomendado por la USA-FDA (United State and Food Administration) y la USA-EPA (United State Environmental Protection Agency). Dichas especies son

---

<sup>3</sup> HARZA Engineering Company International.

comunes en el país y representativas de las preferencias de los pobladores de la zona del humedal; de donde se infiere la magnitud del problema.

### **1.3 Contaminación por Metales Pesados.**

De los 106 elementos conocidos por el hombre, 84 son metales, por lo que no es de extrañar que las posibilidades de contaminación metálica en el ambiente sean numerosas. Hay que tener presente que los metales son materias naturales que han desempeñado un papel fundamental en el desarrollo de las civilizaciones. El problema surge cuando prolifera su uso industrial. Y su empleo creciente en la vida cotidiana termina por afectar a la salud. De hecho, el crecimiento demográfico en zonas urbanas y la rápida industrialización han provocado serios problemas de contaminación y deterioro del ambiente, sobre todo, en los países en vías de desarrollo (Consumer EROSKI, 2005).

Contaminantes como los metales pesados tienen la capacidad de provocar cambios evolutivos debido a sus efectos dañinos en plantas. Los metales pesados son potencialmente contaminantes devastadores ya que contaminan el aire, el agua y la tierra utilizados por las plantas y los demás eslabones de las cadenas tróficas. Sus efectos en las plantas incluyen: necrosis en las puntas de las hojas e inhibición del crecimiento de las raíces, junto con muchas fatalidades en muchas especies de plantas incapaces de tolerar estos metales (Eco sitio, 2005).

La actividad industrial y minera arroja al ambiente metales tóxicos como plomo, mercurio, cadmio, arsénico y cromo, muy dañinos para la salud humana y para la mayoría de formas de vida. La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables. Una vez emitidos, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años. Además, su concentración en los seres vivos aumenta a medida que son ingeridos por otros, por lo que la ingesta de plantas o animales contaminados puede provocar síntomas de intoxicación. De hecho, la toxicidad de estos metales ha quedado documentada a lo largo de la historia: los médicos griegos y romanos ya diagnosticaban síntomas de envenenamientos agudos por plomo mucho antes de que la toxicología se convirtiera en ciencia (Consumer EROSKI, 2005).

A continuación se presenta una descripción de los metales pesados: Cromo, Cobre, Zinc, Plomo y Mercurio, correspondiente a una caracterización general de algunas de sus propiedades, usos en la industria y efectos en la salud humana.

### **1.3.1 Características del Cobre y sus efectos en la salud humana (ATSDR, 2004).**

El cobre es un metal rojizo que ocurre naturalmente en las rocas, el agua, los sedimentos y, en niveles bajos, el aire. El cobre también ocurre naturalmente en todas las plantas y animales. En bajas concentraciones en la dieta es un elemento esencial para todos los organismos, incluyendo a los seres humanos y otros animales. A niveles mucho más altos pueden ocurrir efectos tóxicos, no sólo al metal cobre, sino que también a los compuestos de cobre que se pueden encontrar en el ambiente.

El cobre es usado principalmente por sí solo o en aleaciones en la manufactura de alambre, láminas de metal, cañerías y otros productos de metal. Los compuestos de cobre se usan comúnmente en agricultura para tratar enfermedades de las plantas, por ejemplo hongos, o para el tratamiento de aguas y como preservativo para madera, cuero y telas. El cobre también puede entrar al medio ambiente desde basurales, del agua residual doméstica, de la combustión de desperdicios y combustibles fósiles, de la producción de madera, de la producción de abonos de fosfato y de fuentes naturales (por ejemplo, polvo en el aire, desde el suelo, volcanes, vegetación en descomposición, incendios forestales y de la espuma del mar). Por lo tanto, el cobre está ampliamente distribuido en el medio ambiente.

Cuando el cobre y los compuestos de cobre se liberan al agua, el cobre que se disuelve puede ser transportado en el agua de superficie ya sea en la forma de compuestos de cobre o cobre libre o, con más probabilidad, como cobre unido a partículas suspendidas en el agua. El cobre que entra al agua se deposita eventualmente en los sedimentos de los ríos, lagos y estuarios. El cobre elemental no se degrada en el ambiente. El cobre se puede encontrar en plantas y en animales, y en concentraciones altas en organismos que filtran sus alimentos como por ejemplo mejillones y ostras. El cobre también se encuentra en una variedad de concentraciones en muchas bebidas y alimentos, incluso en el agua potable.

Después de ingerirlo o beberlo, el cobre entra rápidamente a la corriente sanguínea y es distribuido a través del cuerpo. Algunas sustancias en los alimentos pueden afectar la cantidad de cobre que entra a la corriente sanguínea desde el tracto gastrointestinal. El cuerpo es muy efectivo en impedir que niveles altos de cobre entren a la corriente sanguínea. No se sabe cuanto cobre entra al cuerpo a través de los pulmones o la piel. El cobre abandona su cuerpo en las heces y la orina, pero principalmente en las heces. Tarda varios días para que el cobre abandone el cuerpo. Generalmente, la cantidad de cobre en el cuerpo se mantiene constante (la cantidad que entra al cuerpo es igual a la cantidad que abandona el cuerpo).

El cobre es esencial para mantener buena salud. Sin embargo, la exposición a dosis altas puede ser perjudicial. La exposición prolongada a polvos de cobre puede irritar la nariz, la boca, los ojos y causar dolores de cabeza, mareo, náusea y diarrea. Si se bebe agua que contiene niveles de cobre más altos que lo normal, puede que sufra náusea, vómitos, calambres estomacales o diarrea. La ingestión intencional de niveles altos de cobre puede producir daño del hígado y los riñones y puede causar la muerte. No se sabe si el cobre puede producir cáncer en seres humanos. La EPA no ha clasificado al cobre en cuanto carcinogenicidad en seres humanos porque no hay estudios adecuados en seres humanos o en animales.

La exposición a niveles altos de cobre producirá los mismos efectos en niños y en adultos. No se sabe si estos efectos ocurrirían con las mismas dosis en niños y en adultos. Los estudios en animales sugieren que los niños pueden sufrir efectos más graves que los adultos; no se sabe si esto también sucedería en seres humanos. Hay un porcentaje muy pequeño de niños que son excepcionalmente sensibles al cobre. No se sabe si el cobre puede causar defectos de nacimiento u otras alteraciones del desarrollo en seres humanos. Los estudios en animales sugieren que la ingestión de niveles altos de cobre puede reducir el crecimiento del feto.

### **1.3.2 Características del Cromo y sus efectos en la salud humana (ATSDR, 2000).**

El cromo es un elemento natural que se encuentra en las rocas, los animales, las plantas, el suelo y en polvo y gases volcánicos. El cromo está presente en el ambiente en varias formas diferentes. Las formas más comunes son el cromo metálico (0), el cromo trivalente (III) y el cromo hexavalente (VI).

El cromo (III) ocurre naturalmente en el ambiente y es un elemento nutritivo esencial que el cuerpo requiere para promover la acción de la insulina de manera que los azúcares, las proteínas y las grasas puedan ser utilizadas por el organismo. El cromo (VI) y el cromo (0) son producidos generalmente por procesos industriales. No se ha asociado ningún sabor u olor con los compuestos de cromo.

El cromo metálico (cromo cero [0]), es un sólido de color acero-grisáceo que se derrite a temperatura muy alta. Se usa principalmente para producir acero y otras aleaciones (mezclas de metales). El mineral cromita, que contiene la forma de cromo (III) y que ocurre naturalmente, se usa como ladrillo de revestimiento en hornos industriales, en la manufactura de metales y aleaciones y de sustancias químicas. Los compuestos de cromo, principalmente las formas de cromo (III) y (VI), producidas por la industria se usan para cromado de metales, manufactura de colorantes y pigmentos, curtido de cuero y preservación de madera. Cantidades menores se usan en barrenas usadas en la extracción de petróleo, inhibidores de corrosión, en la industria textil y en tóner para copadoras.

En el aire, los compuestos de cromo se encuentran principalmente en forma de pequeñas partículas de polvo. Eventualmente, este polvo se deposita sobre la tierra y el agua. La lluvia y la nieve ayudan a remover el cromo del aire. Los compuestos de cromo generalmente permanecen en el aire menos de 10 días. Aunque la mayor parte del cromo en el agua se adhiere a partículas de tierra y a otros materiales y se deposita en el fondo, una pequeña cantidad puede disolverse en el agua. Los peces no acumulan mucho cromo del agua en el cuerpo.

El cromo (III) es un elemento nutritivo esencial que ayuda al cuerpo a utilizar el azúcar, las proteínas y la grasa. Para adultos se recomienda una ingesta diaria de 50-200  $\mu\text{g}$  de cromo (III). Se estima que como promedio, los adultos en los Estados Unidos consumen 60-80  $\mu\text{g}$  de cromo al día en los alimentos. Por lo tanto, la dieta de muchas personas puede no proveer suficiente cromo (III).

Sin el cromo (III) en la dieta, el cuerpo pierde la capacidad para utilizar propiamente los azúcares, proteínas o grasa, lo que puede producir pérdida de peso o retardo del crecimiento, funcionamiento anormal del sistema nervioso y una condición similar a la diabetes. Por lo tanto, los compuestos de



chromo (III) han sido usados como suplementos dietéticos y son beneficiosos si se toman en las dosis recomendadas.

En general, el chromo (VI) es más tóxico que el chromo (III). Respirar altos niveles (mayores que 2 µg/m<sup>3</sup>) de chromo (VI), tal como en un compuesto conocido como ácido crómico o trióxido de chromo (VI), puede producir irritación de la nariz, estornudos, comezón, hemorragias nasales, úlceras, y perforaciones en el tabique nasal. Estos efectos han ocurrido principalmente en trabajadores que manufacturan o usan chromo (VI) durante meses o años. La exposición prolongada al chromo ha sido asociada con cáncer del pulmón en trabajadores expuestos a niveles en el aire 100 a 1,000 veces más altos que los que se encuentran naturalmente en el ambiente. El cáncer del pulmón puede ocurrir mucho después que la exposición ha terminado. Se cree que el chromo (VI) es el principal causante del aumento en la tasa de cáncer del pulmón en trabajadores expuestos a altos niveles de chromo en el aire del trabajo. Respirar pequeñas cantidades de chromo (VI) durante períodos breves o prolongados no causa problemas en la mayoría de la gente.

Sin embargo, los altos niveles de chromo en el trabajo han producido ataques de asma en gente que es alérgica al chromo. Respirar chromo (III) no produce irritación de la nariz o de la boca en la mayoría de la gente. Asimismo, ingerir pequeñas cantidades de chromo (VI) no causa problemas; sin embargo, ingerir cantidades más altas ha producido malestar estomacal, úlceras, convulsiones, daño del hígado y el riñón y aun la muerte. Los niveles de chromo (VI) que produjeron estos efectos fueron mucho más altos a los que se puede estar expuesto a través de los alimentos o el agua. Aunque el chromo (III) en pequeñas cantidades es un elemento nutritivo que el cuerpo necesita, ingerir grandes cantidades de chromo (III) puede causar problemas a la salud. Los trabajadores que tuvieron contacto con líquidos o sólidos que contenían chromo (VI) desarrollaron úlceras en la piel. Ciertas personas son extremadamente sensibles al chromo (VI) o al chromo (III). En estas personas se han observado reacciones alérgicas que se manifiestan en serio enrojecimiento e hinchazón de la piel. La exposición al chromo (III) es menos probable que cause salpullidos en personas sensibles al chromo que la exposición al chromo (VI).

El chromo metálico (0) es menos común y no ocurre naturalmente. No se sabe mucho acerca de sus efectos a la salud, pero actualmente se cree que el chromo (0) no constituye un riesgo importante

para la salud. No hay ninguna información confiable que sugiera que el cromo (cualquier forma) afecta adversamente la reproducción o que causa defectos de nacimiento en seres humanos. Sin embargo, es improbable que los niveles de cromo a los cuales está expuesta la mayoría de la gente afecten la reproducción o el desarrollo.

### **1.3.3 Características del Zinc y sus efectos en la salud humana (ATSDR, 2005a).**

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

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

Los compuestos de zinc son extensamente usados en la industria. El sulfuro de zinc y el óxido de zinc se usan para fabricar pintura blanca, cerámicas y otros productos. El óxido de zinc se usa también en la manufactura de caucho. Los compuestos de zinc como el acetato de zinc, cloruro de zinc y sulfato de zinc se usan para preservar madera y en la manufactura de colorantes para telas. El cloruro de zinc también es el ingrediente principal en el humo de bombas de humo. Los compuestos de zinc son usados por la industria farmacéutica como ingredientes en algunos productos comunes como por ejemplo, suplementos vitamínicos, bloqueadores de sol, ungüentos para salpullidos causados por pañales, desodorantes, preparaciones para curar pie de atleta, preparaciones para tratar hiedra ponzoñosa y acné y champús para la caspa.

El lodo y los abonos también contribuyen al aumento de los niveles de zinc en el suelo. En el aire, el zinc está presente principalmente en forma de partículas finas de polvo. Este polvo eventualmente se deposita sobre la tierra y el agua. La lluvia y la nieve ayudan a remover el zinc del aire. La mayor

parte del zinc en lagos y ríos se deposita en el fondo. Sin embargo, una pequeña cantidad puede permanecer disuelta en el agua o suspendida en forma de partículas finas. La cantidad de zinc disuelta en el agua puede aumentar a medida que la acidez del agua aumenta. Los peces pueden incorporar en el cuerpo zinc del agua en que nadan y de los alimentos que consumen.

El zinc es un elemento esencial que el cuerpo necesita en pequeñas cantidades. Todo el mundo está expuesto al zinc en los alimentos. Los alimentos pueden contener niveles de zinc entre aproximadamente 2 partes de zinc por millón (2 ppm) de partes de alimento (por ejemplo, hortalizas como lechuga y espinaca) y 29 ppm (carne, pescado, aves de corral). El zinc es esencial para el desarrollo y crecimiento normales en niños. Las tasas de defectos de nacimiento y bajo peso al nacer fueron más altas en los hijos de mujeres que no consumieron suficiente zinc durante el embarazo que en los hijos de mujeres que consumieron niveles de zinc suficientes.

El zinc puede entrar al cuerpo a través del sistema digestivo cuando usted ingiere alimentos o agua que lo contienen. El zinc también puede entrar a través de los pulmones si usted inhala polvos o vapores de zinc provenientes de fundición de zinc o de soldar con zinc en el trabajo. La cantidad de zinc que pasa directamente a través de la piel es relativamente baja. La ruta de exposición más probable cerca de sitios de desechos es a través de la ingestión de agua contaminada con zinc. El zinc es almacenado en el cuerpo. Después de exposición al zinc, la cantidad de zinc en la sangre y en los huesos aumenta rápidamente. El zinc puede permanecer en los huesos durante muchos días después de la exposición. Normalmente, el zinc abandona el cuerpo en la orina y las heces.

Inhalar grandes cantidades de zinc (en forma de vapor o polvos durante fundición o soldadura) puede producir una enfermedad de corta duración llamada fiebre de vapores de metal que es generalmente reversible una vez que la exposición cesa. Sin embargo, poco se sabe de los efectos a largo plazo de respirar polvos o vapores de zinc.

La ingestión de demasiado zinc a través de los alimentos, el agua o suplementos dietéticos también puede afectar la salud. Los niveles de zinc que producen efectos adversos son mucho más altos que la ingesta diaria de zinc que se recomienda (RDA) de 11 mg/día para hombres y 8 mg/día para mujeres. La ingestión de dosis muy altas de zinc (10 a 15 veces más altas que la RDA), aun durante

un período breve, puede producir calambres estomacales, náusea y vómitos. La ingestión de niveles altos de zinc durante varios meses puede producir anemia, daño del páncreas y disminución del tipo de colesterol beneficioso en la sangre.

Investigaciones que consistían en la ingestión de alimentos con grandes cantidades de zinc (1,000 veces más altas que la RDA) durante varios meses produjo un sinnúmero de efectos en ratas, ratones y hurones incluyendo anemia y daño del páncreas y el riñón. Las ratas que ingirieron cantidades muy altas de zinc sufrieron infertilidad.

Las ratas que ingirieron cantidades muy altas de zinc durante la preñez tuvieron crías de menor tamaño. La aplicación de pequeñas cantidades de ciertos compuestos de zinc, por ejemplo acetato de zinc y cloruro de zinc, en la piel de conejos, cobayos y ratones produjo irritación de la piel. Es probable que esto también ocurra en seres humanos. La EPA ha determinado que debido a falta de información, el zinc no es clasificable en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos. El consumo de muy poco zinc es un problema a la salud tan importante como el consumo de demasiado zinc. Sin el zinc necesario en la dieta, la gente puede experimentar pérdida del apetito, disminución del sentido del gusto y del olfato y de la función del sistema inmunitario, cicatrización lenta de las heridas y llagas en la piel. Muy poco zinc en la dieta también puede producir órganos sexuales mal desarrollados y retardo del crecimiento en hombres jóvenes. Si una mujer embarazada no ingiere suficiente zinc, sus bebés pueden nacer con defectos de nacimiento.

#### **1.3.4 Características del Plomo y sus efectos en la salud humana (ATSDR, 2005b).**

El plomo es un metal pesado, de baja temperatura de fusión, de color gris-azulado que ocurre naturalmente en la corteza terrestre. Sin embargo, raramente se encuentra en la naturaleza en la forma de metal. Generalmente se encuentra combinado con otros dos o más elementos formando compuestos de plomo.

El plomo y las aleaciones de plomo son componentes comunes de cañerías, baterías, pesas, proyectiles y municiones, revestimientos de cables y láminas usadas para protegernos de la radiación. El principal uso del plomo es en baterías para automóviles y otros vehículos. Los

compuestos de plomo se usan como pigmentos en pinturas, en barnices para cerámicas y en materiales de relleno. La cantidad de plomo que se usa en estos productos se ha reducido en años recién pasados para minimizar los efectos nocivos del plomo sobre los seres humanos y los animales.

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

Los niveles de plomo pueden ser más altos en plantas y animales en áreas donde el aire, el agua o el suelo están contaminados con plomo. Todos los días hay contacto de la piel con polvo o tierra que contienen plomo. Estudios recientes han demostrado que joyas baratas que se venden al público en general pueden tener niveles altos de plomo que puede pasar a la piel por contacto directo. Sin embargo, muy poco plomo entra al cuerpo a través de la piel.

Cierta porción del plomo que entra al cuerpo proviene de respirar polvo o sustancias químicas que contienen plomo. Una vez que el plomo entra a los pulmones, es distribuido rápidamente a otras partes del cuerpo por la sangre.

Las partículas que son demasiado grandes como para entrar a los pulmones pueden ser expulsadas hacia la garganta en donde son tragadas. También se puede ingerir plomo si come alimentos o se toma líquidos que lo contienen. La mayor parte del plomo que entra al cuerpo entra por la boca; sin embargo, una porción muy pequeña de la cantidad de plomo que usted traga pasa a la sangre y a otras partes del cuerpo. La cantidad de plomo que entra al cuerpo desde el estómago depende en parte del lapso transcurrido desde que se comió la última cena. También depende de su edad y de la facilidad con la que las partículas de plomo se disuelven en el jugo estomacal. Experimentos llevados a cabo en voluntarios han demostrado que en adultos que recién cenaron, solamente un 6% de la cantidad de plomo que ingirieron pasó a la sangre desde el estómago. En adultos que no habían comido durante 24 horas, aproximadamente 60 a 80% del plomo en el estómago pasó a la sangre. En general, si adultos y niños tragan una cantidad similar de plomo, una proporción mayor

de la cantidad que tragan los niños pasará a la sangre. Los niños absorben aproximadamente un 50% de la cantidad de plomo que ingieren.

El polvo y la tierra que contienen plomo pueden adherirse a su piel, pero solamente una pequeña porción del plomo pasará a través de la piel y entrará a la sangre si no se lava la piel. Sin embargo, se puede tragar accidentalmente el plomo que está en las manos cuando se come alimentos, toma líquidos, fuma, o se aplica cosméticos (por ejemplo, bálsamo para los labios). Una cantidad mayor de plomo puede pasar a través de piel que ha sido dañada (por ejemplo, rasguños y heridas).

Poco después de que el plomo entra al cuerpo, la sangre lo distribuye a órganos y tejidos (por ejemplo, el hígado, los riñones, los pulmones, el cerebro, el bazo, los músculos y el corazón). Después de varias semanas, la mayor parte del plomo se moviliza hacia los huesos y los dientes. En adultos, aproximadamente 94% de la cantidad total de plomo en el cuerpo se encuentra en los huesos y los dientes. En cambio en niños, aproximadamente 73% del plomo en el cuerpo se almacena en los huesos. Cierta cantidad de plomo puede permanecer en los huesos durante décadas. Sin embargo, bajo ciertas condiciones parte del plomo puede abandonar los huesos y entrar nuevamente a la sangre y a los tejidos y órganos (por ejemplo, durante el embarazo y la lactancia, cuando se fractura un hueso y en la vejez).

Una vez en el cuerpo, el plomo que no se almacena en los huesos abandona el cuerpo en la orina o las heces. Aproximadamente 99% de la cantidad de plomo que entra al cuerpo de un adulto abandonará el cuerpo en la orina y las heces dentro de dos semanas. Sin embargo, solamente 32% del plomo que entra al cuerpo de un niño abandonará el cuerpo en el mismo período. Si la exposición es continua, no todo el plomo que entra al cuerpo será eliminado, lo que puede causar acumulación de plomo en los tejidos, especialmente en los huesos.

Los efectos del plomo son los mismos, independientemente de como entra al cuerpo. El plomo afecta principalmente al sistema nervioso, tanto en niños como en adultos. La exposición ocupacional prolongada de adultos al plomo ha causado alteraciones en algunas funciones del sistema nervioso. La exposición al plomo también puede producir debilidad en los dedos, las muñecas o los tobillos. La exposición al plomo también puede producir anemia. Los niveles de

exposición altos pueden dañar seriamente el cerebro y los riñones en adultos o en niños y pueden causar la muerte. En mujeres embarazadas, los niveles de exposición altos pueden producir abortos. En hombres, la exposición a altos niveles de plomo puede alterar la producción de espermatozoides.

No se ha demostrado definitivamente que el plomo produce cáncer (es carcinogénico) en seres humanos. Ratas y ratones a los que se administró dosis altas de un tipo de compuesto de plomo desarrollaron tumores en el riñón. El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) de los Estados Unidos ha determinado que es razonable predecir que el plomo y los compuestos de plomo son carcinogénicos en seres humanos basado en evidencia limitada en estudios de seres humanos y en evidencia suficiente en estudios en animales. La EPA ha determinado que el plomo es probablemente carcinogénico en seres humanos. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha determinado que el plomo inorgánico es probablemente carcinogénico en seres humanos. La IARC ha determinado que los compuestos orgánicos de plomo no son clasificables en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos basado en evidencia inadecuada de estudios en seres humanos y en animales.

### **1.3.5 Características del Mercurio y sus efectos en la salud humana (ATSDR, 1999).**

El mercurio metálico es un metal brillante de color blanco-plateado en forma líquida a temperatura ambiente. El mercurio metálico es la forma elemental o la forma pura de mercurio (no está combinado con otros elementos). El mercurio metálico es el típico líquido metálico usado en termómetros y en algunos interruptores eléctricos. A temperatura ambiente, alguna cantidad de mercurio metálico se evaporará al aire y formará vapores de mercurio. Los vapores de mercurio son incoloros e inodoros.

Hay potencialmente un gran número de compuestos de mercurio orgánico; sin embargo, el más común en el ambiente es el metilmercurio (llamado también monometilmercurio). En el pasado, un compuesto de mercurio orgánico llamado fenilmercurio se usó en algunos productos comerciales. Otro producto de mercurio orgánico llamado dimetilmercurio también se usa en pequeñas cantidades como norma de referencia en ciertas pruebas químicas.

Algunos microorganismos (bacterias y hongos) y procesos naturales pueden transformar al mercurio en el ambiente de una forma a otra. El compuesto de mercurio orgánico más común que generan los microorganismos y los procesos naturales a partir de otras formas es el metilmercurio. El metilmercurio es particularmente problemático porque puede acumularse en algunas partes comestibles de peces de agua dulce y agua salada y en mamíferos acuáticos en niveles mucho más altos que los niveles del agua que los rodea.

El mercurio metálico líquido tiene muchos usos diferentes. Se usa en la producción de cloro gaseoso y soda cáustica, y en la extracción de oro de minerales o de artículos que contienen oro. También se usa en termómetros, barómetros, baterías e interruptores eléctricos. Las empastaduras bucales de color plateado contienen típicamente cerca de 50% de mercurio metálico.

Algunos compuestos de mercurio inorgánico se usan como fungicidas. Las sales inorgánicas de mercurio, incluso el cloruro de mercurio amoniacal y el ioduro mercúrico se han usado en cremas para aclarar la piel. El cloruro mercúrico es un antiséptico o desinfectante local. El sulfuro mercúrico y el óxido mercúrico pueden usarse para dar color a pinturas, y el sulfuro mercúrico es uno de los agentes para dar color rojo a tatuajes.

El mercurio puede entrar a los alimentos y acumularse en la cadena alimentaria. La forma de mercurio que se acumula en la cadena alimentaria es el metilmercurio. El mercurio inorgánico no se acumula en la cadena alimentaria en cantidades significativas. Cuando peces pequeños ingieren metilmercurio en sus alimentos, el mercurio pasa a sus tejidos. Cuando peces más grandes se comen a los peces pequeños o a otros organismos que contienen metilmercurio, la mayor parte del metilmercurio que se encontraba originalmente en el pez pequeño se acumulará en el cuerpo del pez más grande. Como resultado, los peces de mayor tamaño y de más edad que habitan aguas contaminadas acumulan las cantidades más altas de metilmercurio en sus cuerpos.

Una fuente potencial de exposición al mercurio metálico para la población general es el mercurio que se libera desde amalgamas dentales. Una amalgama es una mezcla de metales. La amalgama usada en las empastaduras de color plateado contiene aproximadamente 50% de mercurio metálico, 35% de plata, 9% de estaño, 6% de cobre y pequeñas cantidades de zinc. La amalgama recién



preparada es una pasta blanda que se aplica en la superficie del diente. Se endurece en 30 minutos. Una vez que la amalgama se ha endurecido, el mercurio queda adherido a otros componentes dentro de la amalgama, pero cantidades muy pequeñas se liberan lentamente de la superficie de la empastadura debido a corrosión o al masticar o triturar alimentos.

Algunas personas pueden estar expuestas a niveles más altos de mercurio en la forma de metilmercurio si llevan una dieta abundante en pescado, mariscos o mamíferos acuáticos (ballenas, focas, delfines y morsas) que provienen de aguas contaminadas con mercurio. El metilmercurio se acumula en la cadena alimentaria, de manera que los peces en la cima de la cadena alimentaria tendrán la cantidad más alta de mercurio en sus tejidos. Entre estos peces, los de mayor tamaño (los de más edad), tendrán los niveles de mercurio más altos.

El sistema nervioso es muy susceptible al mercurio. En intoxicaciones que ocurrieron en otros países, algunas personas que consumieron pescado contaminado con altas cantidades de metilmercurio o semillas de granos tratadas con metilmercurio u otros compuestos de mercurio sufrieron daño permanente del cerebro y los riñones. El daño permanente del cerebro también ha ocurrido después de exposición a altas cantidades de mercurio metálico. No se sabe con certeza si la exposición a compuestos de mercurio inorgánico también daña el cerebro y los nervios, ya que no pasa fácilmente de la sangre al cerebro.

Las diferentes formas de mercurio tienen efectos diferentes sobre el sistema nervioso debido a que no todas se movilizan de manera similar a través del cuerpo. Cuando se inhalan vapores de mercurio metálico, éstos rápidamente entran a la corriente sanguínea y se distribuyen a través del cuerpo y llegan al cerebro. Respirar o tragar grandes cantidades de metilmercurio también afecta al sistema nervioso porque alguna cantidad de mercurio entra al cerebro. Las sales de mercurio inorgánicas, como el cloruro mercúrico, no entran al cerebro tan fácilmente como el metilmercurio o el vapor de mercurio metálico.

Los riñones también son susceptibles a los efectos del mercurio porque el mercurio se acumula en los riñones. Esto significa alta exposición para estos tejidos y a su vez más daño. Todas las formas del mercurio pueden dañar los riñones si cantidades suficientemente altas entran al cuerpo. Si el

daño causado no es demasiado serio, los riñones pueden recuperarse una vez que el cuerpo se deshace de la contaminación.

#### **1.4 Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total (Nascimento, 1999).**

El análisis multielemental instrumental por **fluorescencia de rayos X** (XRF) es basado en la medida de las intensidades de los rayos X característicos emitidos por los elementos químicos componentes de la muestra, cuando es debidamente excitada. Hasta el año 1966 la XRF era realizada únicamente por espectrómetros de **dispersión por longitud de onda** (WD-XRF, abreviación de *wave-length dispersive X-ray fluorescence*), basados en la ley de Bragg, los cuales necesitan de un movimiento sincronizado y preciso entre el cristal difractor y el detector.

Con el desenvolvimiento del detector semiconductor de Si (Li), capaz de discriminar rayos X de energías próximas, fue posible el surgimiento de Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total (TXRF).

Esta técnica se está desarrollando bastante en los últimos años y ha sido aplicada principalmente al análisis de elementos trazas en muestras líquidas (en orden de microlitros), en investigaciones ligadas a áreas como el Monitoreo Ambiental, Oceanografía, Biología, Medicina, Industria, Mineralogía. Específicamente en análisis de aguas superficiales y subterráneas, fluidos biológicos y control de calidad de productos de alta pureza. También puede ser aplicada para materiales sólidos (lodo, sedimento, materiales particulados).

La TXRF es capaz de analizar cualitativa y cuantitativamente elementos tanto a nivel de mayoritarios (% peso) como de elementos traza (ppm). Esta técnica es capaz de analizar muestras orgánicas y determinar los metales pesados que contiene, aplicando a la muestra secado, molienda y digestión ácida previa. Es una técnica microanalítica porque las cantidades de muestra necesarias para realizar un análisis cualitativo o cuantitativo se encuentran en el orden de unas pocas fracciones de gramos. Para un análisis cuantitativo convencional es necesaria una cantidad mínima de 0.1 g de muestra orgánica base seca (Bernasconi, 1995).

Las áreas de aplicación de la TXRF son descritas por Klockenkämper *et al* (*sin fecha*), enfatizando el análisis de agua en el Monitoreo Ambiental; sangre, fluidos corporales y tejidos en Medicina; plantas y alimentos en Biología. Dentro de estas aplicaciones se destaca el análisis de pescado, a través de la digestión de 150 a 350 mg en bomba de Teflón, con ácido nítrico y bajo la aplicación de presión.

El efecto matriz (reducción o aumento de la intensidad de las emisiones de energía características debido a la interacción entre los elementos componentes de la muestra) no ocurre en TXRF al utilizar cantidades muy pequeñas de muestra (10  $\mu$ L de muestra líquida que luego es evaporada) depositadas en un soporte, para formar un filme fino. De esta forma, no hay necesidad de realizar correcciones por el efecto matriz y se puede utilizar en el análisis cuantitativo una regresión lineal simple entre las intensidades de los rayos X y las concentraciones de los elementos presentes en las muestras.

La técnica de TXRF ha sido muy utilizada en los últimos años, tanto para análisis cualitativo como cuantitativo, ganando importancia en análisis multielementales, debido a su simplicidad, velocidad y bajo costo analítico. Entre las ventajas de la fluorescencia de rayos X para el análisis químico de elementos se puede citar: (a) adaptabilidad para automatización, (b) análisis rápido multielemental, muy importante por la interdependencia entre los micronutrientes de los sistemas biológicos, (c) preparación simplificada de la muestra y (d) límite de detectabilidad dentro de lo exigido por las muestras biológicas.

#### **1.4.1 Fundamento de la Fluorescencia de Rayos X**

El análisis por fluorescencia de rayos X es un método cuali-cuantitativo basado en la medida de las intensidades (número de rayos X detectados por unidad de tiempo) de los rayos X característicos emitidos por los elementos que constituyen la muestra. Los rayos X emitidos por tubos de rayos X, excitan los elementos constituyentes, que a su vez, emiten líneas espectrales con energías características del elemento y cuyas intensidades están relacionadas con la concentración del elemento en la muestra.

Cuando un elemento de una muestra es excitado, tiende a expulsar los electrones de los niveles interiores de los átomos, y como consecuencia, los electrones de los niveles más externos realizan un salto cuántico para suplir la vacancia (Figura 1.2). Cada transición electrónica constituye una pérdida de energía al ser emitida en forma de un fotón de rayo X, de energía característica y bien definida para cada elemento.

De modo resumido, el análisis por fluorescencia de rayos X consiste de tres fases: excitación de los elementos que constituyen la muestra, emisión de los rayos X característicos emitidos por la muestra y la detección de estos rayos X.

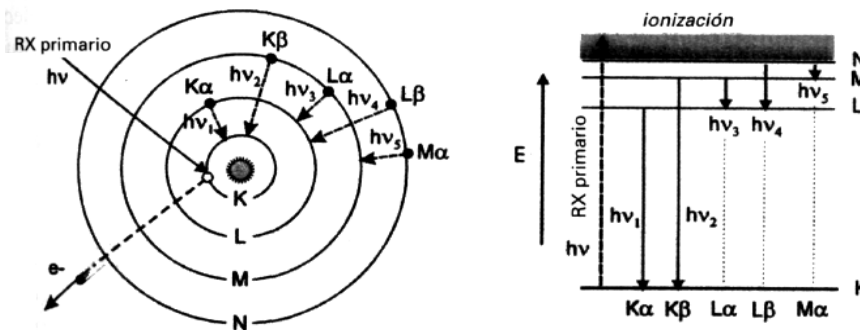


Figura 1.2. Esquema simplificado que muestra el origen de algunas transiciones de fluorescencia que aparecen tras la expulsión de un electrón de una capa interna del átomo.

#### 1.4.1.1 Excitación de los elementos

Para provocar una emisión de rayos X característicos de los elementos que constituyen la muestra, una excitación puede realizarse de varias maneras: excitación por partículas aceleradas como electrones, protones o iones; excitación por rayos X, partículas alfa, partículas beta negativas o rayos gama emitidos por radionúclidos. El proceso más utilizado recientemente, es a través de rayos X generados en tubos.

Los procesos en que se utilizan máquinas generadoras de electrones, protones o iones, y rayos X, necesitan instrumentación electrónica capaz de producir altas diferencias de potencial eléctrico (alta tensión), extremadamente estable, y por tanto sofisticada y cara. Cuando se emplea fuentes radioactivas, emisoras de partículas alfa, beta negativas, rayos X o gama de baja energía, no hay

necesidad de equipamiento electrónico, son baratas y extremadamente compactas. Pero tienen como desventaja requerir blindaje radiológico debido a la exposición continua y tener intensidades relativamente inferiores a las máquinas generadoras de rayos X.

Para lograr la emisión de los rayos X característicos es necesario retirar electrones localizados en las capas más internas de los átomos, por ejemplo la capa K, y para esto la energía mínima debe ser superior a la energía de afinidad del electrón a esa capa, denominada energía de afinidad electrónica o también de corte de absorción.

Esta energía de afinidad electrónica puede ser calculada de modo aproximado, aplicándose la teoría atómica de Bohr para un átomo de hidrógeno y átomos hidrogenoides, y posteriormente, basándose en algunas consideraciones sobre las experiencias de Moseley. De ese modo, la siguiente ecuación para el Sistema Internacional permite el cálculo aproximado de esa energía para los electrones de las capas K y L de los átomos de un elemento.

$$E = 2.18 \times 10^{-18} \frac{(Z - b)^2}{n^2}$$

Donde:

**E:** energía de afinidad electrónica (joules)

**Z:** número atómico del elemento emisor de rayos X

**b:** constante de Moseley, con valores iguales a 1 y 7.4, para las capas K y L, respectivamente.

**n:** Número cuántico principal del nivel electrónico (n= 1 para la capa K, n= 2 para capa L).

Después de ocurrir la ionización, un electrón más externo tiende a ocupar la vacante, emitiendo un rayo X, de energía característica, cuyo valor depende de la diferencia de energía de afinidad del electrón en los dos niveles cuánticos. Consecuentemente, la energía del rayo X también es directamente proporcional al cuadrado del número atómico Z del elemento excitado, cuando se considera un mismo salto cuántico.

$$E_x = E_{ni} - E_{nf}$$

Donde:

**E<sub>x</sub>** = energía del rayo X característico emitido.

**E<sub>ni</sub>, E<sub>nf</sub>** = energías del electrón de los niveles inicial y final, respectivamente.

Esta ecuación es fundamental para entender la proporcionalidad entre la energía (o amplitud de pulso electrónico producido por el detector) y el elemento a ser analizado, en equipos de fluorescencia de rayos X que hacen uso de la dispersión de energía, utilizando detectores semiconductores para la detección de los rayos X emitidos por la muestra.

#### 1.4.2 Fundamento de Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total.

Cuando un haz de radiación monoenergético pasa por un medio e incide en una superficie plana de un material dado, puede ocurrir una **refracción**, adentrando el material, o una **reflexión**, siendo reflejado por la superficie, en un ángulo emergente igual al de incidencia. La ocurrencia de uno u otro proceso dependerá de la energía de radiación incidente, de la densidad electrónica del material y del ángulo de incidencia de la radiación. Existe un ángulo, denominado ángulo crítico  $\phi_{crit}$ , dado por la ley de Snell, en el que la radiación no es refractada y tampoco reflejada, permaneciendo en el plano de interfase:

$$\phi_{crit} = \frac{99.1}{E} \sqrt{\frac{\rho * Z}{A}}$$

Donde:

$\phi_{crit}$ : ángulo crítico en minutos.

E: energía de radiación (keV).

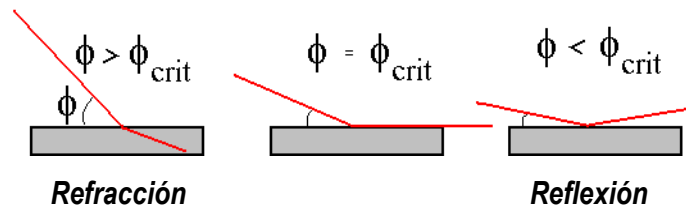
Z: número de electrones en un átomo o molécula componente del material.

A: peso molar del átomo o molécula del material (gramos\*mol<sup>-1</sup>).

$\rho$ : densidad del material (gramos\*cm<sup>-3</sup>).

Para el caso del Molibdeno, si incide un rayo X Mo-K $\alpha$  de 17.44 keV sobre cuarzo (**Z** = 30 electrones, **A** = 60.0843 gramos y  $\rho$  = 2.5 gramos\*cm<sup>-3</sup>), el ángulo crítico  $\phi_{crit}$  será de 6.4 minutos.

Según la Figura 1.3, si una radiación monoenergética incide en una superficie con ángulo mayor que el crítico, ocurrirá una refracción, y si es menor, una reflexión.



**Figura 1.3. Representación esquemática de la refracción y reflexión de un haz de radiación monoenergético en función del ángulo de incidencia.**

Debido a esta reflexión, o en otras palabras, ausencia de la dispersión por el soporte, los picos de dispersión incoherente y coherente serán bastante reducidos en el espectro de pulsos producidos por el detector, el mismo que debe ser colocado lo más próximo posible de la muestra (la distancia entre el soporte y la ventana de Berilio del detector es del orden de 5 mm). En estas condiciones geométricas de excitación/detección se presenta la denominada Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total (TXRF).

De modo resumido, se puede afirmar que en la TXRF el haz incidente no interacciona con el soporte, pero atraviesa todo el filme fino formado por la deposición de la muestra, tanto al incidir como al emerger, y con esto existe gran probabilidad de excitar los átomos que componen la muestra. Los primeros experimentos sobre TXRF se basan en que un haz de rayos X proveniente de un tubo incidiese en un ángulo menor al valor crítico sobre la muestra, tomándose como energía crítica la del rayo X  $K\beta$ . La alta tensión aplicada al tubo es un poco mayor al corte de absorción de la capa K de elemento en el tubo, para producir rayos X  $K\alpha$  y  $K\beta$  característicos del elemento en el tubo, pero insuficiente para producir radiación de energías mayores a la energía del rayo X  $K\beta$ . La eficiencia de producción de rayos X característicos  $K\alpha$  y  $K\beta$  es proporcional a la tensión arriba del corte de absorción aplicada al tubo, pero la elevación de la alta tensión ocasionará también un aumento en la producción de radiación de alta energía. Siendo esta energía mayor que la de los rayos X  $K\alpha$  y  $K\beta$ , generando refracción en el soporte y consecuentemente aparecerá radiación dispersada de modo coherente e incoherente incidiendo en el detector, aumentando la región de esos picos en los espectros de pulsos.

Un modo de evitar que esta radiación de alta energía incida en el soporte es utilizando un filtro de paso bajo (*low pass filter*), también denominado filtro cortador de alta energía (*high energy cut-off*),

colocado entre el tubo y el soporte. En este caso, el ángulo crítico de incidencia es ajustado para una energía un poco mayor a la del rayo X  $K\beta$  del elemento en el tubo, en estas condiciones el filtro reflejará las radiaciones hasta esta energía crítica y aquellas arriba de este valor refractarán el filtro, y por tanto, serán eliminadas del haz.

### 1.4.3 Análisis Cualitativo y Cuantitativo.

El análisis por TXRF es posible por los siguientes principios:

- La longitud de onda y la energía de radiación fluorescente es específica para cada elemento.
- La concentración de cada elemento puede ser calculada usando la intensidad de la radiación fluorescente.

Normalmente una alícuota de 5 a 50  $\mu\text{L}$  de muestra *in natura* o digerida es colocada en el centro de un soporte de cuarzo y se seca. El filme fino obtenido, con masa entre picogramos a 10 microgramos, cubriendo un círculo con aproximadamente 5 mm de diámetro, está listo para ser analizado por TXRF. Debido al diminuto espesor de la muestra y la alta energía de los rayos X normalmente utilizados en la excitación (rayos X Mo- $K\alpha$  de 17.44 keV), no aparece el efecto de aumento o reducción de las emisiones en la TXRF, siendo innecesaria la corrección para el efecto matriz.

La ecuación básica para el análisis cuantitativo es una relación entre la intensidad fluorescente de la línea característica  $K\alpha$  y la concentración de un elemento de interés, que puede ser escrita en la forma:

$$I_i = S_i * C_i$$

Donde  $I_i$  representa la intensidad en el tiempo en cuentas/s (cps) de la línea característica  $K\alpha$  emitida,  $C_i$  la concentración (ppm o  $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ ) de la solución colocada en el soporte, y  $S_i$  la sensibilidad elemental del sistema (cps/ppm) para el elemento de interés  $i$ .

Esta técnica presenta una gran ventaja de permitir la determinación simultánea de sensibilidad elemental para varios elementos, utilizándose una solución patrón multielemental, conteniendo esos



elementos en baja concentración (una fracción de ppm) y emisores de rayos X de energías no muy próximas, evitando producir la sobreposición de picos.

Además es posible adicionar un patrón interno a la muestra con la ventaja de corregir las inestabilidades del sistema, como fluctuaciones en el generador de rayos X, en la emisión del rayo X por el ánodo, en la detección de los rayos X, y errores operacionales, como en el pipeteo, posicionamiento de las muestras, etc.

Los elementos que pueden ser utilizados como patrones internos deben presentarse en concentraciones bajísimas en las muestras; los elementos Ge y Ga han sido utilizados para las muestras de agua, y el Co e Y para otros tipos de muestras.

Con esto, se puede calcular la concentración del elemento de interés, utilizándose la ecuación:

$$C_i = \frac{I_i}{I_p} * s_i * C_p$$

Donde **i** representa el elemento de interés, **p** el elemento utilizado como patrón interno, **C** la concentración (en ppm), **s** la sensibilidad relativa elemental (sin unidades; en relación con el elemento utilizado como patrón interno) e **I** la intensidad de los rayos X característicos (cps).

Vale la pena resaltar que existe una alta correlación matemática entre la sensibilidad elemental y el número atómico de los elementos. Además, en base a las sensibilidades elementales de los elementos contenidos en la solución patrón multielemental, se puede estimar la sensibilidad para un elemento detectado en la muestra y contenido en la solución patrón y luego estimar la concentración en la muestra de interés. De manera análoga, las mismas ecuaciones pueden ser utilizadas para la línea K $\beta$  y otras, como L y M, en donde lógicamente las sensibilidades elementales tendrán otros valores.

### **1.5 Caracterización del Lago Suchitlán**

El embalse del Cerrón Grande también denominado "LAGO SUCHITLÁN", se originó artificialmente por la construcción de la presa Cerrón Grande, ante la futura demanda de energía eléctrica en el

país. La Comisión Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL), aconsejó la referida contracción aguas arriba de la presa "5 de Noviembre", formando el lago artificial más grande del territorio (Chávez et al, 1998).

De 1967 a 1972 la CEL recurrió al uso de plantas térmicas a base de combustible fósil para satisfacer las necesidades de electricidad en aumento. Culminó el esfuerzo de la CEL para construir la central generadora de Cerrón Grande, mereciendo finalmente reconocimiento nacional como acertada previsión para reducir el consumo de combustible importado que se encareció notablemente en el mercado mundial (CEL, 2005a).

Según Chávez et al (1998) la empresa a cargo del diseño y supervisión del proyecto fue HARZA Engineering. Co. International Ltd., dando inicio a las obras en 1973 y finalizando en marzo de 1977 e iniciando en esta fecha la operación de la planta, la que ha suministrado ininterrumpidamente la energía a gran parte del país.

### **1.5.1 Ubicación Geográfica.**

Según el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), el nombre oficial es Embalse Cerrón Grande; sin embargo en el Municipio de Suchitoto, denominan al embalse con el nombre de Lago de Suchitlán. El mismo se ubica dentro de la cuenca media del río Lempa, se localiza al norte de los departamentos de San Salvador y Cuscatlán, al oriente del departamento de Cabañas y al sur del departamento de Chalatenango, en las coordenadas Centro: 14°03' Latitud Norte y 89°04' Longitud Oeste, límite Sur-occidental: 13° 58' Latitud Norte y 89° 13' Longitud Oeste, límite Nor-oriental: 13 °58' Latitud Norte y 88° 2' Longitud Oeste.

El Lago Suchitlán está ubicado entre los Municipios de Suchitoto, Tejutla, El Paraíso, La Reina, Nueva Concepción, Santa Rita, Chalatenango, Azacualpa, San Francisco Lempa, San Luís del Carmen, Potonico, Cinquera, Jutiapa, San Rafael y El Paisnal (Figura 1.4), en los departamentos de Cuscatlán, Chalatenango, Cabañas y San Salvador (MIFIC, 2005).

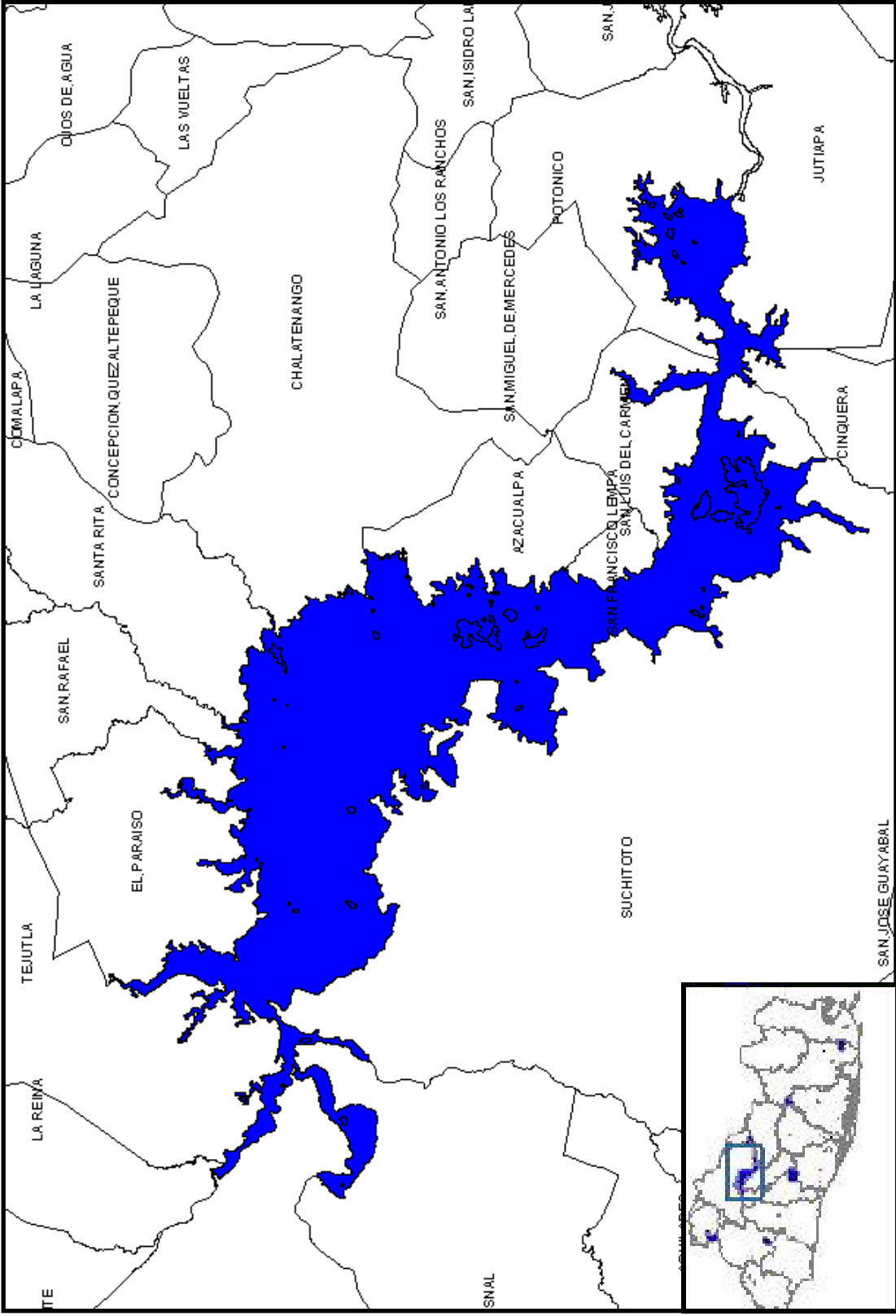


Figura 1.4. Mapa de ubicación geográfica del Lago Suchitlán.

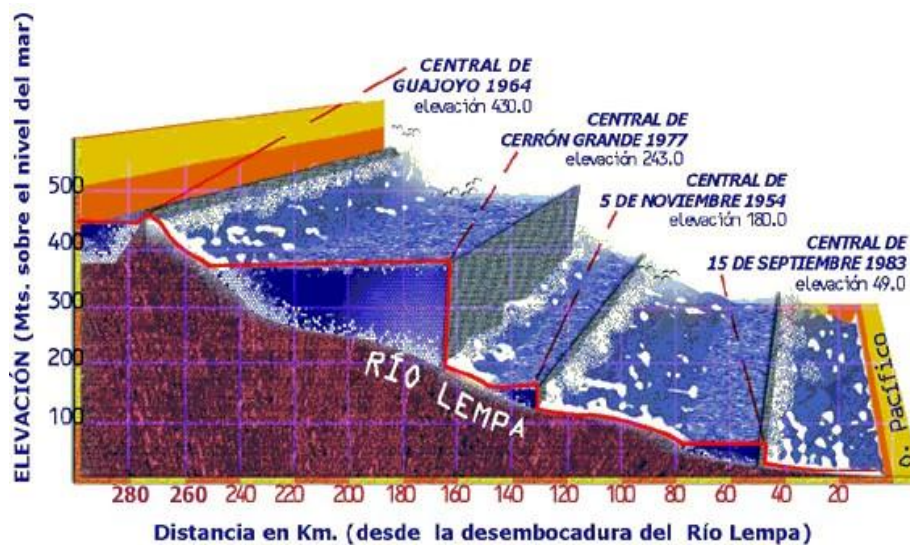
Fuente: SIA-MARN (2005)

## 1.5.2 Aspectos Físicos

El embalse se extiende en un área de 135 Kilómetros cuadrados, formando parte de la cuenca Trinacional del Río Lempa. Posee una capacidad de almacenaje de 2,180 millones de metros cúbicos de agua a una cota de inundación de 243 metros sobre el nivel del mar, inundando una superficie aproximada de 13,500 hectáreas. Tiene una profundidad promedio de 2 metros y una profundidad máxima de 52 metros. Su altitud es de 240 msnm<sup>4</sup> (MIFIC, 2005).

De acuerdo con la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL), en el embalse el nivel mínimo del agua se establece en los 228 msnm y el máximo en los 243 msnm, con una temperatura promedio entre los 18° y 27° C. Esta área es utilizada principalmente para la agricultura y la ganadería (MIFIC, 2005).

El sistema hidroeléctrico de El Salvador funciona como una unidad en "cascada"(Figura 1.5). El agua acumulada en los embalses ubicados a mayor altura, es aprovechada también aguas abajo en otras centrales, aprovechando el curso del río en su recorrido hasta el mar. El río Lempa en El Salvador, genera electricidad 4 veces, al pasar por cada central hidroeléctrica (CEL, 2005b).



Fuente: CEL (2005b)

**Figura 1.5: Elevación de cada central hidroeléctrica ubicada en el Río Lempa, con su respectiva distancia desde la desembocadura.**

<sup>4</sup> Metros sobre el nivel del mar.

### **1.5.3 Datos ambientales (MIFIC, 2005).**

El Sistema de Áreas Naturales Protegidas (SNAP) reconoce oficialmente dos áreas naturales en la región del Lago Suchitlán: Santa Bárbara con una extensión de 176.64 Ha en la jurisdicción de El Paraíso, Chalatenango; y Colima con 900 Ha jurisdicción de Suchitoto, Cuscatlán. Ambas áreas protegidas son de pequeña extensión con alta presión poblacional sobre las mismas. Las islas del embalse (21 en total), poseen potencial para proponerse como refugio de vida silvestre.

Según datos obtenidos del informe climatológico 2003, el SNET reporta los valores de promedio anual para los siguientes parámetros: humedad relativa de 70.6%, precipitación de 148.7 mm., los vientos predominantes son del Norte en la temporada seca y del Sur en la temporada lluviosa, con una velocidad de 5 Km/h, la temperatura ambiente de 26.48°C.

FUNDALEMPA/MARN/ASECHA (2001) reporta datos de calidad de agua, a mencionar: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): 3.32 mg/l; Oxígeno Disuelto que va de 10 a 100 mg/l y hay datos de 6.93 mg/l y pH: 6.39 a 9.18.

Guevara (1983) reporta otros datos para las estaciones de medición de Colima, San Cristóbal y Suchitoto para bicarbonatos de: 57.5 a 132.3 mg/l; nitratos de: 3.35 a 0.02 mg/l; nitritos de: 0.41 a 0.001 mg/l. Se reporta también la presencia de metales como plomo presente en un 1.77- 6.28 mg/l y un 0.27- 0.78 mg/l para cromo.

### **1.5.4 Usos del Suelo (Chávez et al, 1998).**

Los usos del suelo que predominan en la región del Lago Suchitlán son los siguientes:

#### **a. Uso Habitacional**

Se encuentra dispersa en toda la zona y pertenece a cantones y caseríos, así como a los centros urbanos de Potonico, San Luis del Carmen, San Francisco Lempa, Azacualpa y Suchitoto. La superficie habitacional se presenta únicamente para los centros urbanos y representa el 0.7%.

## b. Uso de Turismo

Principalmente en el embarcadero San Juan al norte de la ciudad de Suchitoto, ya que en este lugar brindan paseos en lanchas, servicios de comida y bebidas a los visitantes. Representa un área aproximada de un kilómetro cuadrado, equivalente a apenas 0.1% de la región.

## c. Uso de Cultivos Anuales

El uso de cultivos anuales corresponde a los granos básicos y están compuestos por cultivos de maíz, frijol, arroz, maicillo y café, también el cultivo de la caña de azúcar y pastos naturales y sembrados. Los sembradíos de la caña de azúcar se localizan principalmente en la zona norponiente y sur del embalse y en menor cantidad existen sembrados de arroz. Este uso representa el 59.2%, el más importante del área total.

Los Cuadros del 1.1 al 1.12<sup>5</sup> resumen la producción en Kg de los cultivos agrícolas producidos por los municipios de la región, así como el área utilizada por cada uno para uso agrícola.

**Cuadro 1.1. Datos Agrícolas del municipio de Potonico (Chalatenango)**

Municipio	Producto Agrícola	Superficie Sembrada (Ha)	Producción (kg)
Potonico	Frijol	69.7	38344
	Maíz	413.2	701897
	Arroz	23.4	26451
	Maicillo	396.4	559906
	Café	2.8	787

Fuente: CNR (1995).

<sup>5</sup> Elaboración propia a partir de documentación de la biblioteca del Ministerio de Economía.

**Cuadro 1.2. Datos Agrícolas del municipio de San Luis del Carmen (Chalatenango)**

Municipio	Producto Agrícola	Superficie Sembrada (Ha)	Producción (kg)
San Luis del Carmen	Frijol	16.4	11075
	Maíz	377.6	483038
	Arroz	17.9	23666
	Maicillo	378.0	376297
	Café	0.3	143

Fuente: CNR (1995).

**Cuadro 1.3. Datos Agrícolas del municipio de San Francisco Lempa (Chalatenango)**

Municipio	Producto Agrícola	Superficie Sembrada (Ha)	Producción (kg)
San Fco. Lempa	Frijol	3.5	1958
	Maíz	169.7	312860
	Arroz	6.1	11992
	Maicillo	114.5	122620
	Café	0.1	46

Fuente: CNR (1995).

**Cuadro 1.4. Datos Agrícolas del municipio de Azacualpa (Chalatenango)**

Municipio	Producto Agrícola	Superficie Sembrada (Ha)	Producción (kg)
Azacualpa	Frijol	18.0	13823
	Maíz	270.8	679090
	Arroz	14.5	26226
	Maicillo	253.0	281428
	Café	0.4	115

Fuente: CNR (1995).

**Cuadro 1.5. Datos Agrícolas del municipio de El Paraíso (Chalatenango)**

<b>Municipio</b>	<b>Producto Agrícola</b>	<b>Superficie Sembrada (Ha)</b>	<b>Producción (kg)</b>
El Paraíso	Frijol	13.8	10145
	Maíz	457.6	1185001
	Arroz	68.9	208661
	Maicillo	99.3	84498
	Café	419.6	16560

Fuente: CNR (1995).

**Cuadro 1.6. Datos Agrícolas del municipio de Chalatenango (Chalatenango)**

<b>Municipio</b>	<b>Producto Agrícola</b>	<b>Superficie Sembrada (Ha)</b>	<b>Producción (kg)</b>
Chalatenango	Frijol	343.9	217256
	Maíz	1789.2	3625902
	Arroz	131.1	265855
	Maicillo	1208.4	1176453
	Café	17.3	8148

Fuente: CNR (1995).

**Cuadro 1.7. Datos Agrícolas del municipio de Santa Rita (Chalatenango)**

<b>Municipio</b>	<b>Producto Agrícola</b>	<b>Superficie Sembrada (Ha)</b>	<b>Producción (kg)</b>
Santa Rita	Frijol	16.0	9409
	Maíz	723.6	1676383
	Arroz	145.1	520509
	Maicillo	394.1	379067
	Café	0.7	368

Fuente: CNR (1995).



**Cuadro 1.8. Datos Agrícolas del municipio de San Rafael (Chalatenango)**

<b>Municipio</b>	<b>Producto Agrícola</b>	<b>Superficie Sembrada (Ha)</b>	<b>Producción (kg)</b>
Santa Rafael	Frijol	12.5	9384
	Maíz	328.4	711640
	Arroz	66.8	206028
	Maicillo	235.7	222652
	Café	0.6	389

Fuente: CNR (1995).

**Cuadro 1.9. Datos Agrícolas del municipio de Tejutla (Chalatenango)**

<b>Municipio</b>	<b>Producto Agrícola</b>	<b>Superficie Sembrada (Ha)</b>	<b>Producción (kg)</b>
Tejutla	Frijol	72.8	52518
	Maíz	1277.8	2351398
	Arroz	59.0	141719
	Maicillo	877.0	808099
	Café	11.2	8675

Fuente: CNR (1995).

**Cuadro 1.10. Datos Agrícolas del municipio de Jutiapa (Cabañas)**

<b>Municipio</b>	<b>Producto Agrícola</b>	<b>Superficie Sembrada (Ha)</b>	<b>Producción (kg)</b>
Jutiapa	Frijol	178.9	123197
	Maíz	915.1	1048812
	Arroz	14.2	14320
	Maicillo	1012.5	1344838
	Café	7.4	2645

Fuente: CNR (1998).

**Cuadro 1.11. Datos Agrícolas del municipio de Cinquera (Cabañas)**

Municipio	Producto Agrícola	Superficie Sembrada (Ha)	Producción (kg)
Cinquera	Frijol	82.4	61760
	Maíz	363.1	472779
	Arroz	14.9	22641
	Maicillo	312.1	418446
	Café	---	---

Fuente: CNR (1998).

**Cuadro 1.12. Datos Agrícolas del municipio de Suchitoto (Cuscatlán)**

Municipio	Producto Agrícola	Superficie Sembrada (Ha)	Producción (kg)
Suchitoto	Frijol	9690	594781
	Maíz	111891	12418152
	Arroz	6773	1375182
	Maicillo	84553	2298784
	Café	3283	220335

Fuente: CNR (1997).

**d. Uso de Bosques Naturales.**

Se han podido localizar dos tipos de bosque, uno lo forman dos áreas naturales protegidas, ubicados en la hacienda Colima y hacienda Santa Bárbara; el otro tipo de bosque natural identificado lo forman el área conocida como Chacalingo en el municipio de Suchitoto y el localizado en el Cerro Las Ventanas en Suchitoto, pero abarcando en su mayor parte el Cerro Timpicuqui, jurisdicción de Cinquera. Estas áreas en su totalidad representan el 21.8%.

**e. Cuerpo de agua.**

Esta área la forma el embalse del Cerrón Grande y corresponde al 34.4% del área total de la región de la subcuenca del Lago.

### 1.5.5 Afluentes al Lago Suchitlán

En este contexto se suman los ríos y quebradas que desembocan en el embalse. En el Cuadro 1.13 se presentan los principales ríos y quebradas que suman sus aguas al Lago Suchitlán para formar la subcuenca y en la Figura 1.6 se identifican respectivamente.

**Cuadro 1.13. Afluentes del Lago Suchitlán**

<b>RÍOS</b>	<b>QUEBRADAS</b>
1. Río Soyate	A. El Ojushte
2. Río Grande	B. Loma Lisa
3. Río Las Minas	C. La Crucita
4. Río El Potrero	D. Agua Zarca
5. Río Tamulasco	E. Las Pilonas
6. Río de Gualeza	F. Los Aposentos
7. Río Yancoque	G. Las Ánimas
8. Río Cutumayo	H. El Gancho
9. Río Sucio	I. El Ahorcado
10. Río Sinacapa	J. El Pescaladero
11. Río San Nicolás	
12. Río Limones	
13. Río Acelhuate	

Fuente: SIA-MARN (2005)  
Chávez et al (1998).



## 1.5.6 Información socioeconómica

### a. Población

La población ribereña asociada al humedal del Cerrón Grande, distribuida en los 12 municipios, asciende a 96041 personas (Cuadro 1.14). Los territorios con mayor población, se encuentran concentrados en la cabecera de Chalatenango (30096 personas), Suchitoto (16347), Tejuela (14088) y El Paraíso (10173). El municipio de Cinquera es el menos poblado contando con 744 personas (FUNDALEMPA/MARN/ASECHA, 2001).

**Cuadro 1.14. Población de los municipios ribereños del Cerrón Grande.**

Departamento	Municipio	Población año 2000
Chalatenango	Potonico	2654
	San Luis del Carmen	2095
	San Fco. Lempa	1075
	Azacualpa	1688
	Chalatenango	30096
	El Paraíso	10173
	Santa Rita	4756
	Tejutla	14088
	San Rafael	4487
Cabañas	Cinquera	744
	Jutiapa	7838
Cuscatlán	Suchitoto	16347
TOTAL		96041 Habitantes

Fuente: FUNDALEMPA/MARN/ASECHA (2001).

## **b. Condiciones sanitarias**

En el estudio MIFIC (2005) se listan los problemas de saneamiento básico, existentes en los municipios ribereños, del humedal Cerrón Grande:

- Servicios de saneamiento básico y de salud deficientes.
- Existencia de letrinas aboneras y de foso en estado deplorable.
- Abastecimiento de agua en malas condiciones y fuertemente contaminada.
- Enfermedades dominantes: gastrointestinales y respiratorias.
- Ausencia de un sistema de tratamiento de aguas negras de los municipios que drenan directamente al humedal.

A los problemas mencionados anteriormente, se suman las condiciones de los desechos sólidos: bolsas, envases, latas de plástico, aluminio y vidrio dispersos, sin ningún tipo de manejo, los que se depositan en los afluentes que finalmente llegan al Lago. Situación similar se da en el caso de las aguas negras y servidas crudas.

## **c. Agua potable (MIFIC, 2005).**

Existen dos tipos de abastecimiento de agua potable: a través de pozos, principalmente en el área rural, ya que este sector carece de sistemas de cañería para dicho suministro. Así mismo existe servicio a través de cañería por gravedad en el área urbana, el agua proviene de tanques de captación localizada en nacimientos de agua y en algunos casos existe el abastecimiento por medio de cantareras. Actualmente no existen proyectos de agua que puedan suplir las necesidades de la población.

En términos generales, las 12 municipalidades ribereñas inmersas en el humedal Cerrón Grande, carecen de sistemas adecuados de abastecimiento de agua potable. Muchas comunidades correspondientes a diferentes municipalidades se abastecen mediante pozos en los márgenes del embalse. Esta situación en términos de salud, se considera totalmente caótica, puesto que los tipos y

niveles de contaminantes dispersos en el embalse son altos y consecuentemente la calidad del agua de consumo humano, proveniente de pozos es alarmante.

#### **d. Aguas negras y servidas**

En el humedal se identifican dos tipos de descargas, una a través de tubería colectora, sin tratamiento. Los municipios de San Luis del Carmen y Azacualpa efectúan sus descargas a través de fosas. El otro sistema de descarga es de forma superficial. Los drenajes superficiales se realizan principalmente por la escorrentía natural. El sistema de alcantarillado está ausente en casi la totalidad de las zonas habitadas que rodea el humedal, debido a esto los moradores vierten los líquidos de desperdicios en las calles, a predios baldíos o directamente a las quebradas (MIFIC, 2005).

#### **e. Energía eléctrica**

Los municipios involucrados directamente en la zona del humedal Cerrón Grande, tienen un servicio de energía eléctrica irregular, éste se encuentra principalmente distribuido en los cascos urbanos. Muchas de las comunidades no gozan de este servicio (MIFIC, 2005).

#### **f. Sistema Vial y Transporte (Chávez et al, 1998).**

En el Cuadro 1.15 se hace referencia al sistema de vías que conducen hacia el Lago Suchitlán, así como también la interconexión entre poblados y centros urbanos de los municipios dentro y fuera de la subcuenca, facilitando el desplazamiento de la población que desarrolla sus diversas actividades, sean éstas comerciales, familiares, turísticas, entre otras.

Existen dos tipos de sistemas de transporte colectivo, el transporte de autobuses públicos interdepartamentales (Cuadro 1.16), que se distribuye en varias rutas a las poblaciones y centros urbanos de los municipios aledaños y el transporte privado por medio de pick-up. Estos sistemas de transporte colectivo son utilizados por la población para las actividades comerciales, turísticas y familiares o para desplazarse a los centros de trabajo, dentro o fuera de la subcuenca.

**Cuadro 1.15. Sistemas de vías identificadas en la subcuenca del Lago Suchitlán**

DESCRIPCIÓN	TIPO DE RECUBRIMIENTO	LONGITUD KMS.	%
* Aguilares - Desvío Plan de Amayo	Asfalto	19.0	13.2
* Desvío Plan de Amayo - Ciudad Chalatenango	Asfalto	27.0	18.8
* Desvío Aguilares - Ciudad de Suchitoto	Tierra	21.5	15.2
* Camino Ciudad Chalatenango - Camino San Luis del Carmen	Tierra	18.5	12.9
* Carretera San Martín - Ciudad Suchitoto	Asfalto	29.0	20.2
* Camino Ciudad Suchitoto - Embarcadero San Juan	Empedrado	1.8	1.2
* Camino Ilobasco - Potonico	Tierra	26.5	18.5
TOTAL		143.3	100.0

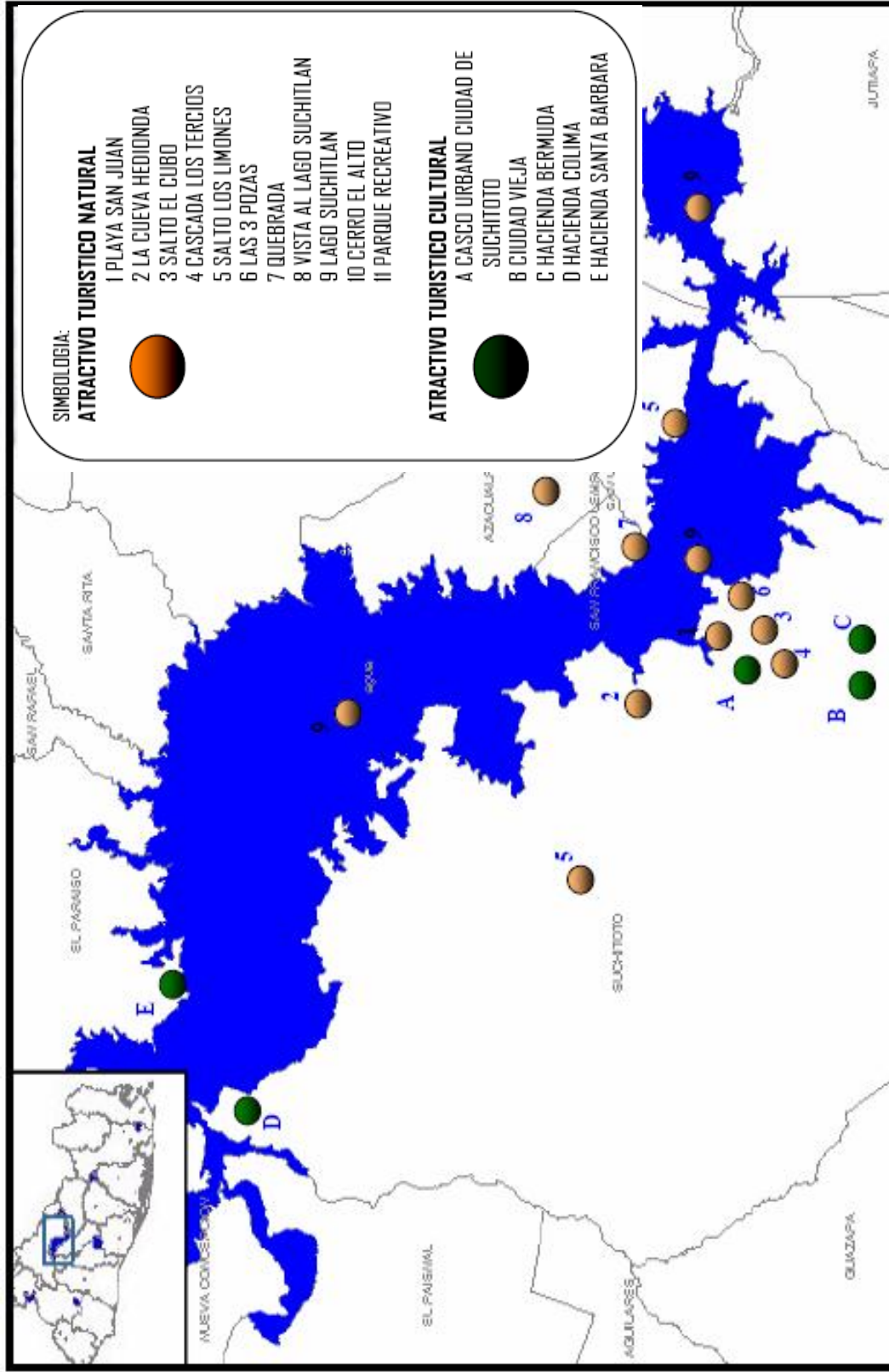
Fuente: Chávez et. al. (1998).

El servicio de transporte de pick-ups es únicamente intermunicipal, es decir que el desplazamiento de la población por estas unidades es entre los cantones y caseríos hacia la cabecera municipal. Tomando en cuenta el uso del ferry, éste hace su recorrido con una trayectoria de Suchitoto hacia San Luis del Carmen, para luego dirigirse hacia San Francisco Lempa antes de su retorno a Suchitoto.

### 1.5.7 Atractivos Turísticos

En la Figura 1.7 se detalla un mapa donde se señala la ubicación de los atractivos turístico que han sido identificados en la región del Lago Suchitlán.





Fuente: SIA-MARN (2005)

Chávez et al. (1998)

Figura 1.7. Principales Atractivos Turísticos Naturales y Culturales de la Región del Lago Suchitlán.

**Cuadro 1.16. Rutas del transporte para el acceso a la subcuenca del Lago Suchitlán.**

<b>RECORRIDO</b>	<b>RUTA</b>
• San Salvador - Suchitoto - viceversa	129
• San Salvador - Chalatenango - viceversa	125
• Chalatenango - Azacualpa - San Francisco Lempa - San Luis del Carmen - viceversa	125-A
• San Salvador - Ilobasco - viceversa	111
• Ilobasco - Cerrón Grande - Potonico	111-A
• Aguilares - Suchitoto - viceversa	163

Fuente: Chávez et. al. (1998).

### **1.6 Flora y fauna acuática representativa del Lago Suchitlán**

Entre la fauna silvestre se encuentran variedades de mamíferos, peces de agua dulce, anfibios y aves residentes y migratorias, entre otros, tanto especies nativas como introducidas al país. Entre la flora silvestre existente, están diversas especies arbóreas nativas en áreas naturales y en las vegas de los ríos, también hay variedad de árboles frutales y maderables dispersos la zona (Chávez et al, 1998).

Para el estudio, la flora y fauna de interés es la que tiene un contacto más directo con Lago y debe ser representativa de la región para considerarla como posible biomonitor. En los cuadros 1.17 y 1.18 se limita principalmente a la fauna y flora acuática del embalse, más específicamente a las plantas acuáticas y peces explotados comercialmente, por poseer una importancia ambiental y económica para el Lago Suchitlán.

**Cuadro 1.17. Listado de Fauna Acuática existente en el Lago Suchitlán.**

FAUNA	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO
PECES	Quisque o guicho	<i>Anus taylori</i>
	Bagre	<i>Galeichys guatemalensis</i>
	Plateada	<i>Astyanax fasciatus A.</i>
	Mojarra negra	<i>Cichlasoma guija</i>
	Istatagua	<i>Chichlasoma trimaculatum</i>
	Guapote tigre	<i>Chichlasoma managuense</i>
	Tilapia	<i>Aerochromis sp.</i>
	Guapote pando	<i>Cichlasoma motaguense</i>
	Burra	<i>Archocentrus nigrofasciatum</i>
	Juilín o filín	<i>Rhamdia guatemalensis</i>
	Sardina plateada	<i>Astyanax fasciatus</i>
	Sardina gibada	<i>Roebooides salvadoris</i>
	Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>
	Ejote	<i>Melaniris guija</i>
	Cuatro ojos	<i>Anableps dowi</i>
Chimbolo común	<i>Poecilia sphenops</i>	
Chimbolo blanco	<i>Poecilia gracilis</i>	

Fuentes: MIFIC (2005)  
Chávez et al (1998).

**Cuadro 1.18. Listado de Flora Acuática existente en el Lago Suchitlán.**

FLORA	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO
PLANTAS ACUÁTICAS	Lirio acuático	<i>Eichornia crassipes</i>
	Lechuga de agua	<i>Pistia striatotos</i>
	Tule	<i>Typha angustifolia</i>

Fuente: Chávez et. al. (1998).

### 1.6.1 Existencia de la flora y fauna acuática representativa

La oficina nacional de pesca (CENDEPESCA), para el año 2003, reporta un volumen de captura de 1,715,497 kilogramos al año, con un valor equivalente a \$1,245,775. En el cuadro 1.19 se presentan los valores de desembarque reportados por CENDEPESCA, para el año 2003 en el embalse (MIFIC, 2005):

**Cuadro 1.19. Volúmenes de especies capturadas en el Lago Suchitlán en el año 2003.**

<b>Especie</b>	<b>Volumen (kg)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Guapote Tigre	113,998	6.645
Mojarra	30,288	1.765
Tilapia	847,872	49.424
Ejote	6,097	0.355
Bagre	76,637	4.467
Sardina	573,497	33.430
Otros peces	60,658	3.535
Otros crustáceos	2,091	0.121
Caracol	4,359	0.254
<b>TOTAL</b>	<b>1,715,497</b>	<b>100</b>

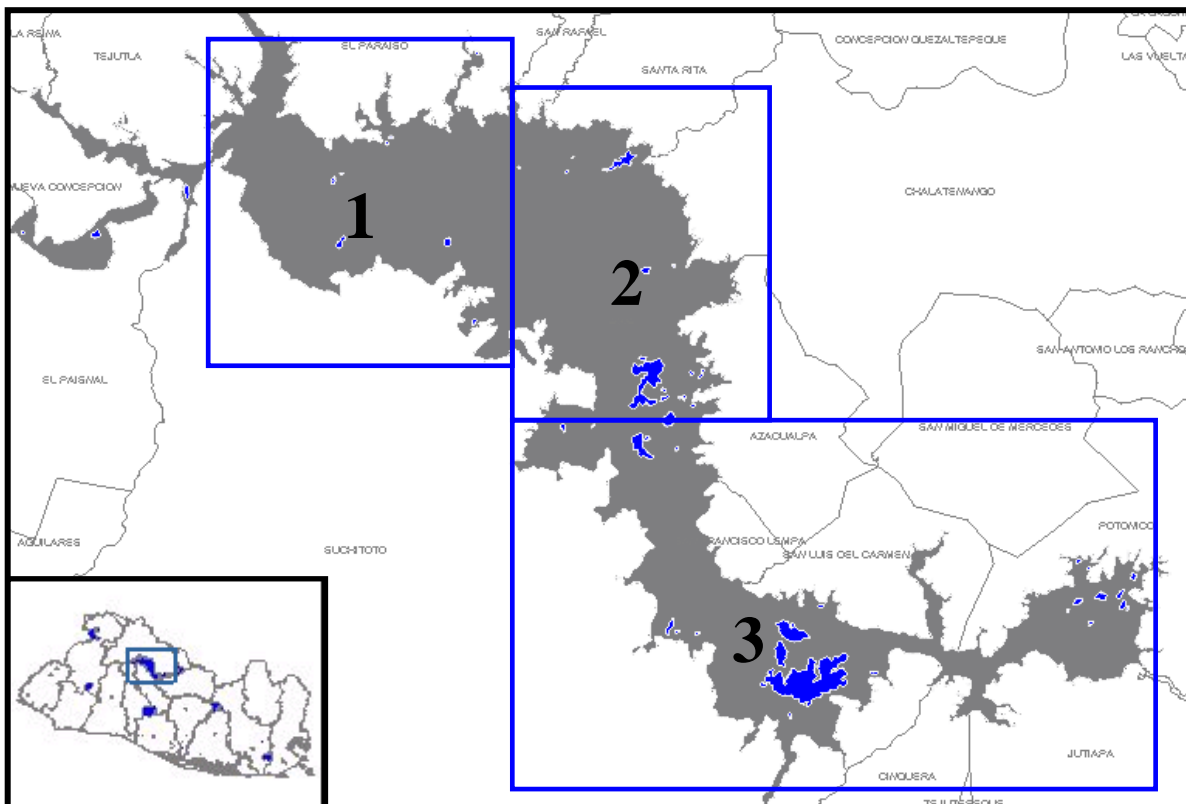
Fuente: MIFIC (2005).

La tilapia es la especie de los peces con mayor representatividad al presentar el mayor volumen de captura en el Lago Suchitlán, seguida por la sardina y el guapote tigre.

El Embalse está cubierto por Jacinto acuático (*Eichornia crassipes*) en un 30% según apreciación de investigaciones realizadas. También hay presencia de lechuga acuática (*Pistia stratiotes*), pero menor que el Jacinto acuático (MIFIC, 2005).

## II. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Debido a la gran extensión que comprende la región del Lago Suchitlán, es necesario delimitar el área que comprenderá el desarrollo del estudio. Para establecer la región a estudiar se seleccionaron los criterios de decisión considerados relevantes en base a los objetivos perseguidos y al ser catalogado el Embalse Cerrón Grande como Humedal Ramsar<sup>6</sup> recientemente, se retomaron también los criterios que establece el manual: "Recomendaciones para la toma de muestras de agua, biota y sedimentos en humedales Ramsar" elaborado por Andreu Moliner, E. y Camacho González, A. (2002). Se dividió el Lago en tres Áreas asignadas por cuadrantes (Figura 2.1). La información obtenida en la Caracterización del Lago Suchitlán se utilizará para desarrollar los criterios seleccionados y elaborar una matriz de decisión para elegir el área o las áreas mediante una ponderación. El área que presente la mayor ponderación indicará la región óptima donde se realizará el estudio.



Fuente: SIA-MARN (2005)

**Figura 2.1. División del Lago Suchitlán en tres áreas.**

<sup>6</sup> Haciendo referencia a la Convención sobre Humedales (Ramsar, Irán, 1971).

## 2.1 Criterios de decisión

a. **Población y concentración urbana:** donde se encuentren concentrados los mayores centros poblacionales, permitirá interpretar que es en donde existe el impacto más directo de la contaminación por metales pesados en la población. La población total por área, a partir de la información del Cuadro 1.14, es aproximadamente la siguiente:

- Área 1 (El Paraíso y Tejutla): 24261 personas
- Área 2 (Chalatenango, Santa Rita y San Rafael): 39339 personas
- Área 3 (San Luis del Carmen, San Fco. Lempa, Azacualpa, Potonico, Suchitoto, Jutiapa y Cinqquera): 32441 personas

De las Áreas delimitadas la que posee mayor densidad poblacional alrededor del embalse es el área 2 con 39339 personas. Además cabe recalcar que la región 3 posee un mayor número de municipios (7 en total) en comparación con las áreas 1 y 2 que poseen 2 y 3 municipios respectivamente.

b. **Importancia Agrícola:** los municipios donde se encuentre la mayor área de suelo para uso agrícola nos indicará la región prioritaria para la realización del estudio, ya que esta actividad está ligada al uso del lago. La superficie sembrada y la producción de cada producto agrícola para cada área, a partir de la información de los Cuadros del 1.1 al 1.12, se presenta en el Cuadro 2.1, a partir del cual se calcula el área utilizada para uso agrícola por cada región:

- Área 1: 4001.0 Ha
- Área 2: 4769.4 Ha
- Área 3: 221636.9 Ha

Como se puede observar, el área 3 también posee una mayor producción de cultivos agrícolas, lo cual nos puede dar un indicio de que en esta área el Lago Suchitlán juega un papel muy importante para esta región.

**Cuadro 2.1. Superficie Sembrada y Producción de granos básicos por Área.**

Región	Producto Agrícola	Superficie Sembrada (Ha)	Producción (kg.)
<b>Área 1 (El Paraíso, San Rafael, Tejutla)</b>	Frijol	99.1	72047
	Maíz	2063.8	4248039
	Arroz	194.7	556408
	Maicillo	1212.0	1115249
	Café	431.4	25624
<b>Área 2 (Chalatenango, Santa Rita)</b>	Frijol	359.9	226665
	Maíz	2512.8	5302285
	Arroz	276.2	786364
	Maicillo	1602.5	1555520
	Café	18.0	8516
<b>Área 3 (San Luis del Carmen, San Fco. Lempa, Azacualpa, Potonico, Suchitoto, Jutiapa y Cinquera)</b>	Frijol	10058.9	844938
	Maíz	114400.5	16116628
	Arroz	6864.0	1500478
	Maicillo	87019.5	5402319
	Café	3294	224071

c. **Importancia turística:** debido al actual auge de desarrollo turístico en el Lago Suchitlán, se brindará mayor atención al área que concentre la mayor cantidad de atractivos turísticos naturales y culturales. Cualitativamente se identifica que el número de atractivos turísticos y culturales para cada área, a partir de la Figura 1.6, son los siguientes:

- Área 1: 2 culturales
- Área 2: 3 naturales
- Área 3: 9 naturales y 3 culturales

La riqueza en cuanto a atractivos turísticos naturales y culturales predominan en el área 3, en cambio en el área 1 solo existen atractivos turísticos de tipo cultural y en la región dos predominan solamente los de tipo natural.

- d. Proximidad a la presa hidroeléctrica del Cerrón Grande:** La Central Hidroeléctrica Cerrón Grande es una de las principales generadoras de energía eléctrica del país al producir 153,9 MW similar a la Central Hidroeléctrica 15 de septiembre (156,6 MW) y mayor que las Centrales Hidroeléctricas 5 de noviembre (99,4 MW) y Guajoyo (19.6 MW).

Por la importancia económica y social que representa al país en la generación de energía eléctrica, es prioritaria la proximidad para evaluar un impacto más directo en la presa, y esta proximidad solamente existe en la región 3, lo que en este criterio de decisión hace a esta región la más idónea para el estudio.

- e. Accesibilidad:** Para acelerar el proceso de investigación, el acceso al área es muy importante. El área donde hayan rutas de buses principales reportadas por terminales y calles de acceso relativamente fácil, tendrá prioridad.

- Área 1: no se reportan rutas de buses principales, con calles en su mayoría empedradas y de tierra.
- Área 2: sólo reportado para Chalatenango, con calles mayormente empedradas y de tierra.
- Área 3: presenta accesos desde San Salvador con reporte de 4 rutas principales, con calles en su mayoría empedradas y asfaltadas.

El área 1 y 2 no poseen un número aceptable de rutas de buses y calles que permitan una mayor facilidad para el desarrollo de la investigación en la fase de campo, sin embargo el área 3 presenta 4 rutas de buses para acceder a la región de estudio y mejores vías de comunicación.



## 2.2 Selección del área de estudio utilizando una matriz de decisión

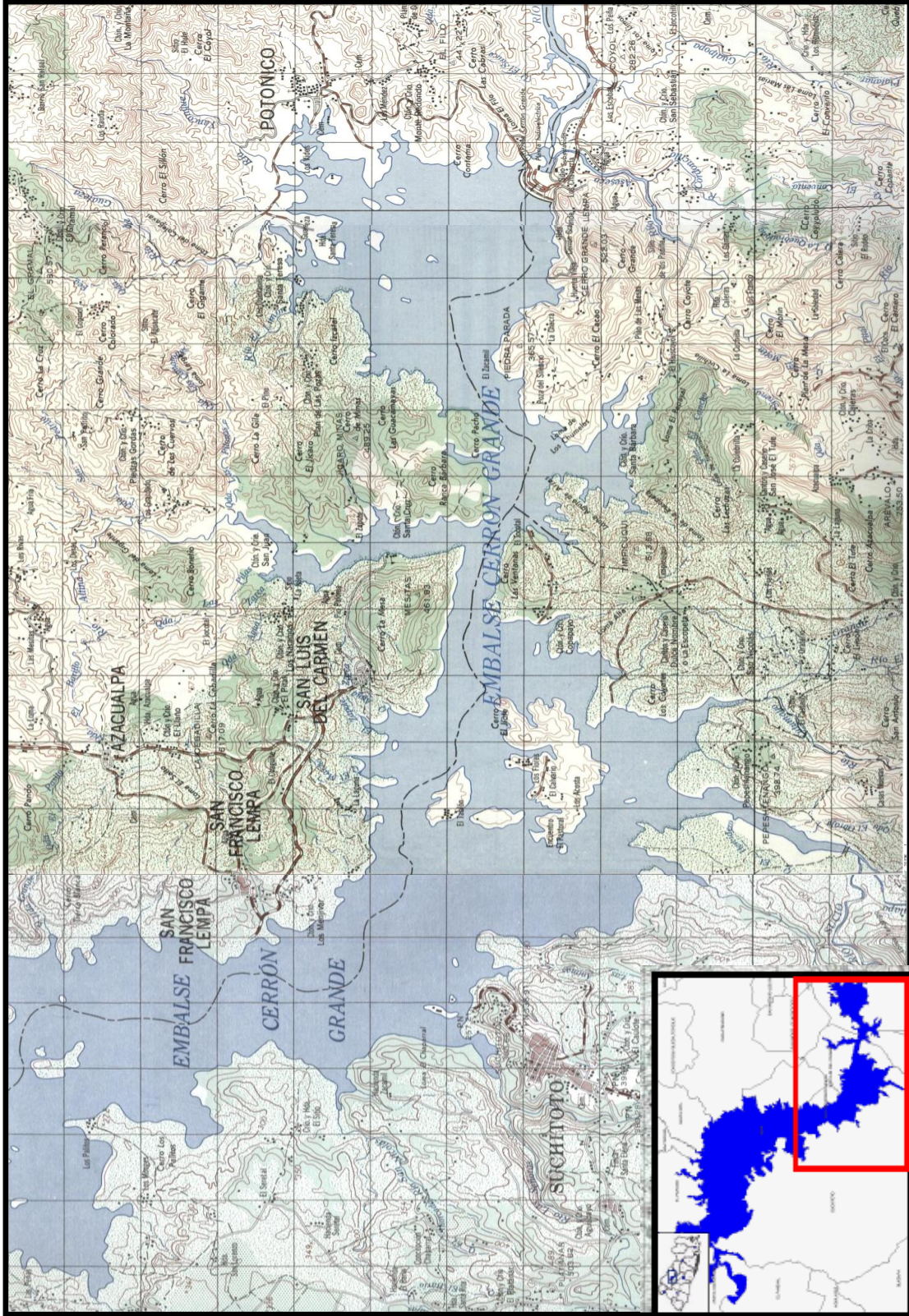
Con los parámetros anteriores se prosiguió a elaborar la siguiente matriz de decisión:

**Cuadro 2.2. Matriz de Decisión para la selección del Área donde se hará el Estudio.**

Criterios		ALTERNATIVAS								
		Área 1			Área 2			Área 3		
Población y Concentración Urbana	10	Medio	5	50	Alta	9	90	Relativa-mente alta	7	70
Importancia Agrícola	9	Baja	3	27	Baja	3	27	Alta	9	81
Importancia Turística	8	Regular	5	40	Regular	5	40	Buena	9	72
Proximidad a la Presa Hidroeléctrica	7	Poca	3	21	Media	5	35	Buena	9	63
Accesibilidad	6	Poca	3	18	Media	5	30	Buena	8	48
<b>Resultados</b>		<b>156</b>			<b>222</b>			<b>334</b>		

**Nota:** los puntajes en azul son otorgados según el criterio del investigador.

**Selección:** debido a que el Área 3 obtuvo un mayor puntaje respecto a las otras áreas, nos indica que posee una mayor importancia para la realización del estudio (área enmarcada en rojo de la Figura 2.2).



Fuente: Ministerio de Obras Públicas/Instituto Geográfico Nacional (1984).

Figura 2.2. Área delimitada para el estudio según matriz de decisión.

### III. CARACTERIZACIÓN SOCIOECONÓMICA DEL LAGO SUCHITLAN.

Esta etapa tiene como objetivo identificar las actividades socioeconómicas relacionadas con el Lago Suchitlán, identificar su flora y fauna acuática representativa y recopilar información suficiente para seleccionar el sector para la realización del muestreo exploratorio. La metodología utilizada en esta etapa se desarrolló mediante las actividades detalladas a continuación:

- ▶ Realización de visitas de campo al municipio de Suchitoto en el departamento de Cuscatlán.
- ▶ Contacto con entidades del lugar para obtener información sobre las actividades en el Lago como la Oficina Municipal de Turismo, CENDEPESCA y EMASA (empresa encargada de administrar la planta de tratamiento de aguas de tipo doméstico).
- ▶ Realización de recorridos exploratorios en la zona de estudio para familiarización con el área.

La información recopilada de las instituciones contactadas y las visitas de campo se orienta a la importancia del Lago en la vida económica de los pobladores, su influencia en la vida cotidiana y las especies de flora y fauna acuática más representativa existentes en el Lago.

#### **3.1 Actividades socioeconómicas.**

El Lago Suchitlán, cuyo nombre oficial es Embalse del Cerrón Grande, según los pobladores de la región es el centro donde se realiza la mayor actividad económica, al ser fuente de trabajo para muchos pescadores de la región, agricultores, ganaderos que usan el Lago, las islas y su vegetación nativa para la alimentación del ganado, así como también de personas que sacan provecho de las actividades turísticas como los lancheros que realizan viajes turísticos alrededor del Lago. Además el Lago es importante para los pobladores en sus actividades domésticas diarias como baño, limpieza, cultivos propios y como fuente de agua de consumo.

A continuación se describen brevemente las principales actividades socioeconómicas desarrolladas por los pobladores del Lago Suchitlán.



### FERRY



Este transporte es utilizado como una conexión entre los municipios de Suchitoto (Cuscatlán), San Luis del Carmen y San Francisco Lempa (ambos de Chalatenango). Es utilizado principalmente para el transporte de vehículos, ganado y personas, acortando el tiempo de manera considerable en comparación al transporte en carretera.

### GANADO



Los dueños de ganado se ven beneficiados con el Lago al ofrecerles una fuente de agua y alimento sin costo, y la oportunidad de transportar a su ganado a las diferentes islas del Lago, propias para pastar.

### PESCA



Esta actividad en sus diferentes formas como trasmayo y arpón, es una de las más populares en el Lago al ser una parte importante en las actividades económicas de los pobladores.

### CULTIVO



La excelente disposición de agua para riego alrededor del Lago permite que la tierra sea usada para cultivos principalmente de granos básicos como el maicillo.

### BAÑO Y RECREACIÓN



Debido al atractivo turístico del lugar, además de su aporte económico, el lugar se ve visitado por personas que a menudo se bañan en las aguas del Lago a pesar de la contaminación o sin conocimiento de la problemática ambiental presente.

### ACTIVIDADES DIARIAS



Las personas que viven en la ribera del lago y que no poseen acceso a servicios básicos como el agua potable y alcantarillado, se ven obligadas a utilizar el agua del lago para lavar su ropa, utensilios y donde descargan todo los desechos resultado de estas actividades.

### 3.2 Flora y fauna acuática representativa del Lago Suchitlán.

La flora y fauna de interés para el estudio es la que tiene un contacto más directo con el Lago y debe ser representativa de la región para considerarla como posible biomonitor. La información de las especies se limitó principalmente a la flora y fauna acuática del embalse, más específicamente a las plantas acuáticas y a los peces explotados comercialmente, por poseer una importancia ambiental y económica para el Lago Suchitlán. En el Cuadro 3.1 se presentan los valores de desembarque reportados por CENDEPESCA en el año 2003 en el embalse Cerrón Grande para las especies de peces más representativas:

**Cuadro 3.1. Volúmenes de especies representativas en el Lago Suchitlán en el año 2003.**

<b>Especie</b>	<b>Volumen (kg)</b>
Tilapia	847,872
Guapote Tigre	113,998
Carpa	33,181
Mojarra	30,288

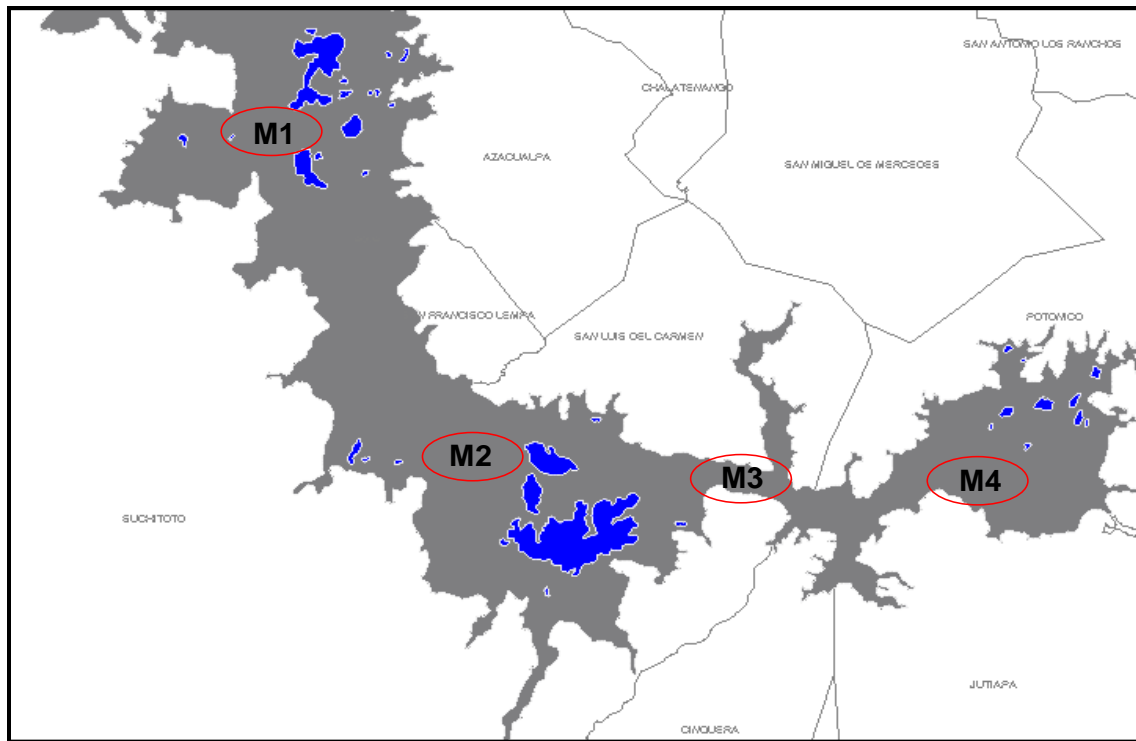
Fuente: CENDEPESCA.

La tilapia es la especie de los peces con mayor volumen de captura en el Lago Suchitlán, seguida por el guapote tigre, carpa y mojarra. A partir de la información recopilada de los pescadores, estas especies de peces son las más representativas de la región. Mediante los recorridos exploratorios se observó que el embalse está cubierto por Jacinto acuático en varios sectores a lo largo de la región de estudio.

## IV. PROPIEDADES FISICOQUIMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DEL AGUA

El objetivo de esta etapa es determinar, en la región delimitada, las condiciones de la calidad del agua en que se realizó el estudio como información de referencia para posteriores estudios que tengan por objetivo correlacionar las condiciones del agua con la bioacumulación de metales pesados. Para esto se determinaron las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas mediante la

recolección y análisis de muestras de agua. Los cuatro puntos de muestreo se seleccionaron mediante cuadrantes representativos. Los puntos seleccionados se localizan en la Figura 4.1.



**Figura 4.1. Localización de puntos de muestreo para análisis de la calidad del agua.**

Las muestras de agua se recolectaron en recipientes de polietileno a una profundidad de 0.5 metros, para la medición de pH, Conductividad, STD, DBO<sub>5</sub>, DQO, OD, Coliformes Totales, Coliformes Fecales y *E. coli*, distribuyendo los análisis de la siguiente manera:

- ⊕ pH, Conductividad y STD en el Laboratorio del Centro de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares (CIAN-FIA-UES).
- ⊕ DBO<sub>5</sub>, DQO y OD en el Laboratorio Físicoquímico de Aguas de la Facultad de QQ.FF. de la Universidad de El Salvador.
- ⊕ Coliformes Totales, Coliformes Fecales y *E. coli* en el Laboratorio de Calidad Integral de FUSADES.

En el Cuadro 4.1 se presentan las propiedades determinadas en las cuatro muestras de agua, las coordenadas de geoposicionamiento respectivas y los resultados obtenidos por el laboratorio correspondiente dependiendo del tipo de análisis.

**Cuadro 4.1. Resultados de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del agua.**

Muestra	Coordenadas (GPS)	Laboratorio	Propiedad	Resultado
M1	N: 14° 01' 9.3" Wo: 89° 02' 31.8"	CIAN-FIA-UES	pH	7.82
			Conductividad	262 µS/cm
			STD	129 mg/L
		Laboratorio Físicoquímico de Aguas de la Facultad de QQ.FF. de la UES.	DBO <sub>5</sub>	11.50 mg/L
			DQO	52.0 mg/L
			OD	10.60 mg/L
		Laboratorio de Calidad Integral de FUSADES	Coliformes Totales	26 NMP/100ml
			Coliformes Fecales	<2 NMP/100ml
			<i>E. coli</i>	<2 NMP/100ml
M2	N: 13° 56' 33.1" Wo: 88° 59' 50.4"	CIAN-FIA-UES	pH	7.53
			Conductividad	240.2 µS/cm
			STD	118 mg/L
		Laboratorio Físicoquímico de Aguas de la Facultad de QQ.FF. de la UES.	DBO <sub>5</sub>	7.60 mg/L
			DQO	35.0 mg/L
			OD	9.40 mg/L
		Laboratorio de Calidad Integral de FUSADES	Coliformes Totales	14 NMP/100ml
			Coliformes Fecales	2 NMP/100ml
			<i>E. coli</i>	<2 NMP/100ml
M3	N: 13° 56' 32.0" Wo: 88° 57' 13.5"	CIAN-FIA-UES	pH	7.61
			Conductividad	224.6 µS/cm
			STD	110 mg/L
		Laboratorio Físicoquímico de Aguas de la Facultad de QQ.FF. de la UES.	DBO <sub>5</sub>	9.20 mg/L
			DQO	44.0 mg/L
			OD	10.45 mg/L
		Laboratorio de Calidad Integral de FUSADES	Coliformes Totales	7 NMP/100ml
			Coliformes Fecales	4 NMP/100ml
			<i>E. coli</i>	<2 NMP/100ml

Pasa...



**Cuadro 4.1. Resultados de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del agua.**

Muestra	Coordenadas (GPS)	Laboratorio	Propiedad	Resultado
M4	N: 13° 56' 29.7" Wo: 88° 55' 14.3"	CIAN-FIA-UES	pH	7.41
			Conductividad	218.2 µS/cm
			STD	107 mg/L
		Laboratorio Físicoquímico de Aguas de la Facultad de QQ.FF. de la UES.	DBO <sub>5</sub>	8.20 mg/L
			DQO	37.0 mg/L
			OD	8.85 mg/L
		Laboratorio de Calidad Integral de FUSADES	Coliformes Totales	50 NMP/100ml
			Coliformes Fecales	2 NMP/100ml
			<i>E. coli</i>	<2 NMP/100ml

Se obtuvo cooperación de la división medioambiental de CEL para la cuantificación de las propiedades fisicoquímicas siguientes: pH, conductividad, Sólidos Totales Disueltos y Oxígeno Disuelto mediante una minisonda de inmersión aproximadamente a 1 metro de profundidad, en los mismos cuatro puntos originales donde se muestreó manualmente. Los resultados obtenidos se presentan en el Cuadro 4.2, con sus coordenadas de geoposicionamiento y profundidades de lectura respectivas.

**Cuadro 4.2. Resultados de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del agua.**

Punto	pH	Conductividad (µS/cm)	OD (mg/l)	STD (mg/l)	Coordenadas		Prof.(m)
					N	W	
M1	8.84	242.8	7.91	155.4	N40°26'57.4"	W104°59'57.8"	1.3
M2	8.09	209.7	4.85	134.2	N40°26'57.4"	W104°59'57.8"	1
M3	8.33	204.1	5.69	130.6	N40°26'57.4"	W104°59'57.8"	1.2
M4	7.71	203.8	2.61	130.4	N40°26'57.4"	W104°59'57.8"	1

#### 4.1 Análisis de Resultados de las Propiedades Fisicoquímicas y Microbiológicas.

Los valores de las propiedades determinadas para cada muestra de agua del Lago Suchitlán del Cuadro 4.1 se representan en el Anexo 2 en gráficos Propiedad contra Punto de muestreo para

establecer la tendencia de los niveles de contaminación fisicoquímica y microbiológica a lo largo del área de estudio.

La conductividad y los sólidos totales disueltos presentan una clara tendencia descendente a través de la región, provocada por el efecto de dilución por la corriente del embalse a lo largo de los puntos muestreados.

Los valores determinados para el potencial de hidrógeno (pH), el Oxígeno Disuelto (OD), la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) demuestran una tendencia descendente con un aumento en el punto 3 de muestreo debido al efecto de estrangulamiento en el área más angosta de la región que provoca el aumento de la velocidad de la corriente de agua y genera una leve turbulencia que permite una mejor aireación del agua con un aumento del oxígeno disuelto y de las demandas respectivas al existir más oxígeno disponible. Los valores de pH, DBO y DQO ascienden además en este punto debido a la generación de desechos provenientes de caserios aledaños a esta área.

Los resultados para Coliformes Totales también presentan tendencia descendente excepto en el punto 4 de muestreo de agua debido al efecto de acumulación generado en el área cercana a la presa hidroeléctrica Cerrón Grande.

Los resultados para cada propiedad del Cuadro 4.2 se representan en el Anexo 3 en gráficos Propiedad contra Punto de muestreo para el agua del Lago Suchitlán.

Los valores obtenidos con la cooperación de CEL presentan la misma tendencia que los valores presentados en el Cuadro 4.1, con la diferencia de un aumento de los valores de las propiedades debido al aumento de la profundidad para el registro de las lecturas, exceptuando este cambio en los valores para Oxígeno Disuelto.

A partir de la revisión del “Catálogo de Normas Salvadoreñas Obligatorias y Recomendadas” del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) se concluye que actualmente no se dispone en el país de normas nacionales de calidad del agua para Embalses para verificar si las condiciones

del agua se encuentran o no en valores aceptables. Los valores permisibles presentados en el Cuadro 4.3 fueron proporcionados por la División Medioambiental de CEL.

**Cuadro 4.3. Valores permisibles de propiedades fisicoquímicas y microbiológicas.**

Conductividad (µS/cm)	pH	Oxígeno Disuelto (mg/L)	STD (mg/L)	Col. Fecales (NMP/100ml)	Col. Totales (NMP/100ml)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)
1000	5.5-9	3	500	20,000	50,000	7

Fuente: Inga. Sandra Torres (Unidad Ambiental de CEL, 2006).

El análisis del estado actual del agua del Lago Suchitlán a partir de los valores obtenidos para sus propiedades fisicoquímicas y microbiológicas es posible mediante la comparación con los valores del Cuadro 4.3, tanto para los resultados mediante el muestreo a 0.5 metros de profundidad como para los valores obtenidos mediante la minisonda de inmersión de CEL a 1 metro de profundidad.

Los valores obtenidos para la conductividad se encuentran por debajo del valor permisible por amplio margen de diferencia. El pH se encuentra dentro del rango permisible de valores. Para el caso del Oxígeno Disuelto se presenta un incumplimiento en el punto 4 para 1 metro de profundidad al estar por debajo del límite permisible. Los Sólidos Totales Disueltos no presentan ningún problema para todos los puntos y profundidades.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno presenta incumplimiento al ser mayor que el límite permisible en todos los puntos de muestreo a 0.5 metros de profundidad lo que indica una carga orgánica mayor de lo permitido para el embalse.

Los valores obtenidos para Coliformes Fecales y Totales se encuentran dentro de lo permitido para las profundidades muestreadas. Estudios anteriores realizados por CEL indican que la carga fecal sobrepasa los límites permisibles en la profundidad del embalse.

## V. SELECCIÓN DEL BIOMONITOR

El objetivo de esta etapa es seleccionar el biomonitor más adecuado para utilizarlo en el estudio tomando como base criterios para la delimitación de las especies dentro de la extensa diversidad biológica existente en el Lago Suchitlán, para luego verificar la característica indispensable de buen bioacumulador en las especies delimitadas. Para lograr una selección objetiva de la especie a ser utilizada como biomonitor en el muestreo experimental se realizó una serie de actividades sistematizadas:

### 1. Criterios para selección del biomonitor.

Es cierto que ningún biomonitor responde estrictamente a todas las características señaladas frente a todo tipo de contaminantes, por tal motivo los siguientes criterios, modificados de Carballeira (2000), son los principales en la búsqueda del biomonitor más adecuado a utilizar en el estudio:

- ⊕ Fáciles y rápidos de identificar.
- ⊕ Abundante y poca movilidad.
- ⊕ Representativo de la región de estudio.
- ⊕ Disponibilidad todo el año para evaluar la evolución de la contaminación en el tiempo.
- ⊕ Un comportamiento que faciliten el muestreo y la manipulación en el laboratorio y campo respectivamente.
- ⊕ Ser un buen bioacumulador.

### 2. Selección de especies a recolectar.

A partir de la información recopilada en la Caracterización Socioeconómica del Lago Suchitlán las especies que se seleccionaron para ser recolectadas en el muestreo exploratorio por su representatividad son: tilapia, guapote tigre, mojarra, carpa china y jacinto acuático. Además se seleccionaron las macroalgas para tomar en cuenta la flora acuática que se encuentra bajo la superficie del agua.

### 3. Selección del sector para muestreo exploratorio.

El muestreo exploratorio tiene como objetivo la recolección de especies que cumplan las propiedades establecidas para el biomonitor buscado, a la espera de verificar la propiedad de buen bioacumulador mediante la Técnica de Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total. La información recopilada durante los recorridos exploratorios desarrollados en el Lago Suchitlán se utilizó para determinar cualitativamente la localización del sector para el muestreo exploratorio.



**Figura 5.1. Sondeo en lancha del área delimitada de estudio para la selección de un área específica para el muestreo exploratorio.**

El sector óptimo para la realización del muestreo exploratorio debe cumplir con los siguientes criterios:

- ❖ Rápido acceso.
- ❖ Presencia de jacinto acuático.
- ❖ Presencia de pescadores que faciliten la obtención de peces.

La división de los sectores en el área de estudio se enfocó en los puntos de pesca encontrados. Los cuatro sectores delimitados en total que fueron evaluados se representan en la Figura 5.2.

Para la evaluación de los cuatros sectores seleccionados se utilizó una matriz de decisión (Cuadro 5.1), el sector que presente la mayor ponderación será el más óptimo para la realización del muestreo exploratorio.

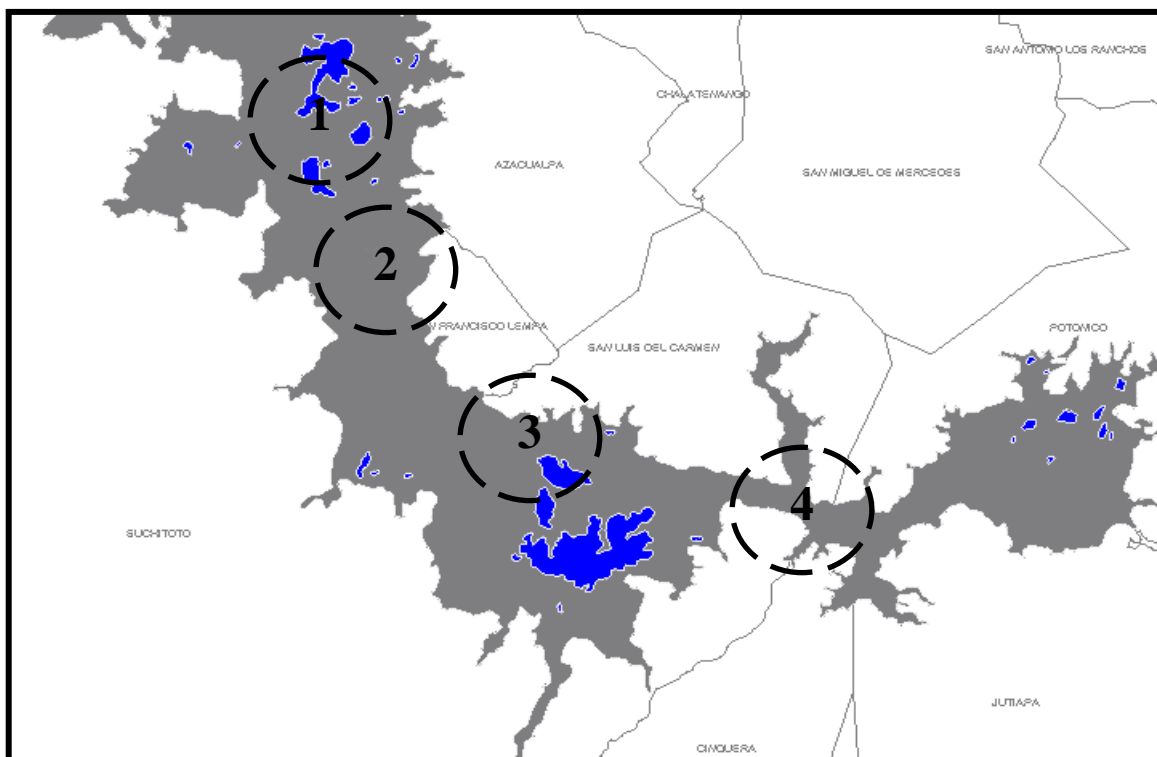


Figura 5.2. Sectores evaluados para seleccionar el sector para el muestreo exploratorio.

Cuadro 5.1. Matriz de Decisión para la selección del sector para muestreo exploratorio.

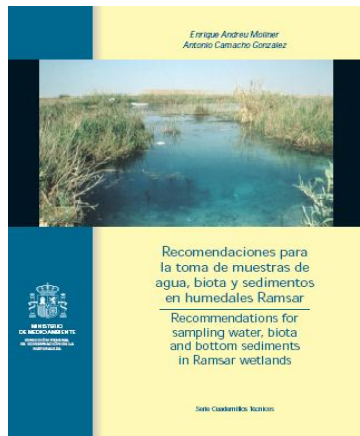
Criterios		ALTERNATIVAS											
		Sector 1			Sector 2			Sector 3			Sector 4		
Presencia de pescadores	10	Alta	9	90	Baja	3	30	Media	5	50	Media	5	50
Presencia de jacinto acuático	9	Media	5	45	Baja	3	27	Media	5	45	Alta	9	81
Rápido acceso	8	Medio	5	40	Alto	9	72	Alto	9	72	Bajo	3	24
<b>Resultados</b>		<b>175</b>			<b>129</b>			<b>167</b>			<b>155</b>		

Nota: los puntajes en azul son otorgados según el criterio del investigador.

**Selección:** debido a que el Sector 1 obtuvo un mayor puntaje respecto a los otros sectores, nos indica que es el más óptimo para la realización del muestreo exploratorio para la selección del biomonitor.

#### 4. Realización de muestreo exploratorio para la recolección de diversas especies.

Para la ejecución del muestreo exploratorio se llevaron a cabo las siguientes actividades:



**Figura 5.3. Fachada principal del manual: “Recomendaciones para la toma de muestras de agua, biota y sedimentos en humedales Ramsar”.**

- ⊕ Consulta bibliográfica de recomendaciones para la toma de muestras de biota en humedales. Al ser catalogado el Embalse Cerrón Grande como Humedal Ramsar se tomará como guía el manual: “Recomendaciones para la toma de muestras de agua, biota y sedimentos en humedales Ramsar” elaborado por Andreu Moliner, E. y Camacho González, A. (2002), tomando como aspectos importantes: técnicas de muestreo, conservación, transporte y almacenamiento.
- ⊕ Construcción de herramientas para el muestreo de macroalgas en base a directrices del Manual Ramsar, al ser una especie que haría más completa la diversidad biológica en el procedimiento de selección del biomonitor. Para el muestreo de macroalgas en embalse se recomienda el uso de una cadena de dragado.
- ⊕ Recolección manual de jacinto acuático. El ejemplar recolectado se divide en raíz, tallo y hojas. Se almacena en bolsas para muestra dentro de una hielera con hielo picado. Las

bolsas se rotulan adecuadamente con un código para la identificación de las muestras y coordenadas obtenidas con GPS.



**Figura 5.4. Recolección manual de jacinto acuático.**

- ✦ Obtención de pescado fresco de los pescadores locales. Los ejemplares se almacenan en bolsas para muestra dentro de una hielera con hielo picado. Las bolsas se rotulan adecuadamente con un código para la identificación de las muestras y coordenadas obtenidas con GPS. Las muestras de pescado se separan en branquias, hígado y músculo, en bolsas para muestra respectivas y se almacenan posteriormente en un congelador.



**Figura 5.5. Pescado fresco colocado en una bolsa para muestras adecuadamente rotulada.**

## **5. Pretratamiento de muestras (Secado a peso constante).**

De manera general se pueden establecer los pasos a seguir para hacer posible el pretratamiento de una muestra orgánica:

- a. Registro de muestras, debidamente identificadas y clasificadas.



- b. Secado de las muestras, para obtener su peso base seca para la posterior digestión. Las muestras se colocan en una estufa a 60° C, por períodos de tiempo experimentales.
- c. Enfriamiento de las muestras en un desecador con Sílica gel.

## **6. Tratamiento de las muestras (Digestión orgánica ácida).**

El proceso de digestión se realizó con el horno microondas OI Analytical para eliminar el contenido orgánico de las muestras y obtener como resultado el contenido inorgánico en solución, en general conlleva los siguientes pasos:

- a. Pesado de 0.1 g de muestra en una balanza analítica, con la posterior colocación en los vasos de teflón de media presión del horno microondas.
- b. Adición de los reactivos: 3.0 mL de ácido nítrico y 1 mL de peróxido de hidrógeno en cada Vaso de presión con muestra más blanco, para efectuar la digestión.
- c. Digestión de las muestras utilizando un horno microondas por un tiempo aproximado de 30 minutos.

## **7. Adición de estándar interno.**

Se adiciona una solución de Galio de concentración conocida como estándar interno, para la obtención de 2 ppm en la muestra y el aforo a un volumen de 25 mL con agua destilada, para transferir la solución obtenida a un vial de polietileno de 20 mL debidamente etiquetado con los datos de la muestra y de la digestión.

## **8. Colección de espectros por Fluorescencia de Rayos X.**

Para analizar la muestra con el equipo de TXRF, se homogeniza la solución contenida en el vial, se extraen 10 µL con una micropipeta y se colocan en el centro de un disco reflector de cuarzo pulido. Se hace uso de una cámara de secado al vacío, que agiliza el secado de la muestra líquida y reduce las incrustaciones en el disco reflector. El disco reflector es colocado en el equipo, que con el uso del

software Aptec (Figura 5.6) permite la obtención de un espectro para cada muestra, con el cual cualitativamente se pueden identificar los metales pesados existentes. Posteriormente el disco de cuarzo es retirado y guardado en un contenedor al vacío.



Figura 5.6. Colección de espectros con equipo de Fluorescencia de Rayos X, usando el software Aptec.

### 9. Resultados del proceso de selección del biomonitor.

El resultado es un espectro de dispersión de energía, donde aparecen simultáneamente todas las líneas asociadas a los elementos químicos presentes con una intensidad que depende directamente de la concentración de dicho elemento en la muestra (Figura 5.7).

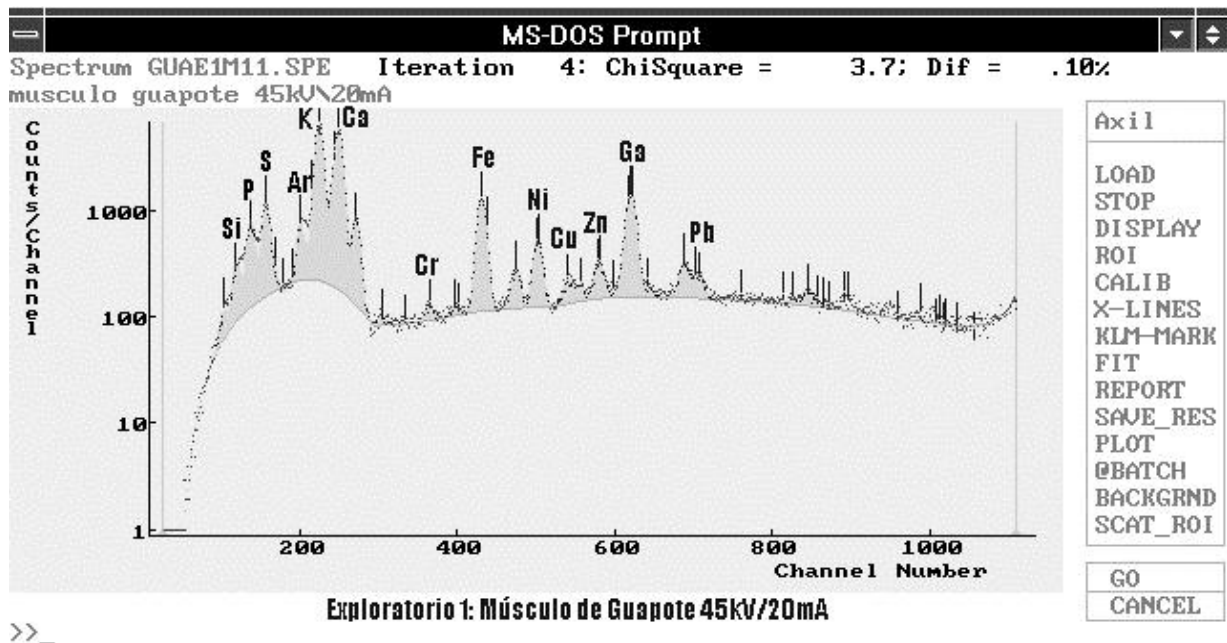


Figura 5.7. Ejemplo de espectro de dispersión de energías obtenido para músculo de guapote utilizando el software Aptec.

Las muestras orgánicas en un principio fueron seccionadas para su tratamiento, obteniéndose un total de 15 muestras para ser analizadas por Fluorescencia de Rayos X. En el Cuadro 5.2 se registran los resultados para cada posible biomonitor y sus partes, cada muestra fue identificada de manera que mediante su propio código (o nombre) pueda saberse qué parte y de cuál biomonitor proviene y en qué exploración durante el proyecto fue recolectada.

Para identificar el biomonitor idóneo se realizará un análisis cualitativo de los espectros colectados para determinar la presencia o ausencia de determinado metal pesado en la muestra.

**Cuadro 5.2. Resultados obtenidos por colección de espectros de cada muestra evaluada.**

BIOMONITOR EVALUADO	MUESTRA	SIGNIFICADO CODIGO	METALES PESADOS PRESENTES
Carpa	CARE1B1	Carpa, exploratorio 1, branquia 1	No
	CARE1H1	Carpa, exploratorio 1, hígado 1	Titanio
	CARE1M1	Carpa, exploratorio 1, músculo 1	No
Mojarra	MOJE1B1	Mojarra, exploratorio 1, branquia 1	No
	MOJE1H1	Mojarra, exploratorio 1, hígado 1	Plomo
	MOJE1M1	Mojarra, exploratorio 1, músculo 1	Titanio y cromo
Tilapia	TILE1B1	Tilapia, exploratorio 1, branquia 1	Cromo y plomo
	TILE1H1	Tilapia, exploratorio 1, hígado 1	Titanio
	TILE1M1	Tilapia, exploratorio 1, músculo 1	Plomo y cromo
Guapote	GUAE1B1	Guapote, exploratorio 1, branquia 1	No
	GUAE1H1	Guapote, exploratorio 1, hígado 1	No
	GUAE1M1	Guapote, exploratorio 1, músculo 1	Plomo y cromo
Jacinto Acuático	JACE1H1	Jacinto, exploratorio 1, hojas 1	Titanio
	JACE1T1	Jacinto, exploratorio 1, tallo 1	Titanio
	JACE1R1	Jacinto, exploratorio 1, raíz 1	Titanio, cromo, mercurio y plomo

Del total de muestras analizadas, se identificaron metales pesados en 10 de las muestras seccionadas de las cinco especies originales. Los metales pesados identificados fueron: plomo, cromo, mercurio y titanio. El titanio no se había tomado en cuenta en un principio pero se pudo identificar en los espectros, contrario al cadmio y arsénico que sí se habían tomado en cuenta y no se encontraron.

En el Cuadro 5.3 se presenta una clasificación en lugares según la mayor o menor presencia identificada cualitativamente por metal pesado a partir del espectro, tomando en cuenta que el primer lugar es para la muestra con mayor presencia identificada.

**Cuadro 5.3. Clasificación de las muestras por mayor presencia por metal pesado.**

Lugar \ Metal pesado	1°	2°	3°	4°	5°	6°
Plomo	<b>GUAE1M1</b>	TILE1M1	<b>JACE1R1</b>	TILE1B1	MOJE1H1	-
Cromo	<b>GUAE1M1</b>	MOJE1M1	TILE1B1	<b>JACE1R1</b>	TILE1M1	-
Mercurio	<b>JACE1R1</b>	-	-	-	-	-
Titanio	<b>JACE1R1</b>	CARE1H1	MOJE1M1	JACE1H1	TILE1H1	JACE1T1

Analizando el Cuadro 5.3, se observa que la raíz del jacinto acuático presenta una amplia selectividad por absorber todos los metales pesados que se pudieron identificar. El músculo de guapote es el que mejor absorbe plomo y cromo, debiendo tomar en cuenta que a pesar que la especie de guapote muestreada era de menor tamaño (y posiblemente de menor edad) que la carpa común y la tilapia, se identificó una mayor presencia cualitativa de plomo y cromo.

#### 10. Elaboración de matriz de las propiedades del biomonitor.

Finalizando la etapa exploratoria se tienen bases suficientes para completar la matriz del Cuadro 8 que permite determinar cual será el biomonitor más apto a ser usado en el estudio para evaluar los niveles de contaminación por metales pesados que está presente en la biota del Lago Suchitlán.

La identificación de las especies se facilita con la ayuda de los pescadores locales. La abundancia de la especies de peces y jacinto acuático se cumple, pero las macroalgas no se lograron muestrear, con respecto a la poca movilidad de las especies es relativa respecto a las áreas que se seleccionen durante el muestreo. La representatividad se refiere a la presencia de las especies en toda la región de estudio. La disponibilidad es la presencia de las especies durante todo el año. La especie más

fácil de muestrear es el jacinto acuático, la colección de los peces se realiza a partir de pesca obtenida en los sectores de muestreo.

La matriz relaciona las propiedades que se han establecido para el biomonitor y las potenciales especies que pueden ser seleccionadas, para facilitar la decisión de selección del biomonitor a utilizar. En el Cuadro 5.4 se presentan los resultados de la matriz SI-NO utilizada.

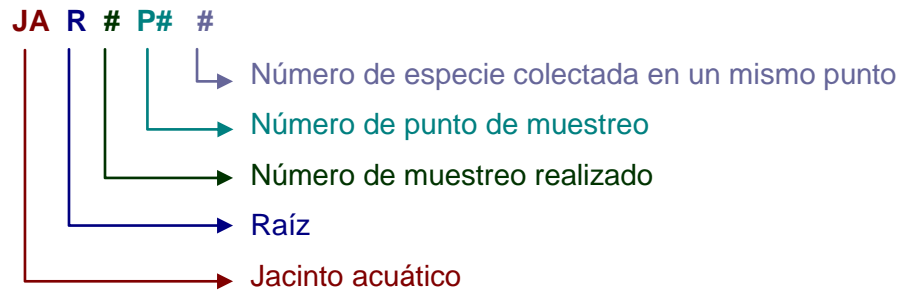
**Cuadro 5.4. Matriz que relaciona las propiedades de biomonitor con las especies a coleccionar.**

Especie Propiedad	Peces				Jacinto acuático	Macroalga
	Carpa Común	Mojarra	Tilapia	Guapote		
Fácil y rápida identificación.	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No
Abundante y poca movilidad	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No determinado
Representativo de la región de estudio.	No	Si	Sí	Sí	Sí	No determinado
Disponibilidad permanente	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No determinado
Fácil muestreo y manipulación	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No
Buen bioacumulador	No	No	No	Si	Si	No se localizó en el muestreo

### 11. Análisis de resultados del proceso de selección del biomonitor.

Mediante la información concentrada en la matriz de decisión del Cuadro 5.4 junto con resultados obtenidos se establece a la raíz de jacinto acuático y al músculo de guapote como los mejores biomonitores y con los que se pretende dar los niveles de contaminación de metales pesados en la biota del Lago Suchitlán.





Así para un código JAR1P11, la identificación nos da la información que la muestra es raíz de jacinto acuático recolectada en un primer muestreo en el punto uno, siendo la primer especie recolectada en ese punto.

Se realizaron las siguientes actividades durante el desarrollo de este muestreo:

1. Identificación y selección de puntos de muestreo para el jacinto acuático. Anotación de coordenadas de geoposicionamiento.
2. Recolección manual de un ejemplar de jacinto acuático por cada punto de muestreo.
3. Medición del tamaño de tallo a hoja y extracción de la raíz a partir de cada ejemplar seleccionado.
4. Identificación y selección de puntos de muestreo para el guapote tigre enfocado a puntos de pesca. Anotación de coordenadas de geoposicionamiento.
5. Recolección de ejemplares de guapote tigre por parte de pescadores locales.
6. Almacenamiento de los ejemplares de guapote y jacinto con su respectiva identificación.
7. Conservación de las muestras a temperatura baja en una hielera para su transporte al laboratorio.

## VII. PREPARACIÓN DEFINITIVA DE LAS MUESTRAS.

Las muestras se lavaron con agua destilada para eliminar la contaminación producida por fenómenos de adsorción. A los ejemplares de guapote se les registró el peso y las dimensiones largo-ancho para extraer posteriormente las muestras de músculo. Los datos registrados para el jacinto y el guapote, se reúnen en el cuadro 7.1.

**Cuadro 7.1. Datos registrados para el jacinto acuático y guapote tigre.**

Punto de muestreo	Código	Geoposición	Medida	
<b>Jacinto acuático</b>				
1	JAR1P11	N: 14° 00' 22.3" Wo: 89° 00' 58.4"	70 cm	
2	JAR1P21	N: 13° 59' 35.8" Wo: 89° 01' 00.9"	75 cm	
3	JAR1P31	N: 13° 56' 33.7" Wo: 89° 00' 49.3"	78 cm	
4	JAR1P41	N: 13° 57' 00.0" Wo: 88° 59' 24.1"	45 cm	
5	JAR1P51	N: 13° 56' 59.3" Wo: 88° 58' 32.0"	65 cm	
6	JAR1P61	N: 13° 56' 50.3" Wo: 88° 57' 40.0"	65 cm	
7	JAR1P71	N: 13° 56' 21.2" Wo: 88° 56' 41.5"	75 cm	
8	JAR1P81	N: 13° 56' 31.0" Wo: 88° 56' 0.82"	85 cm	
9	JAR1P91	N: 13° 56' 36.7" Wo: 88° 55' 58.8"	75 cm	
10	JR1P101	N: 13° 56' 32.3" Wo: 88° 54' 44.6"	85 cm	
<b>Guapote Tigre</b>				
1	GUM1P11	N: 14° 00' 11.0" Wo: 89° 01' 39.5"	416.2 g	27 cm x 9 cm
2	GUM1P21	N: 13° 59' 40.4" Wo: 89° 01' 00.5"	377.3 g	27 cm x 10 cm
	GUM1P22	N: 13° 59' 40.4" Wo: 89° 01' 00.5"	244.7 g	23 cm x 8 cm
3	GUM1P31	N: 13° 57' 26.2" Wo: 89° 00' 02.7"	205.5 g	24 cm x 8 cm
4	GUM1P41	N: 13° 56' 47.0" Wo: 88° 57' 10.4"	305.2 g	26 cm x 9 cm

El secado de la raíz de jacinto y músculo de guapote se realizó en el horno marca HERAEUS Vacuotherm a las condiciones de operación de 0.2 bar y 40°C, para evitar la volatilización de algún elemento de interés. Después de lograr la base seca, se utilizó un procesador de alimentos para la



reducción del tamaño de las muestras. Se utilizó un mortero y pistilo para la pulverización con el fin de facilitar la digestión orgánica, en la que se utilizó el horno microondas marca OI Analytical con vasos de teflón de media presión, utilizando 0.1 g de muestra base seca y 3 ml de ácido nítrico al 70% para un tiempo de 30 minutos.

Los parámetros de digestión fueron ajustados utilizando el software WinWave, con diferentes potencias y tiempos de interrupción intercalados, a fin de evitar superar las presiones máximas permitidas en los recipientes, lo que podría conducir a la pérdida de elementos volátiles. Con el producto obtenido se prepara una disolución a la que se le agrega una cantidad conocida de Galio como estándar interno para obtener una concentración de 2 ppm.

## **VIII. ANÁLISIS POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X POR REFLEXIÓN TOTAL<sup>7</sup>**

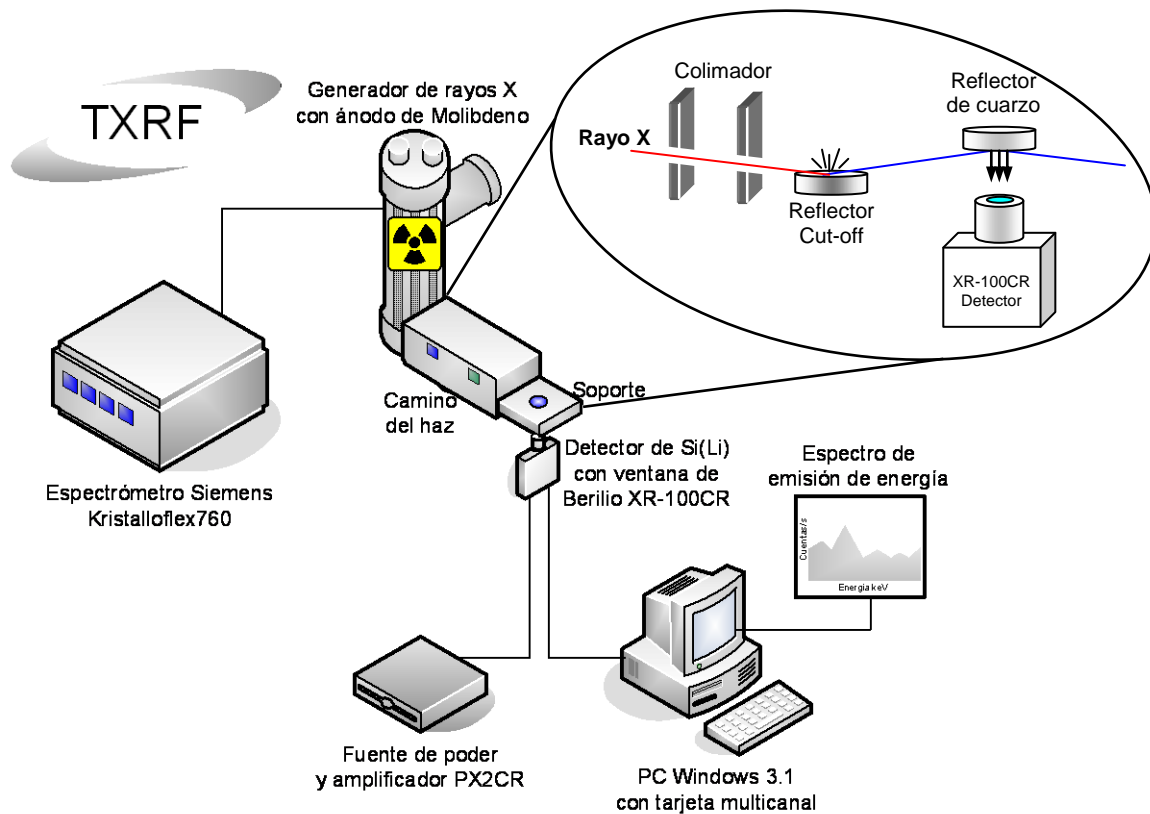
Esta etapa se desarrolló en el Centro de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares (CIAN-FIA-UES), iniciando con la colección de los espectros de emisión de energía para cada muestra y luego con la cuantificación de la concentración de los metales pesados encontrados.

### **8.1 El espectrómetro TXRF.**

En la técnica de Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total (TXRF), se utilizó el Generador de Rayos X marca SIEMENS Modelo KRISTALOFLEX 760, con un Tubo de rayos X, con ánodo de Molibdeno. Las condiciones de operación fueron de 45kV, 20mA y 300s de tiempo de colección. Los espectros son adquiridos en el sistema de espectrometría de Rayos X, constituido por un detector de Silicio activado con Litio, con ventana de Berilio y su electrónica asociada, y almacenados en una PC mediante el software Aptec. En la Figura 8.1 se presenta un esquema simplificado del sistema de TXRF con excitación por tubo de Rayos X del Centro de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares (CIAN-FIA-UES).

---

<sup>7</sup> Apoyado en el Manual de QXAS 2.0 de la IAEA.



**Figura 8.1. Esquema del sistema de TXRF con excitación por tubo de Rayos X del Centro de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares (CIAN-FIA-UES).**

## 8.2 Colección de espectros.

Las muestras en disolución se homogenizaron y 10  $\mu\text{L}$  se depositaron en el centro de discos de cuarzo limpios para ser evaporados en el horno marca HERAEUS Vacutherm a las condiciones de operación de 0.2 bar y 45°C. Los discos se colocaron posteriormente en el equipo de fluorescencia llevando a cabo las mediciones para un tiempo de 300s, 45 kV y 20 mA.

En el espectro de emisión de energía aparecen simultáneamente todas las líneas asociadas a los elementos químicos presentes con una intensidad que depende directamente de la concentración de dicho elemento en la muestra (Figura 8.2).

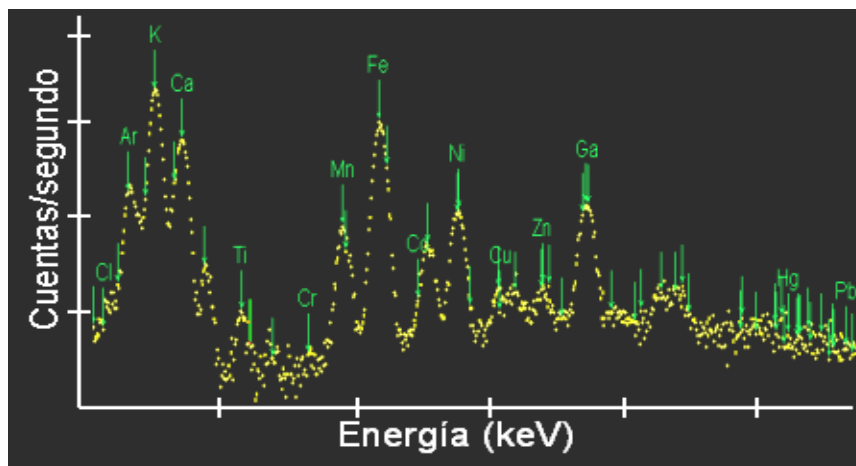


Figura 8.2. Espectro para una muestra de raíz de jacinto acuático.

### 8.3 Ajuste de espectros

El estándar interno es necesario para la cuantificación debido a que la TXRF no es una técnica absoluta y permite obtener una relación entre las cuentas netas observadas por el detector y la concentración en la muestra. La obtención de esta relación se facilita utilizando el software AXIL<sup>8</sup> mediante el cual se logra calcular las áreas de los picos de los elementos de interés. La figura 8.3 muestra el ejemplo de un ajuste para un espectro de jacinto acuático, donde la zona roja representa las áreas de los picos obtenidos en el análisis multielemental que la técnica TXRF permite utilizando AXIL.

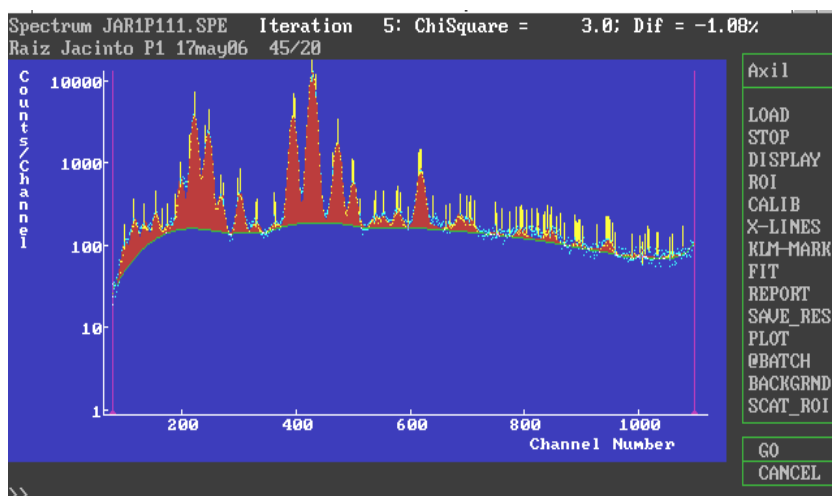


Figura 8.3. Ajuste de un espectro de raíz de jacinto acuático con AXIL.

<sup>8</sup> Analysis of X-ray spectra by Iterative Least-squares fitting

## 8.4 Cuantificación

Se utiliza el paquete para análisis cuantitativo QXAS que incluye AXIL y es distribuido gratuitamente por la IAEA<sup>9</sup>. Es un sistema integrado para la evaluación cuantitativa de los espectros obtenidos por TXRF.

### 8.4.1 Curvas de calibración y sensibilidad

Además del estándar interno, es necesaria la selección de estándares de referencia que posean en su matriz elementos semejantes a los encontrados en las muestras analizadas para elaborar mediante el software QXAS curvas de calibración para cada elemento de los estándares que son utilizadas en la creación de una curva de sensibilidad multielemental.

Para esta curva de sensibilidad se hizo uso de tres materiales de referencia: Liqueen (CRM 482 de la Community Bureau of Reference), celulosa de algodón (V-9 de la IAEA) y harina de centeno (V-8 de la IAEA), a los que se les colectó el espectro y se les hizo el ajuste de áreas de igual manera que para las muestras.

La curva de sensibilidad sólo permite calcular concentraciones para elementos a los que se les detecta sus líneas K $\alpha$ . Por lo tanto el Plomo y el Mercurio no pueden ser cuantificados de esta manera. La concentración de estos elementos se calcula con la siguiente ecuación:

$$c_x = \frac{I_x / I_{ix}}{I_s / I_{is}} \times c_s$$

Donde  $I$  son las cuentas netas calculadas con AXIL,  $c$  es la concentración en  $\mu\text{g/mL}$ , ambos indicados para cada elemento  $x$  y un estándar de referencia  $s$  utilizado en la curva de sensibilidad. Los subíndices  $ix$  e  $is$  hacen referencia al estándar interno en la muestra y en el estándar de referencia respectivamente.

---

<sup>9</sup> International Atomic Energy Agency

Los resultados se obtienen en las unidades  $\mu\text{g}$  de elemento/mL de solución, siendo necesario convertir las concentraciones a  $\mu\text{g}$  de elemento/g de peso base seca de la muestra, mediante la siguiente ecuación deducida de los procesos de disolución.

$$P_x = \frac{c_x \times 25\text{ml}}{m_i}$$

Donde c representa la concentración para cada elemento x en  $\mu\text{g/mL}$  de solución, P indica la concentración en  $\mu\text{g}$  de elemento x/g de peso base seca de muestra y m la masa base seca utilizada en la digestión de cada muestra i.

## IX. RESULTADOS

Se presentan resultados preliminares y definitivos, los primeros se obtuvieron sin la corrección de ciertos errores en el proceso de medición. Los resultados definitivos se presentan luego de identificar y corregir los errores de medición identificados, comprobando la confiabilidad de los valores mediante la comparación con un material certificado y comparando los valores obtenidos mediante Absorción Atómica para cromo y plomo al ser la técnica normada internacionalmente para el análisis de metales pesados.

### 9.1 Resultados preliminares para la cuantificación por Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total

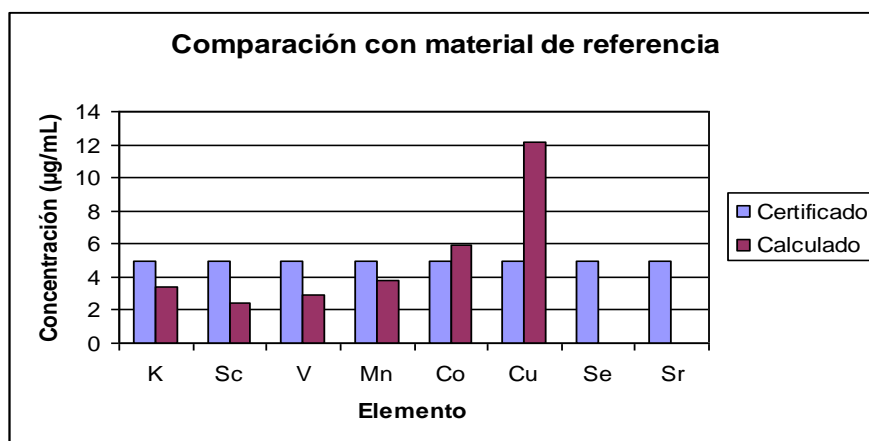
La calidad analítica en las determinaciones de metales en las muestras, fue evaluada analizando, junto con el lote de muestras, un material de referencia certificado STDA5 del Atom Institute.

El cuadro 9.1 muestra las concentraciones totales halladas, expresadas en  $\mu\text{g}$  de elemento/mL de solución, en comparación directa con los valores que certifica el material de referencia y el porcentaje de error en la determinación de cada elemento.

**Cuadro 9.1. Comparación de concentración certificada y calculada para el material de referencia STDA5 expresadas en  $\mu\text{g}$  de elemento/mL de solución.**

Elemento	Concentración Certificada ( $\mu\text{g/mL}$ )	Concentración Calculada ( $\mu\text{g/mL}$ )	%Error
K	5	3.393	32.14
Sc	4.975	2.451	50.73
V	5	2.914	41.72
Mn	5	3.827	23.46
Co	5	5.885	17.70
Cu	5	12.133	142.66
Se	5	ND <sup>10</sup>	--
Sr	5	ND	--

Se compararon los valores obtenidos para el estándar de referencia con los valores de referencia de los mismos. La correlación no fue totalmente satisfactoria para algunos de los elementos analizados. Este es un problema frecuente cuando se trabaja a nivel de trazas. En la figura 9.1 se representan los resultados en base al Cuadro 9.1.



**Figura 9.1. Gráfica comparativa de la concentración certificada y calculada para el material de referencia STDA5 expresadas en  $\mu\text{g}$  de elemento/mL de solución.**

<sup>10</sup> No determinado

## 9.2 Análisis del proceso de medición por Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total

El objetivo del análisis del proceso que se desarrolló para obtener los resultados preliminares mediante la técnica TXRF es para identificar los posibles errores que provocaron resultados carentes de confiabilidad, demostrado en los altos porcentajes de error de algunos de los elementos cuantificados para el material de referencia STDA5. De este proceso se obtuvieron las siguientes observaciones:

- ⊕ En el equipo, la distancia perpendicular entre el detector y la muestra era mayor a 1 mm (distancia media recomendada).
- ⊕ La gota de muestra depositada sobre el disco no se distribuía uniformemente
- ⊕ De los ocho discos de cuarzo utilizados solamente dos no presentaban rayaduras.
- ⊕ El uso de detergente en polvo para la limpieza de los discos presentó desventaja al actuar como abrasivo y causar imperfecciones a los discos.

## 9.3 Perfeccionamiento del análisis por Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total

Luego de identificar las posibles causas que provocaron los errores en los resultados preliminares se tomaron acciones encaminadas a corregir en lo posible los problemas y repetir las mediciones de las muestras y los estándares. Una de las acciones fue ajustar la distancia entre el detector y la muestra a un valor aproximado de 1 mm para mejorar la detección de las emisiones. El problema de usar discos desgastados es porque afecta la reflexión total de los rayos X y la eficiente excitación de los átomos de la muestra, para evitarlo se hicieron las siguientes modificaciones para la colección de los espectros:

- ⊕ Se utilizaron solamente los dos discos de cuarzo que estaban mejor conservados.
- ⊕ La primera vez que se usaban los discos cada día se limpiaban con un líquido desinfectante.
- ⊕ Se utilizó una solución de silicón, que no posee trazas metálicas, como sustrato para la muestra. Para mejorar la distribución de los 10  $\mu$ L de muestra, en el disco de cuarzo limpio se depositó 4  $\mu$ L de solución siliconada y se utilizó como sustrato de la muestra.
- ⊕ El secado se llevó a cabo en las condiciones de operación de 0.4 bar y 30°C.
- ⊕ Posterior a la colección, los discos se limpiaron solamente con alcohol de alta pureza debido a que la solución de silicón se remueve con facilidad y la muestra no se ha incrustado.

El procedimiento seguido para la cuantificación fue similar al realizado en el Capítulo VIII, con la diferencia de utilizar para la elaboración de las curvas de calibración y la curva de sensibilidad los materiales de referencia: Almeja (Venus Antiqua, MR-CCHEN-002 de la Comisión Chilena de Energía Nuclear), agua fresca (1643c de NIST), celulosa de algodón (V-9 de la IAEA) y harina de centeno (V-8 de la IAEA).

La curva de calibración para un elemento se presenta en la figura 9.2, donde se observa la linealidad de su concentración.

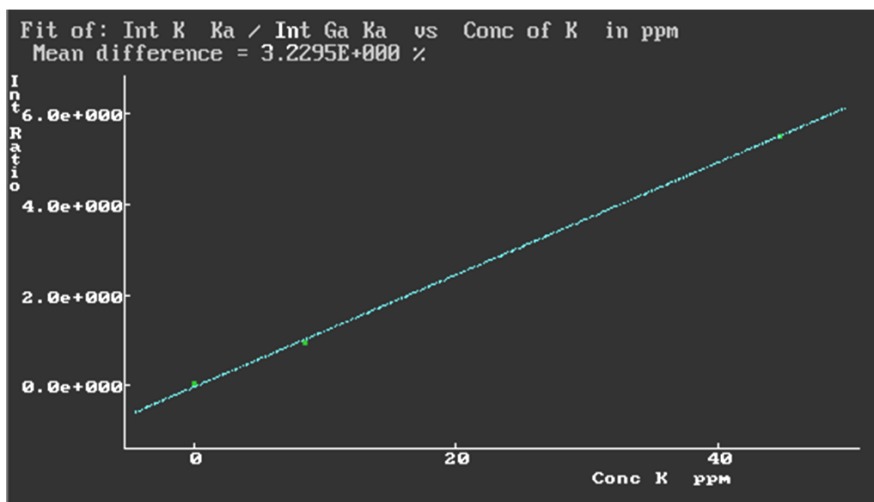


Figura 9.2. Curva de calibración de un elemento.

En la figura 9.3 se representa la curva de sensibilidad multielemental elaborada luego de la corrección de los errores identificados en el apartado 9.2.

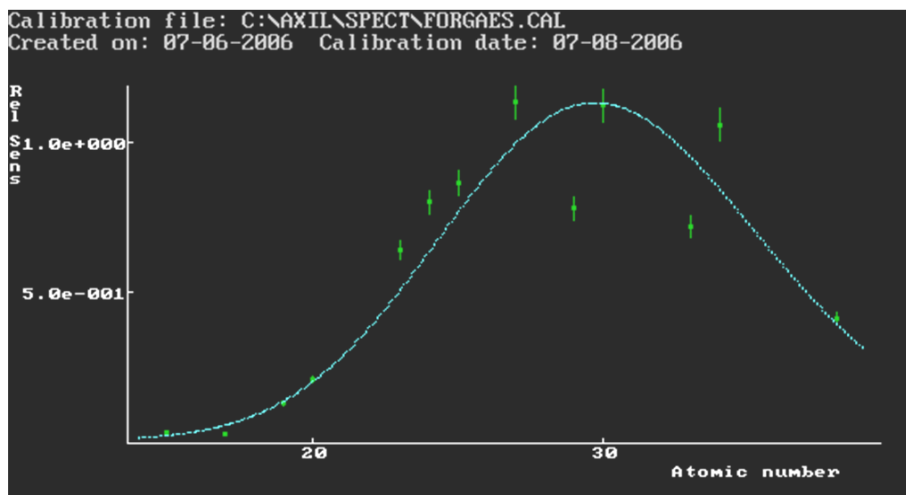


Figura 9.3. Curva de sensibilidad multielemental.

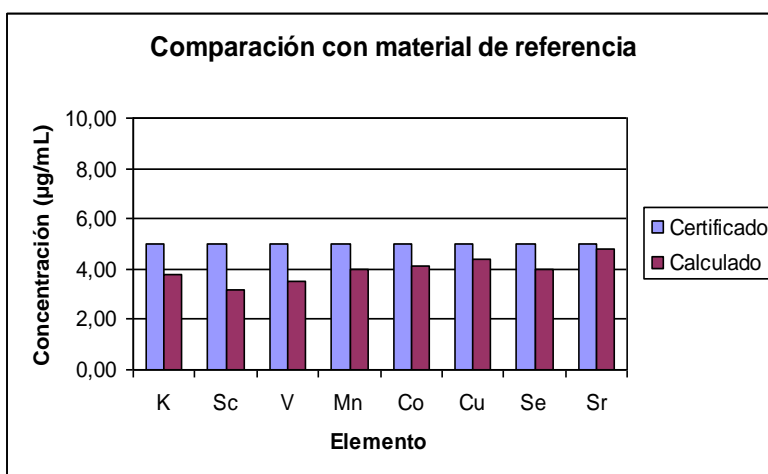


#### 9.4 Resultados definitivos para el cálculo de concentraciones por Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total

La calidad analítica de las nuevas mediciones, posterior a la realización de las modificaciones propuestas, fue evaluada analizando el mismo material de referencia certificado STDA5 elaborado por el Atom Institute. El cuadro 9.2 muestra las concentraciones totales calculadas, expresadas en base a peso seco, en comparación con los valores de referencia certificados y el nuevo porcentaje de error en la determinación de cada elemento.

**Cuadro 9.2. Comparación de concentración certificada y calculada para el material de referencia STDA5 expresadas en  $\mu\text{g}$  de elemento/mL de solución de estándar.**

Elemento	Concentración Certificada ( $\mu\text{g/mL}$ )	Concentración Calculada ( $\mu\text{g/mL}$ )	%Error
K	5	3.789	24.22
Sc	4.975	3.196	35.76
V	5	3.490	30.20
Mn	5	3.995	20.10
Co	5	4.147	17.06
Cu	5	4.373	12.54
Se	5	4.018	19.64
Sr	5	4.807	3.86



**Figura 9.4. Gráfica comparativa de la concentración certificada y calculada para el material de referencia STDA5 expresadas en  $\mu\text{g}$  de elemento/mL de solución.**

A partir de los resultados del cuadro 9.2 y representados en la figura 9.4, se observa que el porcentaje de error obtenido para el material de referencia STDA5 se encuentra entre 3.86-35.76.

En los resultados preliminares de Plomo y Mercurio se identificó la subjetividad en la cuantificación tanto en usar solamente un estándar como en su selección. Para evitarlo se prepararon, a partir de soluciones de 1000 ppm MERCK de Plomo y Mercurio, estándares de concentraciones de 0.2, 0.5 y 1 ppm para cada elemento. Se elaboraron las curvas de calibración correspondientes para verificar la linealidad entre la relación de intensidad Pb/Ga y Hg/Ga con la concentración. Para la regresión lineal aplicada tomando en cuenta el origen, se obtuvieron valores de  $R^2$  de 0.96 para mercurio y 0.99 para plomo, indicando una tendencia lineal aceptable que permite utilizar la ecuación ajustada para calcular las concentraciones en las muestras (Figura 9.5).

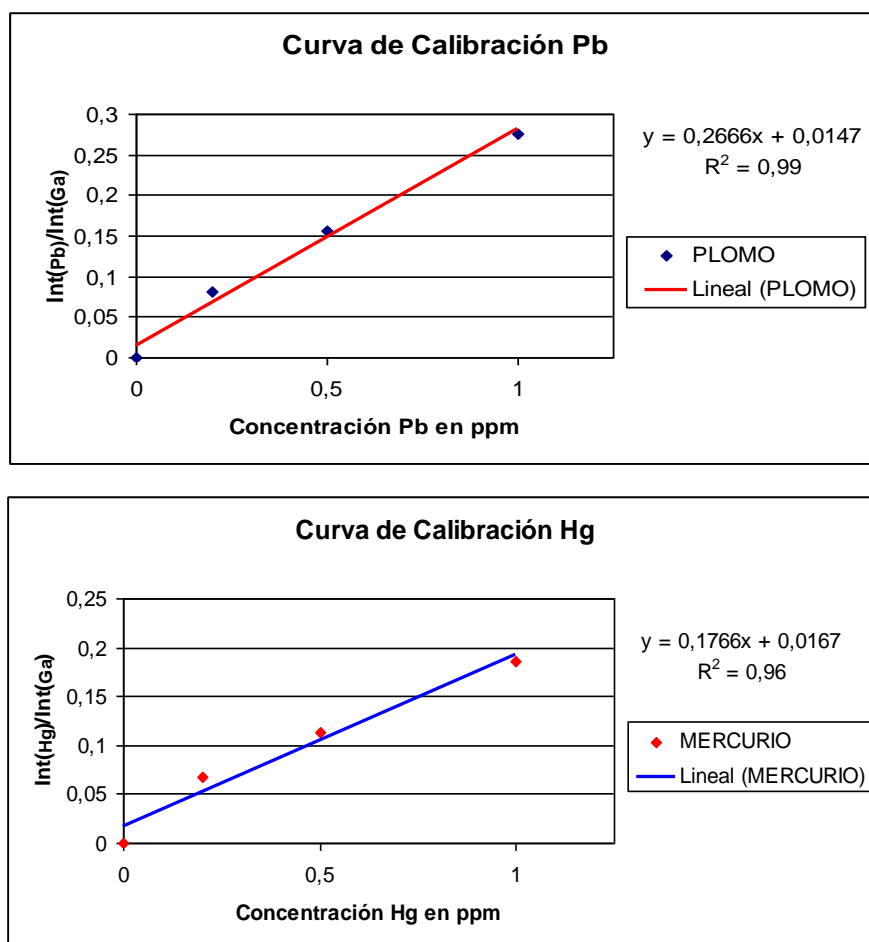


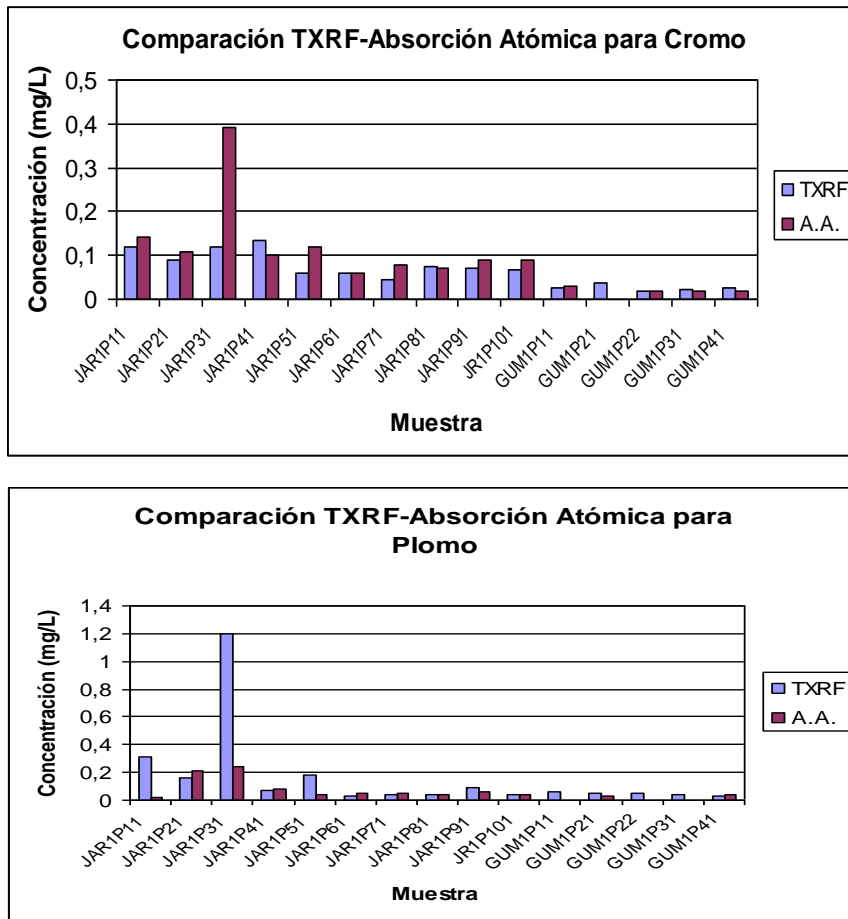
Figura 9.5. Curvas de calibración de Plomo y Mercurio elaboradas a partir del análisis de soluciones estándar de 0.2, 0.5 y 1 ppm por Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total.

Debido a que la técnica normada internacionalmente para la cuantificación de metales pesados es la Absorción Atómica se realizaron análisis para Cr y Pb con el objetivo de comprobar la congruencia de los resultados, en el cuadro 9.3 se presentan los valores obtenidos en  $\mu\text{g/mL}$  para ambas técnicas.

**Cuadro 9.3. Comparación de las concentraciones calculadas mediante el análisis por Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total y Absorción Atómica.<sup>11</sup>**

Muestra	CROMO		PLOMO	
	TXRF	A. A.	TXRF	A. A.
JAR1P11	0.119	0.14	0.316	0.02
JAR1P21	0.089	0.11	0.162	0.21
JAR1P31	0.121	0.39	1.198	0.24
JAR1P41	0.133	0.10	0.075	0.08
JAR1P51	0.059	0.12	0.182	0.04
JAR1P61	0.058	0.06	0.026	0.05
JAR1P71	0.044	0.08	0.044	0.05
JAR1P81	0.076	0.07	0.042	0.04
JAR1P91	0.070	0.09	0.090	0.06
JR1P101	0.067	0.09	0.039	0.04
GUM1P11	0.027	0.03	0.057	ND
GUM1P21	0.036	ND	0.051	0.03
GUM1P22	0.019	0.02	0.049	ND
GUM1P31	0.024	0.02	0.042	ND
GUM1P41	0.025	0.02	0.029	0.04

<sup>11</sup> Absorción Atómica en el Laboratorio de Servicios Analíticos de PROCAFE.



**Figura 9.6. Gráficas comparativas de las concentraciones calculadas mediante el análisis por Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total y Absorción Atómica.**

En la Figura 9.6 se representa el resultado de la comparación de las concentraciones obtenidas por Absorción Atómica y Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total, encontrándose la mayor discrepancia en la muestra JAR1P31 tanto para el cromo como para el plomo.

Tomando la definición de metal pesado como aquel que posee una densidad relativa mayor a cinco, se identificaron en las muestras Cr, Cu, Zn, Pb, y Hg. El resultado de las concentraciones se presenta en el Cuadro 9.4. En la Figura 9.7 se representan las tendencias de las concentraciones registradas en el Cuadro 9.4 a lo largo del área de estudio, separados para el guapote tigre y el jacinto acuático.

**Cuadro 9.4. Concentraciones definitivas de Cr, Cu, Zn, Pb y Hg en las muestras de Guapote Tigre y Jacinto Acuático, expresadas en ( $\mu\text{g}$  de elemento/g de muestra) en base seca.**

Muestra	Cr	Cu	Zn	Pb	Hg
JAR1P11	29.72 $\pm$ 4.75	31.97 $\pm$ 3.50	74.68 $\pm$ 4.00	78.91 $\pm$ 5.40	46.94 $\pm$ 7.82
JAR1P21	22.10 $\pm$ 0.00	78.95 $\pm$ 4.22	66.53 $\pm$ 6.70	40.17 $\pm$ 8.87	122.70 $\pm$ 9.13
JAR1P31	30.28 $\pm$ 9.01	57.06 $\pm$ 5.26	117.37 $\pm$ 6.51	299.76 $\pm$ 9.57	115.14 $\pm$ 15.30
JAR1P41	32.76 $\pm$ 7.64	33.74 $\pm$ 3.45	77.09 $\pm$ 5.67	18.40 $\pm$ 7.67	8.42 $\pm$ 2.79
JAR1P51	14.56 $\pm$ 3.70	40.23 $\pm$ 2.96	51.09 $\pm$ 2.71	44.94 $\pm$ 5.97	22.77 $\pm$ 6.65
JAR1P61	28.66 $\pm$ 0.00	81.03 $\pm$ 3.95	86.96 $\pm$ 8.40	12.88 $\pm$ 7.28	4.35 $\pm$ 1.47
JAR1P71	10.76 $\pm$ 3.42	31.56 $\pm$ 2.45	47.95 $\pm$ 2.45	10.74 $\pm$ 4.94	9.55 $\pm$ 3.53
JAR1P81	18.98 $\pm$ 5.49	23.48 $\pm$ 3.25	49.95 $\pm$ 5.00	10.50 $\pm$ 8.49	8.89 $\pm$ 4.15
JAR1P91	17.26 $\pm$ 0.00	25.15 $\pm$ 2.47	61.64 $\pm$ 4.44	22.30 $\pm$ 8.30	10.29 $\pm$ 3.37
JR1P101	16.77 $\pm$ 3.75	31.78 $\pm$ 2.25	58.06 $\pm$ 2.75	9.80 $\pm$ 4.86	5.83 $\pm$ 1.89
GUM1P11	6.74 $\pm$ 0.00	18.73 $\pm$ 2.50	39.46 $\pm$ 3.50	14.22 $\pm$ 10.71	30.05 $\pm$ 6.97
GUM1P21	8.96 $\pm$ 2.24	20.15 $\pm$ 2.24	38.81 $\pm$ 2.99	12.78 $\pm$ 5.66	17.26 $\pm$ 6.71
GUM1P22	4.42 $\pm$ 0.00	12.10 $\pm$ 1.40	32.82 $\pm$ 1.86	11.51 $\pm$ 4.11	18.28 $\pm$ 4.65
GUM1P31	5.63 $\pm$ 0.00	12.68 $\pm$ 1.88	37.32 $\pm$ 2.11	9.75 $\pm$ 7.50	16.98 $\pm$ 5.66
GUM1P41	6.23 $\pm$ 0.00	15.94 $\pm$ 1.74	45.32 $\pm$ 2.49	7.26 $\pm$ 4.46	21.04 $\pm$ 5.23

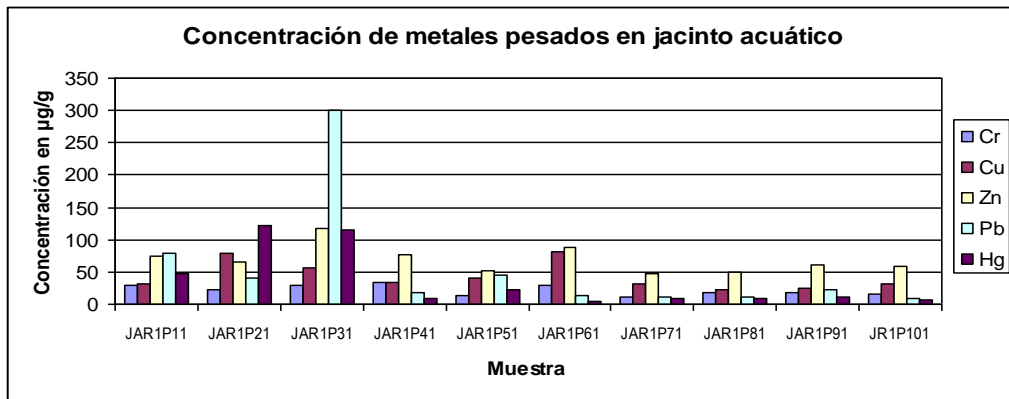
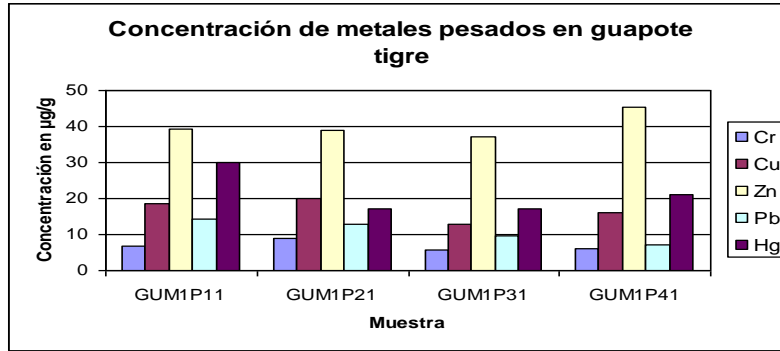


Figura 9.7. Gráficas que representan los resultados definitivos a partir del Cuadro 7.

## X. FUENTES CONTAMINANTES DE METALES PESADOS

En El Salvador, la mayor fuente generadora de vertidos líquidos con metales pesados es la industria, y en menor grado, los arrastres de aguas lluvias con trazas de estos metales que se encuentran en los botaderos de basura y las fuentes naturales en diversas áreas de la región. Existen diferentes industrias catalogadas como fuentes generadoras de vertidos con metales pesados, como la industria de galvanoplastia, curtiembre, fundiciones, fabricación de baterías para automotores y pinturas.

### 10.1 Rubros industriales a nivel nacional que utilizan Cr, Cu, Zn, Hg y Pb.

Los metales pesados y sus compuestos son utilizados en los procesos de diversas industrias. En el Cuadro 10.1, se describen los usos que la industria proporciona a los metales pesados identificados en la fase experimental, en estado elemental y en compuestos.

**Cuadro 10.1. Rubros industriales a nivel nacional que utilizan Cr, Cu, Zn, Hg y Pb en estado elemental y en sus compuestos.**

<b>Metal Pesado</b>	<b>Compuesto</b>	<b>Rubro Industrial</b>
<b>Zinc</b>	Zinc (elemental)	Aleaciones en la fundición de latón y bronce, recubrimiento en el proceso de electrodeposición.
	Sulfuro de zinc	Fabricación de pinturas.
	Sulfato de zinc	Desinfectante, curtido de pieles, fabricación de pinturas y galvanoplastia.
	Cloruro de zinc	Industria de la galvanoplastia en el proceso de zincado.
	Cromato de zinc	Mezclado con aceites, resina para pinturas.
	Cianuro de zinc	Industria de la galvanoplastia en el proceso de zincado.
	Fluoruro de zinc	Conservación de la madera, fabricación de pinturas y en la industria de galvanoplastia.
	Óxido de zinc	Pinturas, cosméticos y medicamentos, polvos de limpieza y fabricación de vidrio.
	Fosfuro de zinc	Fabricación de raticidas.
<b>Cobre</b>	Cobre (elemental)	Fabricación de alambres para conducción eléctrica, aleaciones.
	Cianuro cuproso	En el proceso de cobreado de la industria de galvanoplastia.
	Óxido de cobre	Fabricación de pinturas, preparación de pigmentos azul y verde.
	Carbonato de cobre	Fabricación de pinturas, pigmento azul.
	Cloruro de cobre	En el proceso de cobreado galvánico de piezas de aluminio.
	Nitrato cúprico	Tinta para metal, pigmento, para teñir de negro el cobre elemental.
	Tiocianato cuproso	Fabricación de pinturas anticorrosivas.
	Sulfato de cobre	En la industria de galvanoplastia en el proceso de cobreado, tinción de textiles, pigmento azul.
	Fosfato cúprico	En la industria de la galvanoplastia en el proceso de cobreado.
<b>Cromo</b>	Cromo (elemental)	Producción de aceros aleados.
	Cloruro de cromo	Proceso de cromado.

<b>Metal Pesado</b>	<b>Compuesto</b>	<b>Rubro Industrial</b>
	Cromato de plomo	Pigmento de color amarillo en la fabricación de pinturas.
	Cromato de zinc	Pigmento de color amarillo en la fabricación de pinturas.
	Trióxido de cromo	Pigmento verde para fabricación de pinturas.
	Alumbre de cromo	Curtiembre.
	Sulfato de cromo	Curtiembre.
	Dicromato de sodio	Preparación del electrolito en el cromado, curtiembre.
<b>Mercurio</b>	Mercurio (elemental)	Amalgamas dentales, minería del oro, equipos eléctricos (baterías, interruptores), instrumentos (termómetros, barómetros).
	Amalgama de zinc	Zincado galvánico.
	Amalgama de oro y plata	Dorado y plateado galvánico sobre cobre, latón y bronce.
	Cloruro de mercurio (I)	Galvanoplastia.
	Tetrayodo mercuriato de plata	Pigmento color amarillo-anaranjado.
	Sulfuro de mercurio (II)	Pigmento rojo en la elaboración de pinturas.
<b>Plomo</b>	Plomo (elemental)	Material para electrodos de acumuladores eléctricos, revestimiento anticorrosivo en el proceso de emplomado.
	Carbonato de plomo	Pigmento blanco en la elaboración de pinturas.
	Cromato de plomo	Pigmento de color amarillo en la elaboración de pinturas.
	Óxido de plomo	Acumuladores eléctricos.
	Acetato de plomo	Preparación de pigmentos amarillo y blanco en la fabricación de pinturas.

Fuente: Acosta et al. (2000)



**10.2 Localización geográfica a nivel municipal de los rubros industriales que contaminan con efluentes de Cromo, Cobre, Zinc, Plomo y Mercurio el Lago Suchitlán.**

En el cuadro 10.2 se presenta el listado de municipios pertenecientes a la cuenca alta del Río Lempa en que se ubican los tipos de industria registradas que por su naturaleza producen vertidos que contienen metales pesados. La delimitación a la cuenca alta del Río Lempa se debe a que esta región provoca la contaminación del Lago Suchitlán mediante sus afluentes.

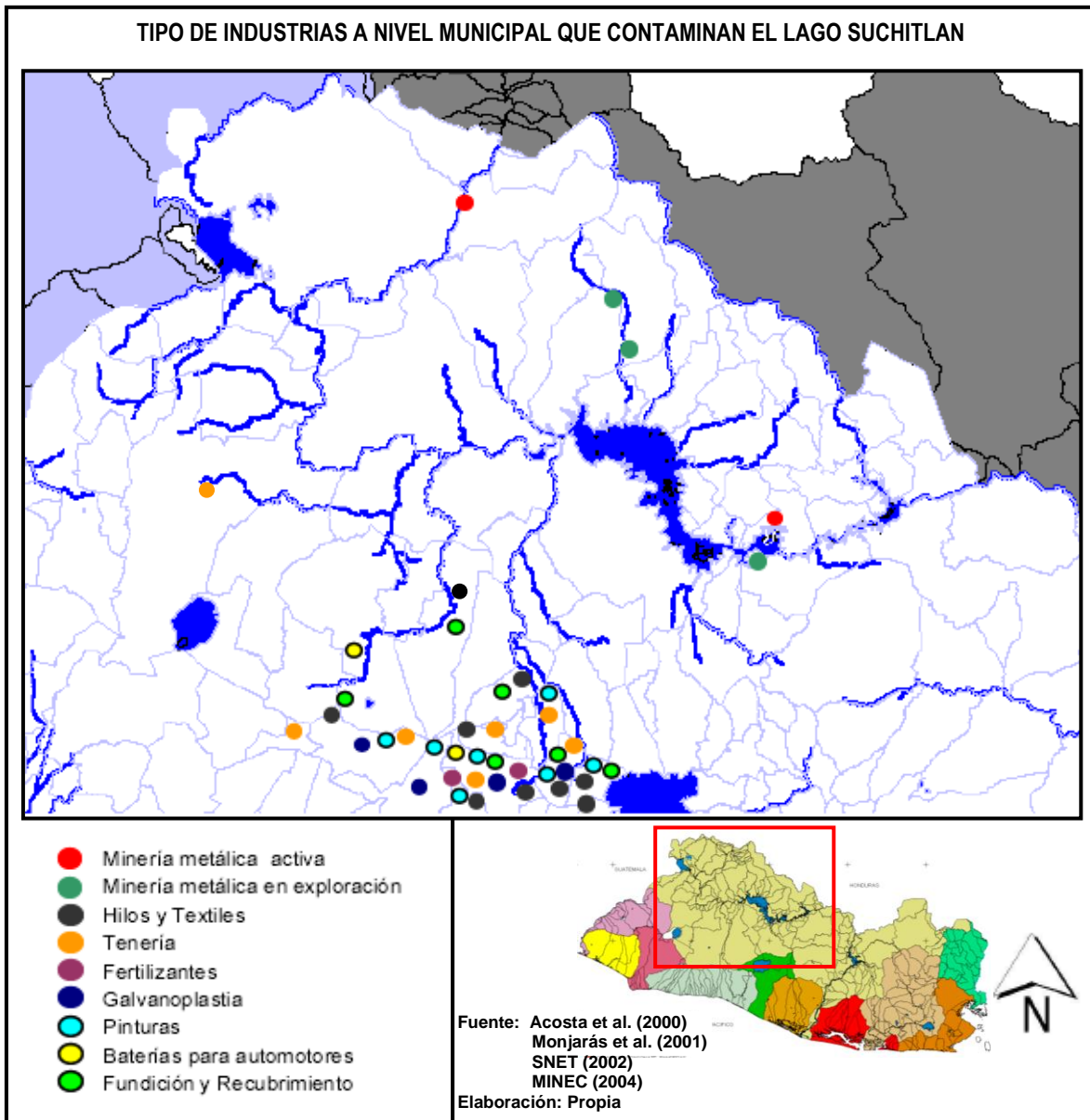
**Cuadro 10.2. Industrias presentes a nivel municipal en la cuenca alta del Río Lempa y que contaminan el Lago. Suchitlán con desechos que contienen Cr, Cu, Zn, Hg y Pb.**

<b>MUNICIPIO</b>	<b>TIPO DE INDUSTRIA</b>
La Palma	Minería metálica activa
Dulce Nombre de María	Minería metálica en exploración
Tejutla	Minería metálica en exploración
Potonico	Minería metálica activa
Jutiapa	Minería metálica en exploración
Santa Ana	Tenería
San Juan Opico	Baterías para automotores Fundición y recubrimiento
Quezaltepeque	Fundición y recubrimiento Hilos y textiles
Sacacoyo	Tenería
Colón	Hilos y textiles Galvanoplastia Tenería Pinturas
Nueva San Salvador	Galvanoplastia Pinturas
Antiguo Cuscatlán	Pinturas Fertilizante Hilos y textiles

MUNICIPIO	TIPO DE INDUSTRIA
San Salvador	Hilos y textiles Galvanoplastia Tenería Pinturas Fundición y recubrimiento Fertilizantes Baterías para automotores
Mejicanos	Hilos y textiles Tenería
Apopa	Hilos y textiles Fundición y recubrimiento
Ciudad Delgado	Pinturas Tenería
Ilopango	Hilos y textiles Pinturas Fundición y recubrimiento
Soyapango	Hilos y textiles Galvanoplastia Tenería Pinturas Fundición y recubrimiento
Santiago Texacuangos	Hilos y textiles

Fuente: Acosta et al. (2000)  
Monjarás et al. (2001)  
MINEC (2004)

En la Figura 10.1 se representa la ubicación geográfica a nivel municipal del tipo de industrias presentes en la región de la cuenca alta del Río Lempa y que contaminan con efluentes que contienen Cromo, Cobre, Zinc, Plomo y Mercurio el Lago Suchitlán, aclarando que sólo se indica el tipo de industria y no el número de empresas existente.



**Figura 10.1. Localización de fuentes contaminantes por rubro a nivel municipal en la cuenca alta del río Lempa, que aportan desechos que contienen Cr, Cu, Zn, Hg y Pb, hasta el año 2004.**

Mediante el análisis de la Figura 10.1 se puede observar que la mayor actividad industrial se presenta en la zona metropolitana de San Salvador, convirtiendo al Río Acelhuate en la mayor fuente de contaminación por metales pesados como afluente principal del embalse Cerrón Grande.

## **XI. ANALISIS DE LOS RESULTADOS**

### **11.1 Etapa de la Selección del biomonitor.**

La mayor presencia de metales pesados en la raíz de jacinto, respecto a su tallo y hojas, en la etapa de selección del biomonitor se debe posiblemente a que la raíz es la parte de la planta que se encarga de la absorción de los minerales para ser distribuidos a lo largo de la planta.

Las concentraciones más elevadas en el tejido muscular que en el hígado del mismo ejemplar de pescado, indica que los peces están expuestos de forma constante, de manera que la acumulación de contaminantes en los animales «no es tanto una consecuencia de una contaminación puntual» (si fuera así, como en todas las intoxicaciones agudas, la concentración más elevada de contaminantes estaría en el hígado) sino que es «consecuencia de una bioacumulación constante y en un plazo largo de tiempo» (Consumer EROSKI, 2006, marzo).

### **11.2 Calidad analítica de los resultados de las concentraciones de Plomo, Mercurio, Cromo, Cobre y Zinc obtenidos por medio de la Técnica de Fluorescencia de Rayos x por Reflexión Total.**

Los resultados obtenidos para el material de referencia STDA5, presentan discrepancias entre 3.86 y 35.76%, el último porcentaje corresponde a un elemento no cuantificado. El material de referencia utilizado permitió verificar los datos experimentales obtenidos en cuanto a exactitud y sensibilidad para concentraciones en órdenes de ppm.

Para la mayoría de los casos los valores de las concentraciones fueron muy cercanos entre la técnica de Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total y la Absorción Atómica, permitiendo comprobar la confiabilidad que la técnica de TXRF presenta en el análisis de metales pesados en las investigaciones ambientales. La mayor discrepancia se observa para la muestra JAR1P31, la cual se encontraba en el embalse en diferente condición en comparación a las otras muestras de jacinto, al encontrarse en contacto con el sedimento del Lago como producto de la disminución del nivel del

agua para la época en que se realizó el muestreo, produciendo un filme menos fino en el disco de cuarzo, respecto a las demás muestras, luego del secado de los 10 µL de solución.

Las discrepancias encontradas en la cuantificación de los metales entre las dos técnicas analíticas se deben a que la confiabilidad de los resultados para Absorción Atómica disminuye cuando el orden de las concentraciones analizadas es menor a 1 mg/L<sup>12</sup>.

### **11.3 Concentración calculada de Plomo, Mercurio, Cromo, Cobre y Zinc en las muestras de Músculo de Guapote y Raíz de Jacinto Acuático.**

Los mayores niveles de contaminación se encontraron en los primeros puntos muestreados para todos los metales pesados determinados, tanto para el guapote tigre como para el jacinto acuático. El zinc es el metal que se encuentra en mayor concentración en las muestras de guapote seguido por el mercurio. Para el jacinto acuático la mayor concentración de metales se encontró en el punto 3 debido a que la raíz de la planta estaba en contacto directo con el sedimento del Lago. Aparte del punto 3 para el jacinto, las concentraciones de todos los metales analizados presentaron una tendencia en general descendente a lo largo del área de estudio para ambos biomonitores.

### **11.4 Comparación de Concentraciones de Mercurio y Plomo con el Contenido Máximo en ppm dados por la Directiva 1999/29/CE<sup>13</sup> para el Jacinto Acuático y el Reglamento (CE) 466/2001 para el Guapote Tigre.**

Con todos los valores de concentración calculados para los metales mercurio y plomo de cada uno de los biomonitores, se investigaron los valores de contenido máximo que rigen los niveles de estos metales en productos alimenticios para consumo humano en el caso de el músculo o carne de Guapote Tigre y en alimentos o para materia prima para consumo animal para la raíz de Jacinto Acuático.

---

<sup>12</sup> Laboratorio de Servicios Analíticos de PROCAFE.

<sup>13</sup> Comunidad Europea

Los metales pesados encontrados en cada una de las muestras de los biomonitores fueron cromo, cobre, zinc, plomo y mercurio. Estos valores se compararon con valores aceptados por organismos internacionales. Estas comparaciones se hicieron en base húmeda para el músculo de guapote de acuerdo al Reglamento de la Comisión de las Comunidades Europeas N° 466/2001 (CONSLEG, 2004), y para la raíz de jacinto se comparó en base seca de acuerdo a la Directiva del Consejo de la Unión Europea 1999/29/CE (CONSLEG, 2002).

### 11.5 Comparación de las concentraciones de Mercurio obtenidas para cada biomonitor, con valores de contenido máximo.

En los cuadros 11.1 y 11.2 se establecen las comparaciones de cada una de las muestras analizadas con los valores de contenido máximo de cada producto con el que se identificó el biomonitor.

**Cuadro 11.1. Comparación de valores de concentración de Mercurio obtenidos en la de raíz de Jacinto Acuático con valores de contenido máximo de Mercurio para materia prima para alimento animal (todos los valores están expresados en base seca).**

Biomonitor	Código	Valor Obtenido (µg de Hg/g de peso seco)	Valor dado por la UE (µg de Hg/g de peso seco)	Comentario
Raíz de Jacinto	JAR1P11	46.94	0.11	Todos los valores de las muestras de raíz de jacinto sobrepasan la norma <sup>14</sup> desde 39 hasta 1115 veces aproximadamente.
	JAR1P21	122.70		
	JAR1P31	115.14		
	JAR1P41	8.42		
	JAR1P51	22.77		
	JAR1P61	4.35		
	JAR1P71	9.55		
	JAR1P81	8.89		
	JAR1P91	10.29		
	JR1P101	5.83		

<sup>14</sup> El número de veces que se sobrepasa una norma se obtiene dividiendo el valor obtenido experimentalmente entre el valor reportado por la norma.

**Cuadro 11.2. Comparación de valores de concentración de Mercurio obtenidos en el músculo de Guapote Tigre con valores de contenido máximo de Mercurio para productos de la pesca (todos los valores están expresados en base húmeda).**

Biomonitor	Código	Valor Obtenido (µg de Hg/g de peso húmedo)	Valor dado por la UE <sup>15</sup> (µg de Hg/g de peso húmedo)	Comentario
Músculo de Guapote	GUM1P11	6.18	0.5	Todas muestras de músculo de guapote exceden en una medida considerable al valor reportado por la norma seleccionada. Las concentraciones exceden de 6.86 a 12.36 veces la norma.
	GUM1P21	3.55		
	GUM1P22	3.76		
	GUM1P31	3.43		
	GUM1P41	4.33		

**11.6 Comparación de las concentraciones de Plomo obtenidas para cada biomonitor, con valores de contenido máximo.**

En los cuadros 11.3 y 11.4 se establecen las comparaciones de cada una de las muestras analizadas con los valores de contenido máximo de cada producto con el que se identificó el biomonitor.

**Cuadro 11.3. Comparación de valores de concentración de Plomo obtenidos en el músculo de Guapote Tigre con valores de contenido máximo de Plomo para productos de la pesca (todos los valores están expresados en base húmeda).**

Biomonitor	Código	Valor Obtenido (µg de Pb/g de peso húmedo)	Valor dado por la UE <sup>16</sup> (µg de Pb/g de peso húmedo)	Comentario
Músculo de Guapote	GUM1P11	2.93	0.2	Los valores obtenidos para el músculo de Guapote sobrepasan desde 7 a 15 veces aproximadamente el valor de la norma.
	GUM1P21	2.63		
	GUM1P22	2.37		
	GUM1P31	2.01		
	GUM1P41	1.49		

<sup>15</sup> Unión Europea

<sup>16</sup> Unión Europea

**Cuadro 11.4. Comparación de valores de concentración de Plomo en la de raíz de Jacinto Acuático con valores de contenido máximo de Plomo para materia prima para alimento animal (todos los valores están expresados en base seca).**

Biomonitor	Código	Valor Obtenido (µg de Pb/g de peso seco)	Valor dado por la UE (µg de Pb/g de peso seco)	Comentario
Raíz de Jacinto	JAR1P11	78.91	11.36	La mayoría de los valores de raíz de jacinto sobrepasan la norma hasta 26 veces, excepto los valores en los puntos 7, 8 y 10.
	JAR1P21	40.17		
	JAR1P31	299.76		
	JAR1P41	18.40		
	JAR1P51	44.94		
	JAR1P61	12.88		
	JAR1P71	10.74		
	JAR1P81	10.50		
	JAR1P91	22.30		
	JR1P101	9.80		

**11.7 Cálculo de la cantidad límite consumible a la semana (CLCS) de carne o músculo de Guapote a partir de las concentraciones máxima y mínima de Mercurio y Plomo encontradas en el Músculo de Guapote Tigre.**

A pesar de que ninguna de las muestras de músculo de guapote recolectadas a través de la región de estudio, cumplen los contenidos máximos permisibles, la FAO/OMS ha puesto límites de ingesta semanal total provisional (ISTP) para cada uno de estos metales.

Con el valor de ISTP de Plomo y Mercurio, se puede hacer un cálculo de la cantidad que se puede consumir a la semana de cada uno de los alimentos que contengan estos metales.

A continuación se hará un cálculo de cuanta carne o músculo de Guapote Tigre se puede consumir sin exceder la ISTP lo que sería la cantidad límite consumible a la semana (CLCS) permitiva, tomando como base la concentración máxima y mínima de plomo y mercurio.



Para calcular el CLCS se utilizará la siguiente ecuación:

$$CLCS = \frac{ISTP}{\text{cantidad de metal pesado en el alimento}} \times \text{peso corporal}$$

Donde:

CLCS: Cantidad Límite Consumible de un Alimento dado.

ISTP: Ingesta Semanal Tolerable Provisional.

- ✦ Cálculo de la cantidad límite permitida de carne o músculo de Guapote consumible a la semana (CLCS) para el Mercurio:

Según la FAO/OMS la **ISTP** máxima permitida para este metal es **0.005 mg de Hg/kg de peso corporal** para el mercurio total, entonces para una persona de 70 kg (el cual lo manejaremos como el peso promedio) se presentan los resultados en el Cuadro 11.5 y un ejemplo de cálculo en el Anexo 13.

**Cuadro 11.5. Valores de la Cantidad Límite Consumible (CLCS) máxima permitida de Guapote Tigre en kg de carne fresca, en base al contenido de mercurio.**

Especie	Código	Valor Obtenido (µg de Hg/g de peso húmedo)	ISTP máxima permitida dada por la FAO/OMS en mg de Hg/kg de peso corporal	CLCS máxima permitida
Guapote Tigre	GUM1P11	6.18	0.005	0.057
	GUM1P21	3.55		0.099
	GUM1P22	3.76		0.093
	GUM1P31	3.43		0.102
	GUM1P41	4.33		0.081

En base al Cuadro 11.5, para una persona que consuma Guapote Tigre como parte de su alimentación su CLCS máxima permitida está entre 0.057 y 0.102 kg de peso fresco de carne de Guapote Tigre a la semana.

- ✦ Cálculo de la cantidad límite máxima permitida de carne o músculo de Guapote consumible a la semana (CLCS) para el Plomo:

Según la FAO/OMS la **ISTP** para este metal es de **0.025 mg de Pb/kg de peso corporal** para el Plomo, entonces para una persona de 70 kg (el cual como mencionamos anteriormente lo manejaremos como el peso promedio) se presentan los resultados en el Cuadro 11.6 y un ejemplo de cálculo como el realizado en el caso del mercurio en el Anexo13.

**Cuadro 11.6. Valores de la Cantidad Límite Consumible (CLCS) máxima permitida de Guapote Tigre en kg de carne fresca, en base al contenido de plomo.**

Especie	Código	Valor Obtenido (µg de Pb/g de peso húmedo)	ISTP máxima permitida dada por la FAO/OMS en mg de Pb/kg de peso corporal	CLCS máxima permitida
Guapote Tigre	GUM1P11	2.93	0.025	0.597
	GUM1P21	2.63		0.665
	GUM1P22	2.37		0.738
	GUM1P31	2.01		0.871
	GUM1P41	1.49		1.174

En base al Cuadro 11.6, para una persona que consuma Guapote Tigre como parte de su alimentación su CLCS máxima permitida está entre 0.597 y 0.174 kg de peso fresco de carne de Guapote Tigre a la semana.

### **11.8 Cálculo del aporte a la dieta alimenticia en miligramos de Cobre, Cromo y Zinc en función de la Cantidad Límite Consumible a la Semana máxima permitida de plomo y mercurio en el músculo del Guapote Tigre sin representar un riesgo para la salud**

Según los resultados de la sección 11.7, el metal que limitaría el consumo de carne de Guapote Tigre es el mercurio; debido a que la CLCS mínimo y máximo del mercurio son menores que la CLCS mínimo y máximo para el plomo.

En base al rango de CLCS máxima de mercurio calculada en la sección 11.7, se presenta un ejemplo de cálculo en el Anexo 14 de la cantidad en miligramos de mercurio y plomo que se estaría consumiendo en nuestra alimentación, los resultados se registran en el Cuadro 11.7.

**Cuadro 11.7. Cantidad mínima y máxima en miligramos diarios que pueden consumirse para no representar un riesgo a la salud de los metales Mercurio y Plomo.**

Metal Pesado	Rango de CLCS máxima permitida	Rango de valores obtenidos ( $\mu\text{g}$ de Hg/g de peso húmedo)	Miligramos diarios de Hg consumidos
Mercurio	0.057-0.102	3.43-6.18	0.038-0.070
Plomo	0.597-0.174	1.49-2.93	0.016-0.033

A pesar que el Cobre, Cromo y Zinc se encuentran dentro de la definición de metales pesados debido a su densidad, los organismos correspondientes no han establecido límites de contenido máximo de estos tres metales en alimentos específicos, como en el caso de este estudios para productos pesqueros o materia prima para alimentación animal.

Sin embargo, a su vez el cromo, cobre y zinc son catalogados nutricionalmente por la **Food Nutricional Board** (FNB) como minerales por lo que son base fundamental para algunos procesos en el organismo humano, a partir de esto, podemos hacer un cálculo del aporte que se recibiría de estos tres minerales. A continuación se presentan las concentraciones en peso fresco que se obtuvieron para las muestras de Guapote Tigre a partir de las cuales se realiza este cálculo.

**Cuadro 11.8. Concentraciones de los Metales Cobre, Cromo y Zinc obtenidos para las muestras de Guapote Tigre.**

Biomonitor	Código Muestra	$\mu\text{g}$ de Cu/g de peso fresco	$\mu\text{g}$ de Cr/g de peso fresco	$\mu\text{g}$ de Zn /g de peso fresco
Músculo de Guapote	GUM1P11	3.85	1.39	8.12
	GUM1P21	4.15	1.84	7.99
	GUM1P22	2.49	0.91	6.75
	GUM1P31	2.61	1.16	7.68
	GUM1P41	3.28	1.28	9.33

Debido a que el mercurio es el metal que limita el consumo de este pescado, al ser sus valores de CLCS máximas permitidas menores que los calculados para el plomo. Se toma como base las cantidades de **0.057 y 0.102 kg de carne de Guapote Tigre por semana**, siendo estas las cantidades límites permitidas de consumo de Guapote Tigre calculada a partir de los valores de CLCS.

En el Cuadro 11.9 se presenta en forma resumida los aportes de los metales Cobre, Cromo y Zinc por parte de la carne de Guapote Tigre, en base a las cantidades de CLCS máximas de Guapote Tigre respecto al mercurio y en el Anexo 15 se presenta un ejemplo de cálculo.

**Cuadro 11.9. Aporte en miligramos de los metales Cobre, Cromo y Zinc en miligramos diarios.**

<b>Metal</b>	<b>Aporte diario en miligramos</b>
Cobre	0.028-0.047
Cromo	0.010-0.042
Zinc	0.076-0.106

Nota: Todos estos valores fueron calculados en base al CLCS mínimo y máximo de Guapote Tigre para el mercurio.

A partir de los datos para el cobre, cromo y zinc, podemos calcular el porcentaje que aporta la carne o músculo de Guapote de los estos tres minerales a la dieta, para esto se comparan en el Cuadro 11.10 con valores establecidos por la Food Nutricional Board para esos minerales.

Como se puede ver en el Cuadro 11.10 los aporte del Guapote Tigre son realmente bajos para el cobre no sobrepasan el 0.014 % para el grupo de población infantil entre los 1 y 3 años; en el caso del cromo el aporte es de 0.382 % para este mismo grupo y el zinc aporta el porcentaje mayor que sería el 3.533 %.

**Cuadro 11.10 Porcentaje de aporte en la dieta de los minerales cobre, cromo y zinc por parte de la carne de Guapote Tigre.**

Población		Minerales <sup>17</sup>			Porcentaje de aporte en la dieta <sup>18</sup>		
Grupo de población	Edad	Cobre (mg/d)	Cromo (mg/d)	Zinc (mg/d)	Cobre (%)	Cromo (%)	Zinc (%)
<b>Niños/as</b>	1-3 años	340*	11*	<b>3</b>	0.008 – 0.014	0.090 – 0.382	2.533 – 3.533
	4-8 años	440*	15*	<b>5</b>	0.006 – 0.011	0.067 – 0.280	1.520 – 2.120
<b>Hombres</b>	9-13 años	<b>700</b>	25*	<b>8</b>	0.004 – 0.007	0.040 – 0.168	0.950 – 1.325
	14-18 años	<b>890</b>	35*	<b>11</b>	0.003 – 0.005	0.040 – 0.028	0.691 – 0.964
	19-30 años	<b>900</b>	35*	<b>11</b>	0.003 – 0.005	0.040 – 0.028	0.691 – 0.964
	31-50 años	<b>900</b>	35*	<b>11</b>	0.003 – 0.005	0.040 – 0.028	0.691 – 0.964
	1-70 años	<b>900</b>	30*	<b>11</b>	0.003 – 0.005	0.033 – 0.140	0.691 – 0.964
	70 años	<b>900</b>	30*	<b>11</b>	0.003 – 0.005	0.033 – 0.140	0.691 – 0.964
<b>Mujeres</b>	9-13 años	<b>700</b>	21*	<b>8</b>	0.004 – 0.007	0.047 – 0.200	0.950 – 1.325
	14-18 años	<b>890</b>	24*	<b>9</b>	0.003 – 0.005	0.042 – 0.175	0.844 – 1.178
	9-30 años	<b>900</b>	25*	<b>8</b>	0.003 – 0.005	0.040 – 0.168	0.950 – 1.325
	1-50 años	<b>900</b>	25*	<b>8</b>	0.003 – 0.005	0.040 – 0.168	0.950 – 1.325
	51-70 años	<b>900</b>	20*	<b>8</b>	0.003 – 0.005	0.050 – 0.210	0.950 – 1.325
	>70 años	<b>900</b>	20*	<b>8</b>	0.003 – 0.005	0.050 – 0.210	0.950 – 1.325

Fuente: Novartis(2005)

## XII. ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO SOSTENIBLE DEL LAGO SUCHITLÁN

1. El jacinto acuático merece ser estudiado más a profundidad, pero con lo que ya se sabe de él se puede poner en práctica muchas iniciativas para ser incluido en circuitos de depuración de aguas residuales y obtención simultánea de alimento para los animales de forma regulada. Cuando el jacinto alcanza el punto de saturación se torna café y se debe retirar del sistema de depuración.

El estudio realizado por Estrada et al. (2003), demuestran que la *Eichhornia crassipes* (jacinto acuático) posee una composición química adecuada para ser usada como alimento animal y que el inconveniente de su alto contenido de agua puede resolverse mediante la deshidratación natural.

<sup>17</sup> Este cuadro presenta la ingesta diaria recomendada (RDA) en **negrita** y la ingesta adecuada (AI) en estilo normal seguido de un asterisco (\*). Las RDA y las AI pueden utilizarse como objetivos para la ingesta individual. Las RDA se establecen para cumplir las necesidades de casi todos (del 97% al 98%) los individuos de un grupo. En otras etapas de la vida y según sexo, las AI se cree que cubren las necesidades de todos los individuos en el grupo, pero la falta de datos o su inexactitud impide poder especificar con confianza el porcentaje de individuos cubiertos por dicha ingesta.

<sup>18</sup> Elaboración a partir de las concentraciones calculadas de Cromo, Cobre y Zinc en el Guapote Tigre.

2. Implementar un proyecto como visión a largo plazo que tenga por objetivo utilizar el jacinto de agua para producir celulasa. Debido a la alta inversión que requiere la implementación de un proyecto de esta magnitud, debe buscarse el financiamiento del proyecto por instituciones interesadas en el desarrollo sostenible de la región.

La celulasa es una enzima que la floreciente industria de la biotecnología utiliza para obtener glucosa a partir de la celulosa y así mejorar la calidad de los productos textiles de algodón y el papel. Todas las plantas contienen cierta medida de celulasa, pero sólo unas pocas, entre ellas el jacinto de agua, tienen la enzima en medida suficiente para su explotación comercial.

La producción mundial actual de celulasa se estima en 500 millones de dólares. Además de las empresas de biotecnología, también la utiliza la industria de alimentos animales para convertir fibras del lodo en azúcares y mejorar la eficiencia del proceso de tratamiento anaeróbico del agua.

Sólo hay que fermentar las hojas y el tallo del jacinto y permitir que la pulpa sea atacada por un hongo llamado *Trichoderma reesei*, que precipita la celulasa. Las raíces de la hierba pueden usarse para generar electricidad mediante la gasificación de la biomasa, y esto puede utilizarse para reducir los costos generales de la producción.

3. Las industrias deben implementar una Estrategia de Prevención:
  - La contaminación, siempre que se pueda, se debe de evitar en la fuente.
  - La contaminación que no pueda evitarse en la fuente, siempre que sea posible, deberá reciclarse en una forma ambientalmente segura.
  - La contaminación que no pueda ser evitada o reciclada se deberá, siempre que sea posible, someter a un tratamiento no peligroso de remediación *in situ* (en la planta).
  - La emisión de tóxicos al ambiente, siempre se deberá tratar de evitar y cuando ésto sea imposible, deberá intentarse que la emisión adquiera la forma menos agresiva posible.
  - La confinación en forma toxicológicamente activa, deberá usarse como último recurso y deberá hacerse en forma tal, que se asegure que no se presentarán liberaciones posteriores que amenacen la salud de la población.

La reducción en la fuente se puede lograr a través de:

- Modificación del equipo de proceso
- Modificación de la tecnología, procesos o procedimientos
- Reformulación y/o rediseño de productos
- Substitución de insumos

Lo anterior, en la práctica, implica que ningún desecho industrial que contenga sustancias tóxicas, debe alcanzar el medio ambiente, sin que antes haya recibido un tratamiento para reciclar o destruir el tóxico, o en última instancia para modificarlo y poder confinarlo en forma conveniente y segura.

4. Se debe conceptualizar la restauración ambiental y la prevención de la contaminación como una estrategia más amplia que englobe a ambos procesos y que tenga como propósito fundamental la reducción de riesgos para la salud de la población. La evaluación de riesgos se usa para decidir la intervención en un sitio contaminado, para establecer las metas de restauración y para diseñar las estrategias de prevención. Lo mismo sucede con las tecnologías para remediar medios ambientales contaminados que también se pueden usar para tratar efluentes con el fin de prevenir la contaminación.
5. Implementar un proyecto, con la intención de utilizar jacinto acuático para descontaminar de metales tóxicos las aguas del embalse. Esto requiere programar la extracción periódica del jacinto para evitar que regresen los metales luego de la muerte de la planta.

La fitoremediación es la tecnología actual que presenta a las plantas como potencial para la limpieza del medio ambiente. Las plantas pueden fijar los tóxicos o bien pueden metabolizarlos tal como lo hacen los microorganismos en los procesos de biorestauración.

La fitoextracción es la captación de iones metálicos por las raíces de la planta y su acumulación en tallos y hojas. Cuando las plantas crecen se recolectan y se incineran. Las cenizas se pueden lavar para recuperar los metales o bien, pueden confinarse en vertederos de tóxicos, con la ventaja de que ocuparán un espacio mucho menor.

6. Organizar proyectos comunales para la construcción y el manejo sostenible de viveros para crianza de peces, utilizando el agua del embalse tratada previamente con filtros verdes con jacinto acuático para la extracción de metales pesados. De esta manera se obtendrá como beneficio la obtención de peces que no tengan riesgos para la salud de la población y brindando empleo a aquellas personas que no poseen lanchas para realizar la pesca.

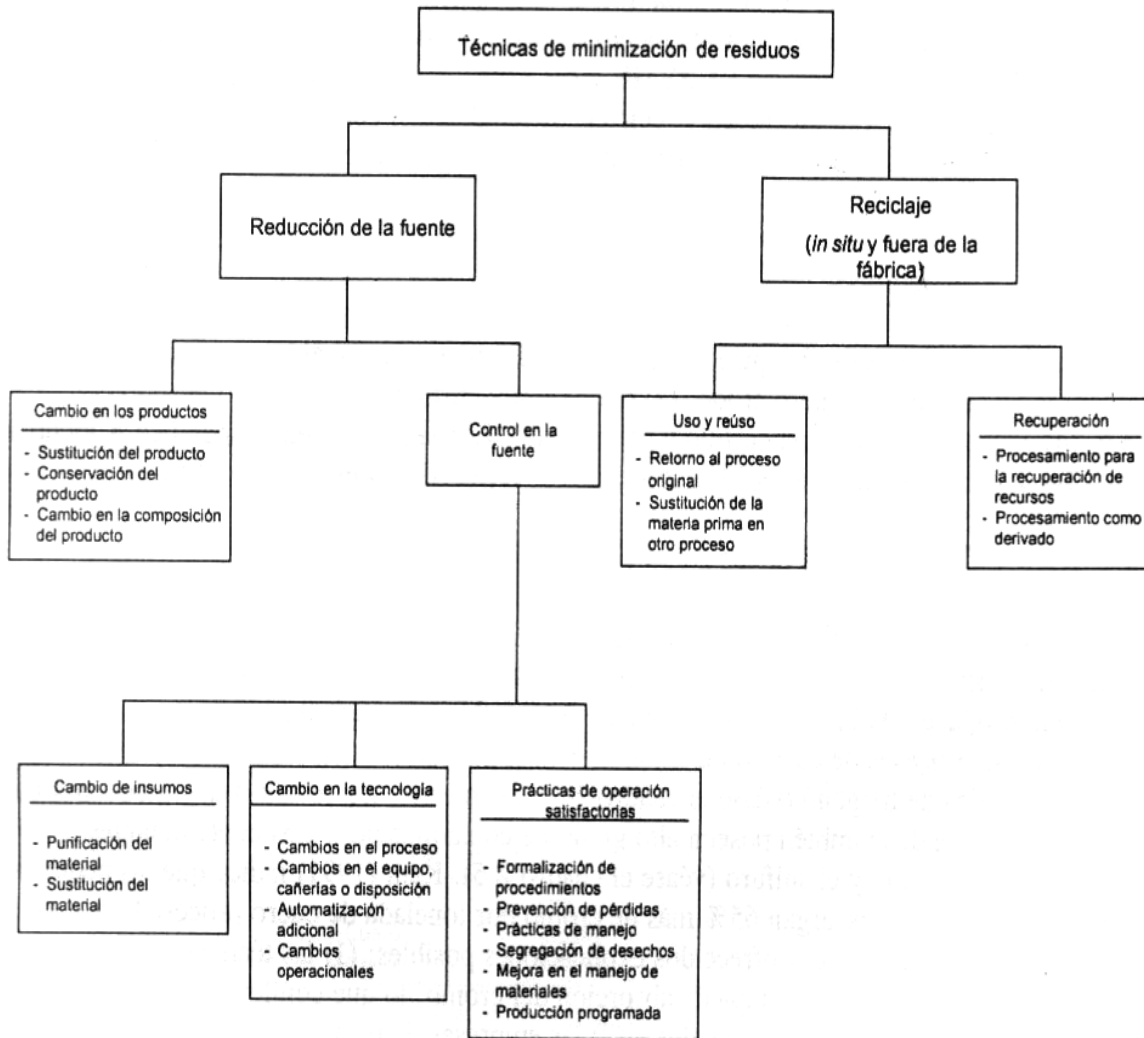
### **XIII. PROPUESTAS PARA EL MANEJO DE LA PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN ALGUNOS TIPOS DE INDUSTRIA QUE EXISTEN EN EL PAÍS.**

La adopción de tecnologías limpias y la ejecución de controles eficaces en las industrias, como prácticas operativas modificadas, buen mantenimiento, mantenimiento preventivo y reciclaje de subproductos, representan opciones racionales para que las empresas reduzcan la contaminación y cumplan con los principios ambientales de manera rentable (Hamza, 1991).

La minimización de residuos y la recuperación de recursos dentro de la industria, son las alternativas menos costosas para resolver muchos problemas asociados con la eliminación de residuos industriales y debe combinarse con el esfuerzo de adoptar tecnologías limpias al momento de evaluar nuevos proyectos. El potencial para la minimización de residuos debe desarrollarse a través de esfuerzos que incluyan incentivos al uso eficiente del agua y energía, reciclaje de agua, el análisis de oportunidades de reciclaje de residuos que vayan más allá de las unidades individuales que generen residuos y la promoción de la modernización de procesos y auditorias ambientales en empresas establecidas. Para asegurar la rentabilidad, el tratamiento del final del proceso industrial sólo debe considerarse una vez que las oportunidades de modificación de procesos, minimización de residuos y recuperación de recursos se hayan examinado a fondo (Banco Mundial, 1994).

Según la definición que actualmente emplea la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, la minimización de residuos consiste en la reducción en la fuente y en el reciclaje. De los dos enfoques se prefiere la reducción en la fuente por sus beneficios ambientales antes que el reciclaje. Tanto la reducción en la fuente como el reciclaje comprenden una serie de prácticas y enfoques que se ilustran en la Figura 13.1.





Fuente: OPS/CEPIS (2000).

**Figura 13.1. Técnicas de minimización de residuos.**

Algunas empresas pueden implementar medidas de minimización y reciclaje de residuos en general. A continuación se presenta una breve reseña de los procesos industriales y opciones de minimización de residuos para las operaciones de curtiembre, teñido de textiles y galvanoplastia, las cuales fueron algunas de las empresas que se identificaron en el mapeo de fuentes contaminante del Capítulo X.

### 13.1 Proceso industrial y opciones de minimización de residuos para la industria de Curtiembres

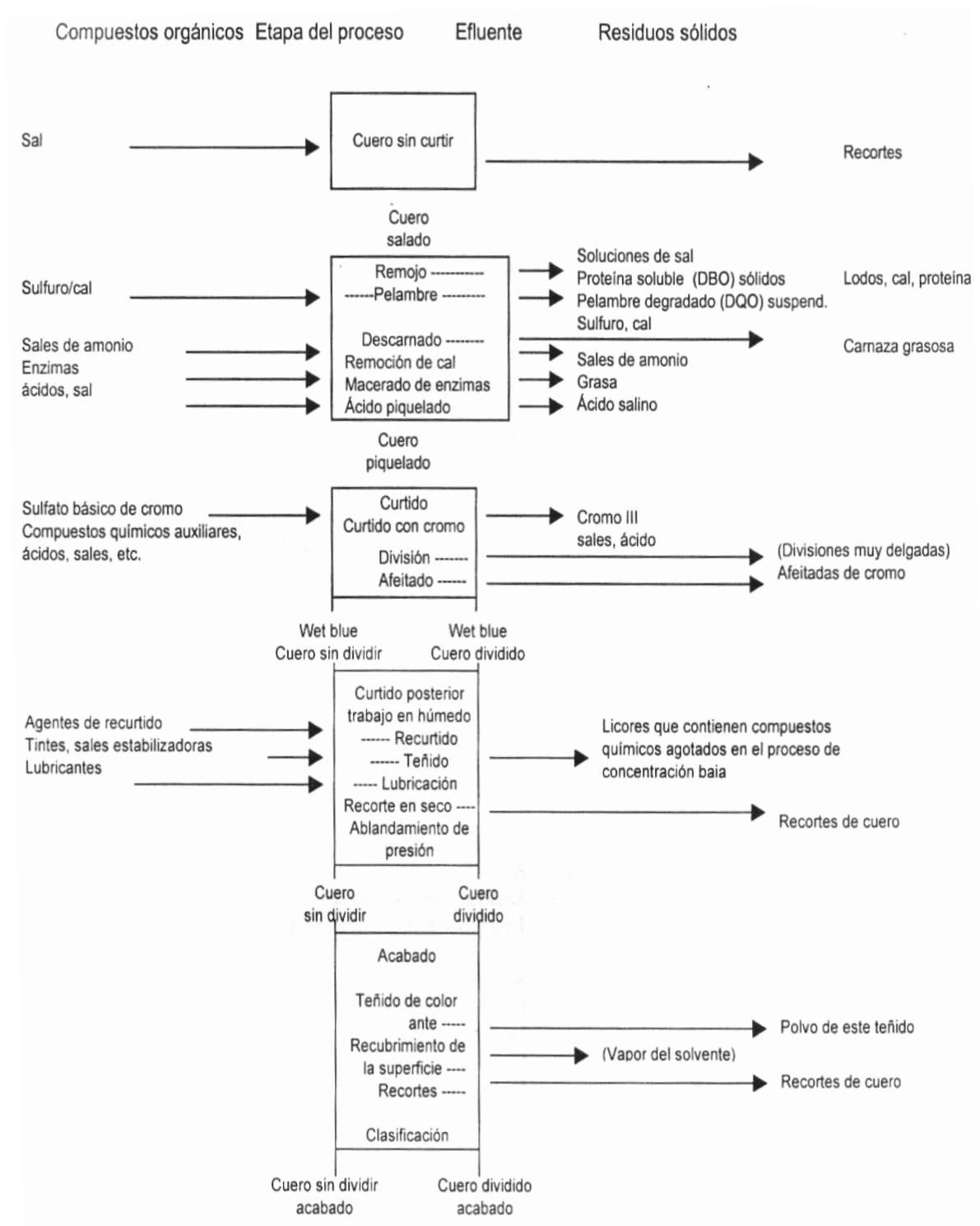
La Figura 13.2 muestra las principales etapas del proceso de curtido que incluye:

1. Pelambre y descarnado del cuero crudo.
2. Divididora y curtido del cuero.
3. Curtido con cromo.
4. Enjuague después del curtido.
5. Acabado.

El Cuadro 13.1 identifica una serie de opciones de minimización de residuos para las diversas etapas del proceso de curtido y acabado del cuero. Para el caso del cromo, el principal contaminante inorgánico tóxico, la opción más factible para las empresas es mejorar la etapa de absorción y emplear insumos menos contaminantes como extractos de Acacia para el teñido del cuero. Los costos de capital para la recuperación y reciclaje del cromo y para alternativas de curtido con cromo, tales como procesos basados en el aluminio/titanio, representan una barrera para la mayoría de las empresas.

**Cuadro 13.1. Opciones de minimización de residuos para la industria de curtiembres.**

Opciones de minimización de residuos.
<ul style="list-style-type: none"><li>• Enfriado del cuero para eliminar la sal en el efluente.</li><li>• Proceso de recuperación de pelambre para reducir la DBO del efluente.</li><li>• Pelambre con enzimas para reducir el uso de sulfuro.</li><li>• Desencalado de CO<sub>2</sub> para reducir el amoníaco en el efluente.</li><li>• Reducción de cromo en el efluente mediante una mejor absorción/agotamiento o recuperación/reciclaje.</li><li>• Curtido alternativo (aluminio/titanio) para eliminar el cromo en el efluente.</li><li>• Recubrimiento con base de agua y libre de solventes para eliminar emisiones de COV.</li></ul>



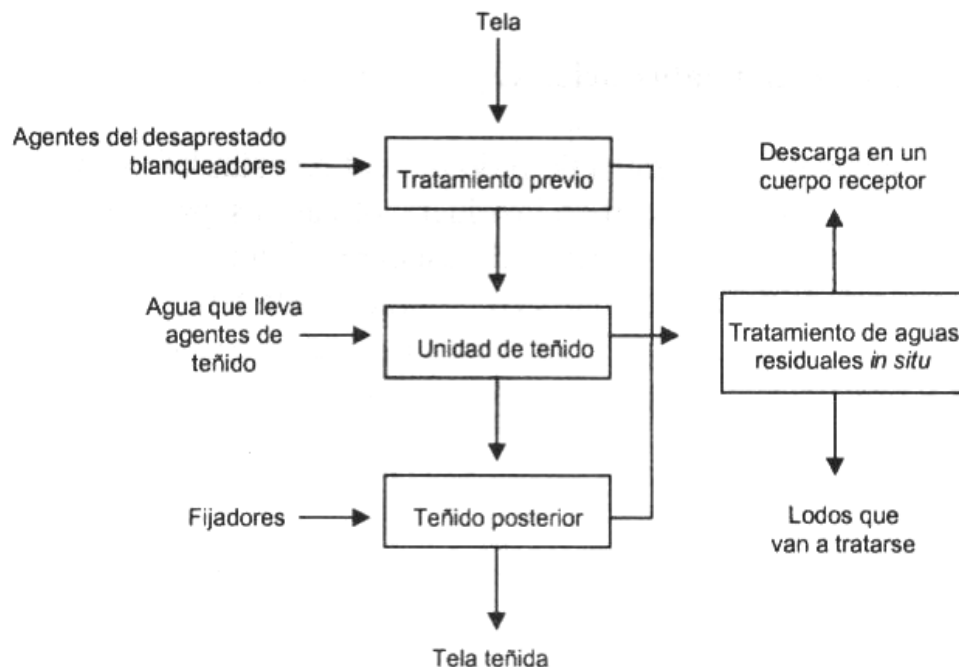
Fuente: OPS/CEPIS (2000).

**Figura 13.2. Proceso típico del curtido y acabado del cuero, los compuestos químicos que se emplean y sus residuos.**

### 13.2 Proceso industrial y opciones de minimización de residuos para la industria de Teñido de textiles (proceso húmedo).

La Figura 13.3 muestra los tres pasos principales del proceso de teñido de textiles:

1. Pretratamiento de detergentes, decolorante y aceites para el desaprestado de las telas.
2. Unidad de teñido.
3. Uso de fijadores (después de la pintura) y enjuague.



Fuente: OPS/CEPIS (2000).

**FIGURA 13.3. Diagrama de flujo del teñido textil.**

El Cuadro 13.2 identifica una serie de opciones de minimización de residuos para el teñido de textiles. La mayoría de opciones incluye la sustitución de colorantes menos tóxicos y otros productos químicos/solvente o la recuperación y reciclaje de detergentes, colorantes y solventes. Por lo general, los costos capitales relativamente altos para la recuperación y reciclaje limitan esta opción para las empresas.

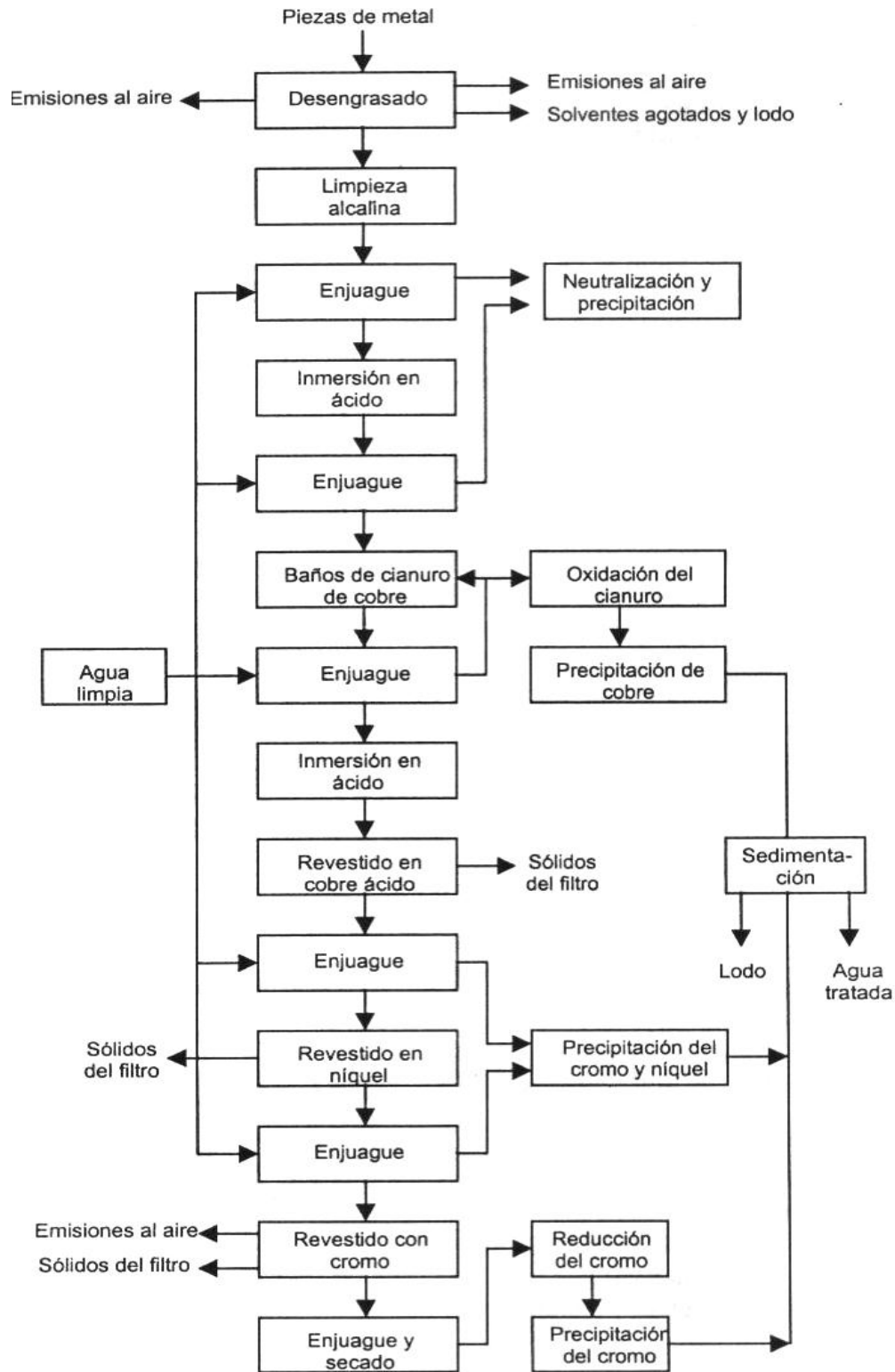
### **Cuadro 13.2. Opciones de minimización de residuos para la industria de Teñido de textiles.**

<b>Opciones de minimización de residuos.</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Sustitución de colorantes con base de carbón y alquitrán por colorantes menos tóxicos.</li><li>• Uso de colorante reactivos de fibra con base de triazina para reducir el uso de colorantes azo con mayor grado de toxicidad y reducir las concentraciones de tinte durante el lavado y enjuague.</li><li>• Sustitución del uso de cromatos para oxidar colorantes por otros productos químicos.</li><li>• Reducción o eliminación de formaldehídos para el teñido y acabado de pliegues permanentes.</li><li>• Recuperación de aguas del proceso de teñido, renovación de productos químicos ya empleados y reutilización.</li><li>• Empleo de la hiperfiltración para recuperar aguas residuales cáusticas provenientes de la abrasión.</li><li>• Recuperación y reciclaje de colorantes.</li><li>• Recuperación y reciclaje de solventes.</li><li>• Sustitución de solventes tóxicos por limpiadores no tóxicos.</li></ul>

### **13.3 Proceso industrial y opciones de minimización de residuos para la industria de Galvanoplastia y fabricación de otros metales.**

La Figura 13.4 muestra el diagrama de flujo para el revestimiento con cromo de piezas decorativas de zinc. Este proceso específico involucra 14 pasos separados que incluyen la limpieza, proceso de baños y enjuagues desde el desengrase inicial de partes metálicas hasta el enjuague y secado final de la parte recubierta con cromo.

Cada empresa es única por lo que es necesario desarrollar un diagrama de flujo para cada operación particular que especifique el uso y flujo de materiales y productos químicos y las fuentes de residuos que resultan de cada unidad.



Fuente: OPS/CEPIS (2000).

Figura 13.4. Diagrama de flujo del revestimiento con cromo de piezas decorativas de zinc.

El Cuadro 13.3 identifica varias opciones de minimización de residuos en la galvanoplastia. La mayoría de las opciones controlan los baños para extender la vida de las sustancias químicas, reducen el dragado para disminuir la contaminación de las aguas de enjuague y mejoran el diseño de las aguas de enjuague. Muchas de estas opciones pueden realizarse a un costo relativamente bajo. Otras opciones, como la sustitución de procesos de revestimiento de metal que no utilizan agua y la recuperación de metales generalmente requieren una inversión significativa de capital.

**Cuadro 13.3. Opciones de minimización de residuos para la industria de Galvanoplastia.**

<b>Opciones de minimización de residuos.</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de revestimiento con metal no acuoso (revestimiento de acero inoxidable, revestimiento de difusión, inmersión caliente, cementación).</li> <li>• Uso de sustancias químicas menos tóxicas en los procesos (existen soluciones de baños que no contienen cianuro para la galvanoplastia del cobre y estaño).</li> <li>• Controles del baño para extender el tiempo de vida de las sustancias químicas en el proceso (filtros del baño, empleo de agua desionizada, mantenimiento de la limpieza, materias primas de buena calidad en ánodos).</li> <li>• Reducción de sedimentos para disminuir la contaminación de las aguas de enjuague; concentración de los sedimentos por evaporación u osmosis inversa afin de utilizarlos en los baños de revestimiento.</li> <li>• Mejorar el sistema de enjuague para reducir los tiempos o extender el tiempo de vida de los enjuagues (Diseño de tanques de enjuague, tanques de enjuague múltiples, medición de la conductividad para controlar el flujo del enjuague, enjuague reactivo, boquillas de vapor y rociadores, controles de flujo automático, agitación del baño de enjuague, empleo de revestimiento sin enjuague).</li> <li>• Reutilización de aguas de enjuague contaminadas (enjuague secundario como enjuague primario o tiempos de enjuague, enjuague en contra corriente, enjuagues inmiscibles, tratamientos de agua de enjuagues para reutilización)</li> <li>• Recuperación de metales</li> </ul>

#### XIV. CONCLUSIONES

- ⊕ La técnica de Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total, es una técnica apropiada para analizar y cuantificar la presencia de metales pesados que fueron acumulados por biomonitores, al comprobarse la congruencia de los resultados internamente con el material de referencia STDA5 elaborado por el Atom Institute con porcentajes de error entre 3.86 y 35.76%, el último porcentaje correspondiendo a un elemento no cuantificado. Además verificando los resultados con la técnica de Absorción Atómica encontrándose concentraciones similares tanto para el Guapote Tigre como para el Jacinto Acuático para los metales Cromo y Plomo, excepto para el punto 3 de jacinto acuático.
- ⊕ El análisis de metales pesados en biomonitores utilizando la Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total, presenta la ventaja que los análisis son multielementales, a nivel de trazas y más económicos que otras técnicas utilizadas en el país, con la misma precisión de resultados.
- ⊕ De la biodiversidad del ambiente acuático del Lago Suchitlán, el Jacinto Acuático (raíz) y el Guapote Tigre (músculo) son las especies más adecuadas para ser utilizadas como biomonitores de la contaminación por metales pesados que afecta la biota del embalse.
- ⊕ Para el muestreo realizado en el mes de abril del año 2006 (época seca) en el Lago Suchitlán, la carne de Guapote Tigre presentó una concentración promedio para el área estudiada de 4.25 (mg de Mercurio/kg de peso fresco) y 2.29 (mg de Plomo/kg de peso fresco), sobrepasando los valores límites de estos metales en carne de pescado establecidos por el Reglamento de la Comisión de las Comunidades Europeas N° 466/2001, adoptado por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 67.32.01:03.
- ⊕ La población directamente más afectada ante el incumplimiento de las normas, son las familias cuya fuente económica es la pesca en el Lago Suchitlán y que su misma situación económica les obliga a tener una dieta más alta de productos de la pesca.



- ⊕ El consumo de jacinto acuático por el ganado debe ser regulado debido a que los niveles de mercurio sobrepasan el límite permisible de materia prima para alimentación animal.
- ⊕ El análisis de los resultados no estará completo hasta que no se establezcan normativas para las condiciones propias del país que tengan como base el consumo actual de los productos pesqueros el nivel de contaminación de nuestra fauna acuática.
- ⊕ La mayor actividad industrial se presenta en la zona metropolitana de San Salvador, convirtiendo al Río Acelhuate en la mayor fuente de contaminación por metales pesados como afluente principal del embalse Cerrón Grande.
- ⊕ No es viable económicamente realizar tratamientos de agua directamente en el Lago Suchitlán como cuerpo receptor, por lo que debe buscarse disminuir la contaminación de sus afluentes, mejorando la operación de las industrias enfocando la producción al ambiente.
- ⊕ Por su capacidad de absorción de metales el uso de Jacinto Acuático sería factible en el tratamiento de agua de uso local mediante filtros verdes con plantas flotantes.
- ⊕ Esta investigación sienta las bases para la realización de otros estudios que incluyen a los metales pesados y que competen a otras disciplinas como Medicina, Agronomía y Biología, enmarcadas en el mismo ámbito del Lago Suchitlán y donde también es factible el uso de la técnica de Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total.

## XV. RECOMENDACIONES

- ✦ En estudios que utilicen la técnica de TXRF se sugiere:
  - Para la cuantificación deben utilizarse estándares que sean de naturaleza similar a la muestra analizada para reducir el efecto matriz.
  - Utilizar discos reflectores perfectamente pulidos para no reducir la reflexión total.
  - Procurar el uso de una solución siliconada como sustrato para la muestra para minimizar incrustaciones y mejorar la distribución de la muestra.
  - Evitar el uso de ácido fluorhídrico en la preparación de las muestras para reducir la surfactación de los discos de cuarzo.
  
- ✦ Profundizar en estudios que tengan como objetivo establecer los contenidos máximos permisibles para Cromo, Cobre, Zinc, Plomo y Mercurio en los productos pesqueros del Lago.
  
- ✦ Planificar monitoreos para controlar los niveles de metales pesados en los productos alimenticios provenientes del ganado que utiliza los recursos del Lago para su alimentación.
  
- ✦ Planificar monitoreos para controlar los niveles de metales pesados en los productos agrícolas en los que el agua del Lago es utilizada para regadío.
  
- ✦ Monitorear en el tiempo la contaminación por metales pesados durante todo el año usando el músculo de Guapote Tigre y la raíz de Jacinto Acuático para evaluar el comportamiento de este tipo de contaminación en la época seca y lluviosa.
  
- ✦ Utilizar la técnica de TXRF para establecer niveles de metales pesados directamente en el ser humano, mediante análisis de saliva, orina, sangre y cabello.
  
- ✦ Brindar especial atención a realizar estudios que establezcan la incidencia de los metales pesados en aquellas poblaciones cuya situación económica les obliga a tener una dieta más alta de productos pesqueros que la población en general al ser la pesca su fuente económica.

- ⊕ La causa de la mayor concentración de Plomo, Mercurio y Zinc que fue encontrada en el punto 3 para jacinto acuático, se debió a que su raíz se encontraba en contacto con los sedimentos del embalse, por lo que se deben realizar estudios que tengan como objetivo analizar los sedimentos del Lago Suchitlán y los caracoles que se extraen del embalse al estar en contacto directo con los sedimentos y que son consumidos por los pobladores de la región y en otros sectores donde se comercializan.
  
- ⊕ Establecer estudios detallados para evaluar las operaciones mineras y prácticas odontológicas, al ser las principales fuentes de contaminación por Mercurio que afectan el Lago Suchitlán. Además se deben evaluar las operaciones de fabricación de baterías como principal fuente de contaminación por Plomo del embalse, a través de sus afluentes.
  
- ⊕ Implementar algunas de las Alternativas para el Manejo Sostenible del Lago Suchitlán que involucre a los pobladores de la región, mediante el establecimiento de contactos con ONG's u otras instituciones interesadas en el desarrollo local mediante la utilización de los recursos del embalse.

## XVI. BIBLIOGRAFÍA

1. Acosta, N. E., Figueroa, H. E., Molina, W. R. (2000). *Evaluación de alternativas para el tratamiento de vertidos líquidos que contienen metales pesados*. Trabajo de graduación para optar al título de Ingeniero Químico, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”, San Salvador, El Salvador.
2. Andreu Moliner, E. y Camacho González, A. (2002). *Recomendaciones para la toma de muestras de agua, biota y sedimentos en humedales Ramsar*. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, España. 226 pp.
3. ATSDR (1999). *Resumen de Salud Pública: Mercurio*. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de Salud Pública. Extraído el 10 de agosto de 2006 de la página Web: [www.atsdr.cdc.gov/es](http://www.atsdr.cdc.gov/es)
4. ATSDR (2000). *Resumen de Salud Pública: Cromo*. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de Salud Pública. Extraído el 10 de agosto de 2006 de la página Web: [www.atsdr.cdc.gov/es](http://www.atsdr.cdc.gov/es)
5. ATSDR (2004). *Resumen de Salud Pública: Cobre*. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de Salud Pública. Extraído el 10 de agosto de 2006 de la página Web: [www.atsdr.cdc.gov/es](http://www.atsdr.cdc.gov/es)
6. ATSDR (2005a). *Resumen de Salud Pública: Zinc*. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de Salud Pública. Extraído el 10 de agosto de 2006 de la página Web: [www.atsdr.cdc.gov/es](http://www.atsdr.cdc.gov/es)

7. ATSDR (2005b). *Resumen de Salud Pública: Plomo*. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de Salud Pública. Extraído el 10 de agosto de 2006 de la página Web: [www.atsdr.cdc.gov/es](http://www.atsdr.cdc.gov/es)
8. Banco Mundial (1994). *Staff appraisal report: India, Industrial Pollution Prevention Project*. Industry and Finance Division. Country Operations, Banco Mundial. Washington DC.
9. Barraza, J.E., Carballeira, A. (1998). *Una nota corta sobre los metales pesados de la bahía de La Unión, Golfo de Fonseca, El Salvador*. Publicación Ocasional N° 1. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador.
10. Batstone, R.; Smith, J. E. Jr.; Wilson, D. (1989). *The safe disposal of hazardous wastes: the special needs and problems of developing countries*. World Bank Technical Paper N°93. World Bank, Washington, DC.
11. Bernasconi, G., Van Espen, P. (1995). *Comprehensive X-Ray fundamental parameter library implemented as a set of C routines*. International Atomic Energy Association (IAEA).
12. Carballeira, A. (2000). *Biomonitorización de la calidad ambiental de Galicia*. En J. Casares (Ed.). *Reflexiones sobre el medio ambiente en Galicia* (pp. 13-47). Galicia: Consellería de Medio Ambiente.
13. CEL (2005a). *Reseña Histórica*. Comisión Hidroeléctrica del Río Lempa. Extraído el 23 de noviembre 2005 de [http://www.cel.gob.sv/insti\\_historia.htm](http://www.cel.gob.sv/insti_historia.htm)
14. CEL (2005b). *Aprovechamiento del Río Lempa*. Comisión Hidroeléctrica del Río Lempa. Extraído el 23 de noviembre 2005 de [http://www.cel.gob.sv/centrales\\_aprovechamiento.htm](http://www.cel.gob.sv/centrales_aprovechamiento.htm)
15. CEL/HARZA (1999). *Estudio global de la sedimentación en la cuenca del río Lempa*. Informe Final. El Salvador.

16. Chávez, A. V., Rivas, J. A., Solís, R. V. (1998). *Niveles de desarrollo turístico en su relación con el patrimonio natural y cultural en las áreas poblacionales del Lago Suchitlán*. Trabajo de graduación para optar al título de Arquitecto, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Politécnica de El Salvador, San Salvador, El Salvador.
17. CNR (1995). *Monografías del departamento y municipios de Chalatenango*. Centro Nacional de Registro. San Salvador, El Salvador.
18. CNR (1997). *Monografías del departamento y municipios de Chalatenango*. Centro Nacional de Registro. San Salvador, El Salvador.
19. CNR (1998). *Monografías del departamento y municipios de Chalatenango*. Centro Nacional de Registro. San Salvador, El Salvador.
20. CONSLEG (2002). Texto consolidado CONSLEG: 1999L0029-10/01/2002. Oficina de Publicaciones de las Comunidades Europeas.
21. CONSLEG (2004). Texto consolidado CONSLEG: 2001R0466-05/05/2004. Oficina de Publicaciones de las Comunidades Europeas.
22. Consumer EROSKI (2001, marzo). Metales pesados: toda una amenaza. Extraído el 26 de noviembre 2005 de <http://revista.consumer.es/web/es/20010301/medioambiente>
23. Consumer EROSKI (2006, marzo). *La presencia de bromados en los alimentos*. Extraído el 26 de abril de 2005 de la página Web <http://revista.consumer.es>
24. Cuéllar, N. (2001). *Los desafíos del agua y la reforma del sector hídrico en El Salvador: La respuesta institucional*. PRISMA No 45. San Salvador, El Salvador.
25. Eco sitio (2005). Metales pesados. Extraído el 26 de noviembre 2005 de <http://www.eco-sitio.com.ar>

26. Estrada, C. O., Gonzalez, S. R. (2003). Deshidratación y composición química del Jacinto de agua en la provincia Granma. Facultad de Medicina Veterinaria. Universidad de Granma. Cuba.
27. FAO/OMS (2001). *Evaluación de ciertos aditivos alimentarios y contaminantes de los alimentos*. Informe 53 sobre reuniones de comités de expertos y grupos de estudios. Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios. Roma.
28. FUNDALEMPA/MARN/ASECHA (2001). *Propuesta de manejo integrado de los recursos naturales asociados al humedal del Cerrón Grande*. San Salvador, El Salvador.
29. FUSADES (2000). *Evaluación de la contaminación del río Lempa y sus afluentes*. Fundación Salvadoreña para el Desarrollo Económico y Social, El Salvador.
30. Guevara, F. E. (1983). Estudio limnológico preliminar del humedal artificial "Cerrón Grande". Trabajo de graduación para optar al título de Licenciado en Biología. Facultad de Ciencias y Humanidades, Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.
31. Hamza, A. (1991). Impacts of industrial and small-scale manufacturing wastes on urban environment in developing countries. Urban Management Programme, HABITAT. Nairobi.
32. Klockenkämper, R. (Sin Fecha). Total reflection X-ray fluorescence spectrometry: principles and applications. Spectrometry International.
33. MAG (2002). *El estudio sobre el desarrollo de la pesca artesanal en El Salvador*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. El Salvador.
34. MIFIC (2005). Embalses de El Salvador. *Embalses de Centroamérica*. Ministerio de Fomento Industria y Comercio. Extraído el 23 de noviembre 2005 de [www.mific.gob.ni/DocuShare/dscgi/ds.py/Get/File-5406/Embalses,\\_El\\_Salvador.pdf](http://www.mific.gob.ni/DocuShare/dscgi/ds.py/Get/File-5406/Embalses,_El_Salvador.pdf)

35. MINEC (2006). *Licencias de exploración de minas vigente a marzo del 2004*. Dirección de Hidrocarburos y Minas, extraído el 15 de julio de 2006 de [www.minec.gob.sv](http://www.minec.gob.sv)
36. Monjarás, I. Y., Sánchez, M., Tinetti, E. (2001). *Inventario de fuentes fijas de contaminación industrial en El Salvador*. Trabajo de graduación para optar al título de Ingeniero Químico, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”, San Salvador, El Salvador.
37. Nascimento, V. F. (1999). *Técnicas analíticas nucleares de fluorescencia de rayos x por dispersión de energía (EDXRF) y por reflexión total (TXRF)*. Departamento de Ciencias Exactas, Laboratorio de Instrumentación Nuclear (CENA). Brasil.
38. Navarrete, M. (2003). *Índices e indicadores biológicos*. Universidad de El Salvador, Escuela de Biología. San Salvador, El Salvador.
39. Novartis Medical Nutrition (2005). *Recopilación de las normativas y recomendaciones nutricionales (RDI)*. Novartis Consumer Health. España.
40. OPS/CEPIS (2000). *Prevención de la contaminación en la pequeña y mediana industria*. Volumen I: Guía de criterios y conceptos básicos. Lima, Perú.
41. PROARCA/CAPAS (2000). *Determinación de metodología óptima para la biomonitorización de metales pesados en sedimentos y biota del río Lempa*. El Salvador.
42. Rojas, R. (2002). *Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano*. OPS/CEPIS: Lima, Perú.
43. RPI (1995). *Diagnóstico Ambiental en el Medio Costero Marino de la Zona de Acajutla*. Research Planning Inc. San Salvador, El Salvador.



44. SIA MARN (2005). *Mapa de Ríos de El Salvador*. Sistema de Información Ambiental del Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Extraído el 26 de noviembre 2005 de <http://sia.marn.gob.sv/website/rios/viewer.htm>
45. SNET (2000). *Propuesta de descontaminación del canal principal de los ríos Acelhuate, Sucio y Suquiapa*. Servicio Hidrológico Nacional, El Salvador.
46. Vargas, L. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano: Plantas de filtración rápida*. OPS/CEPIS. Lima, Perú.

# **ANEXOS**

## Anexo 1: Glosario de términos y siglas.

### ■ Términos

- ⊕ **Aguas grises:** Aguas domésticas residuales compuestas por agua de lavar procedente de la cocina, cuarto de baño, aguas de los fregaderos, y lavaderos.
- ⊕ **Aguas negras:** Aguas que contiene los residuos de seres humanos, de animales o de alimentos.
- ⊕ **Aguas residuales:** Fluidos residuales en un sistema de alcantarillado. El gasto o agua usada por una casa, una comunidad, una granja, o industria que contiene materia orgánica disuelta o suspendida.
- ⊕ **Alevín:** Pez menudo que se echa para poblar los ríos y estanques.
- ⊕ **Bioacumulación:** El aumento en la concentración de una sustancia en organismos vivos, debido al contacto de éste con aire, agua, o alimento contaminado, debido a la lenta metabolización y excreción.
- ⊕ **Biomonitores:** Los biomonitores pueden ser de dos tipos: acumuladores o directos y sensitivos o indirectos. En los primeros se explota su capacidad de acumulación corporal de compuestos químicos y en los segundos su sensibilidad diferencial frente a los contaminantes cuantificables ópticamente (abundancia relativa, cambios morfológicos, alteraciones etológicas...) o a través de sus respuestas fisiológico –bioquímicas (tasa fotosintética, actividad enzimática,...).
- ⊕ **Biomonitorización:** El uso de los organismos vivos para probar la conveniencia de descargar efluentes en aguas limpias y de probar la calidad de tales aguas río abajo de la descarga.
- ⊕ **Biota:** Todos los organismos vivos en una región o un ecosistema.

- ⊕ **Biotopo:** Espacio geográfico en el que vive un grupo de seres sometidos a condiciones relativamente constantes o cíclicas.
- ⊕ **DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno):** La cantidad de oxígeno (medido en mg/l) que es requerido para la descomposición de la materia orgánica por los organismos unicelulares, bajo condiciones de prueba. Se utiliza para medir la cantidad de contaminación orgánica en aguas residuales.
- ⊕ **DBO<sub>5</sub>:** Prueba de laboratorio donde la muestra se deja durante 5 días con los reactivos necesarios para la medición de la DBO.
- ⊕ **DQO (Demanda Química de Oxígeno):** Cantidad de oxígeno (medido en mg/L) que es consumido en la oxidación de materia orgánica y materia inorgánica oxidable, bajo condiciones de prueba. Es usado para medir la cantidad total de contaminantes orgánicos presentes en aguas residuales. En contraposición al DBO, con el DQO prácticamente todos los compuestos son oxidados.
- ⊕ **Etología:** Estudio del comportamiento del hombre y de los animales en su medio ambiente.
- ⊕ **Humedal:** Extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros.
- ⊕ **Indicador:** Cualquier entidad biológica o proceso, o comunidad cuyas características muestren la presencia de las condiciones ambientales específicas o contaminación.
- ⊕ **Metal pesado:** Metal que tiene una densidad de 5.0 o mayor y elevado peso elemental. La mayoría son tóxicos para el ser humano, incluso a bajas concentraciones.

- ⊕ **Minería metálica activa:** Aquellas minas metálicas que actualmente se encuentran en operación.
- ⊕ **Minería metálica en exploración:** Aquellas minas metálicas que actualmente se encuentran en exploración.
- ⊕ **Oxígeno disuelto:** La cantidad de oxígeno disuelto en agua para un cierto tiempo, expresado en ppm o mg/L.
- ⊕ **Partes por millón:** Expresado como ppm; medida de la concentración. Un ppm es una unidad de peso de soluto por peso de solución. En análisis de agua un ppm es equivalente a mg/l.
- ⊕ **Sólidos Totales Disueltos (STD):** El peso por unidad de volumen de agua de sólidos suspendidos en un medio de filtro después de la filtración o evaporación.
- ⊕ **Surfactación:** Desgaste químico de una superficie.
- ⊕ **Trófico (nivel):** Se refiere a los organismos de una comunidad biótica cuando estos obtienen su alimento del mismo número de escalones de la cadena alimentaria.

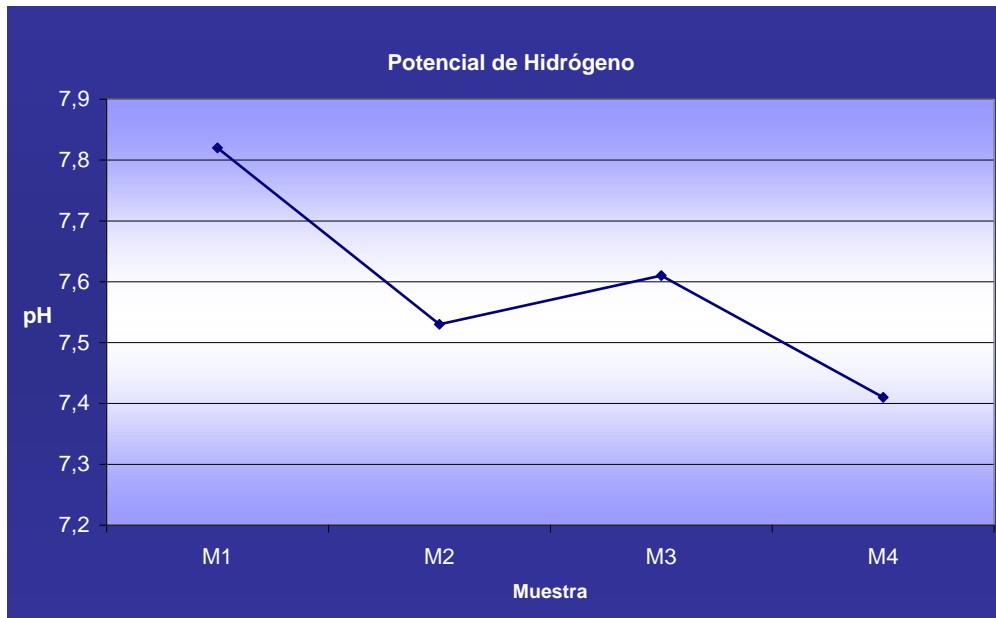
## ■ Siglas

- ⊕ **ASECHA:** Asociación Ecológica de Chalatenango.
- ⊕ **ATSDR:** Siglas en Inglés de Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades.
- ⊕ **CAPAS:** Siglas en Inglés de Sistema Centroamericano de Áreas Protegidas.
- ⊕ **CEL:** Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa.

- ⊕ **CENDEPESCA:** Centro de Desarrollo Pesquero.
- ⊕ **CNR:** Centro Nacional de Registro.
- ⊕ **CONACYT:** Centro Nacional de Ciencia y Tecnología.
- ⊕ **DHHS:** Siglas en Inglés del Departamento de Salud y Servicios Humanos.
- ⊕ **EPA:** US Environmental Protection Agency.
- ⊕ **FDA:** Food and Drug Administration.
- ⊕ **FUNDALEMPA:** Fundación Río Lempa.
- ⊕ **FUSADES:** Fundación Salvadoreña para el Desarrollo Económico y Social.
- ⊕ **HDL:** Siglas en Inglés del Tipo de Colesterol Beneficioso.
- ⊕ **IARC:** Siglas en Inglés de la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer.
- ⊕ **MARN:** Ministerio de Medioambiente y Recursos Naturales.
- ⊕ **MIFIC:** Ministerio de Fomento Industria y Comercio (MIFIC).
- ⊕ **PROARCA:** Programa Ambiental Regional para Centroamérica.
- ⊕ **RDA:** Siglas en Inglés de Ingesta Diaria Recomendada.
- ⊕ **RPI:** Siglas en Inglés del Instituto Politécnico Rensselaer.
- ⊕ **TXRF:** Siglas en Inglés de Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total.
- ⊕ **WDXRF:** Siglas en Inglés de Fluorescencia de Rayos X por Dispersión de Onda.
- ⊕ **XRF:** Siglas en Inglés de Fluorescencia de Rayos X.

## Anexo 2: Gráficas de propiedades fisicoquímicas y microbiológicas.

### ■ Potencial de Hidrógeno (pH)



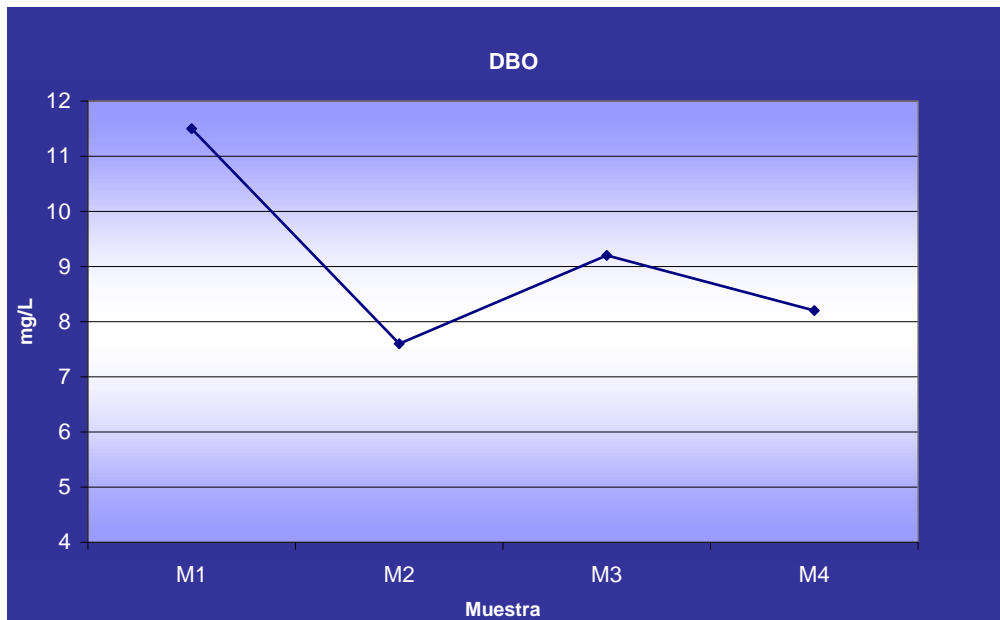
### ■ Sólidos Totales Disueltos (STD)



## ■ Conductividad



## ■ Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

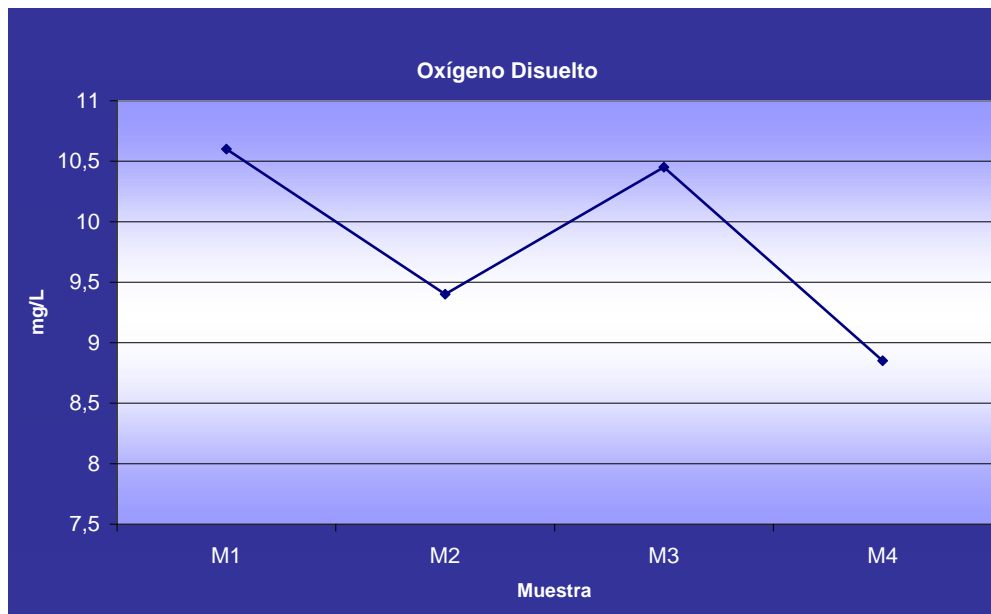




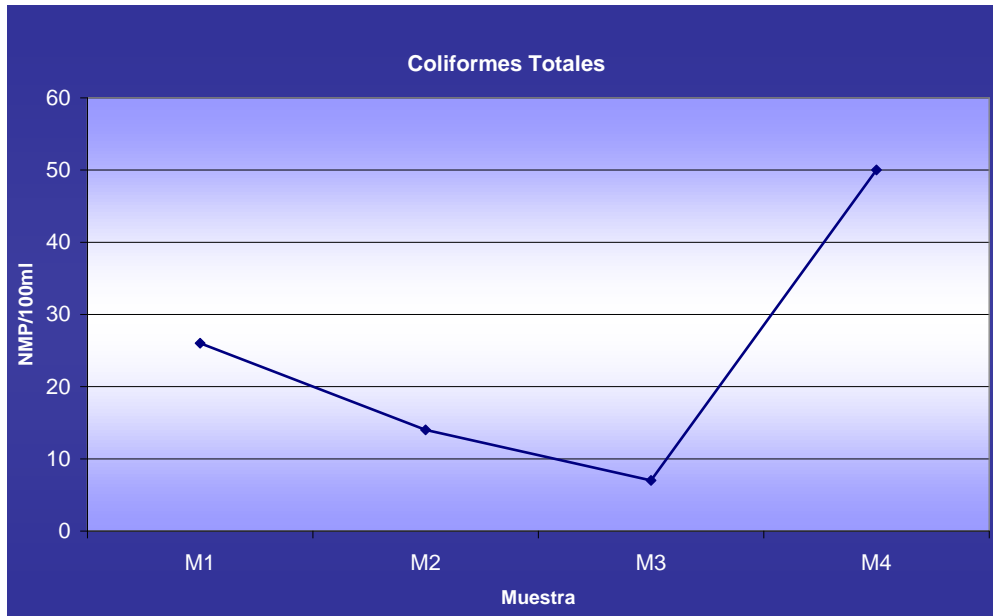
■ Demanda Química de Oxígeno (DQO)



■ Oxígeno Disuelto (OD)

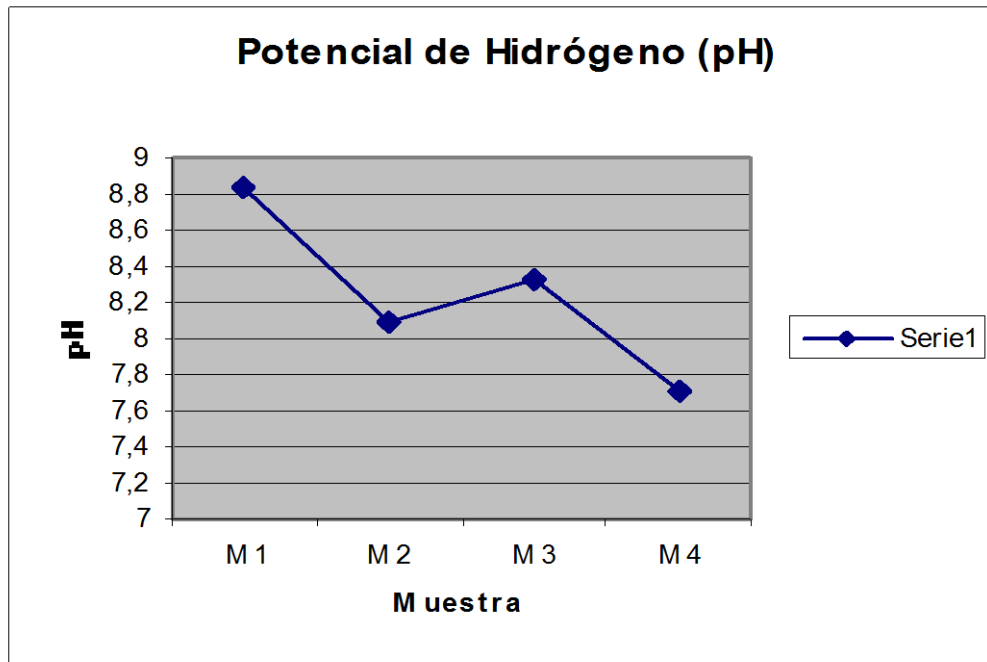


■ Coliformes Totales

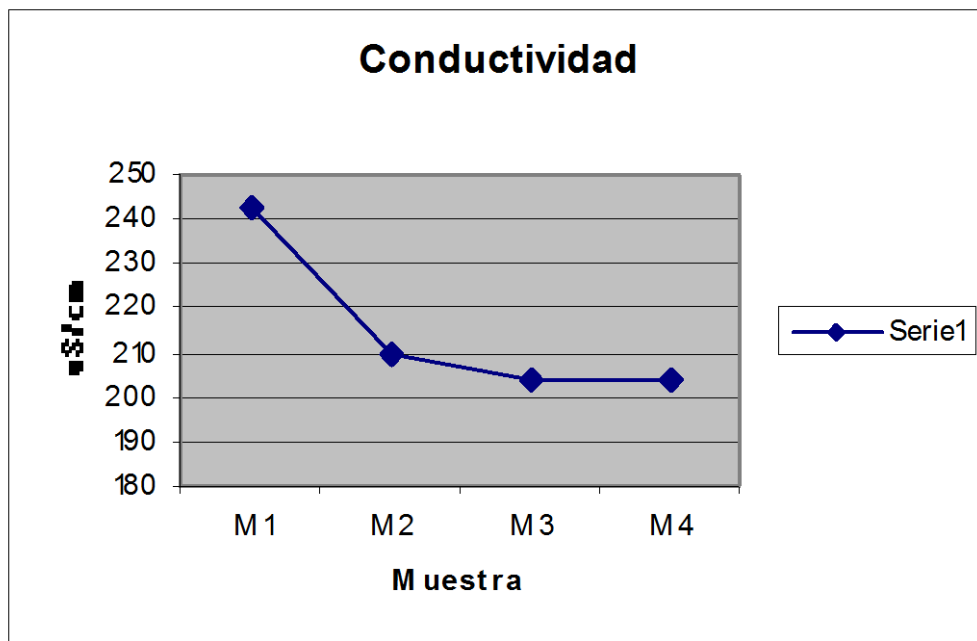


### Anexo 3: Gráficas para propiedades fisicoquímicas y microbiológicas por CEL.

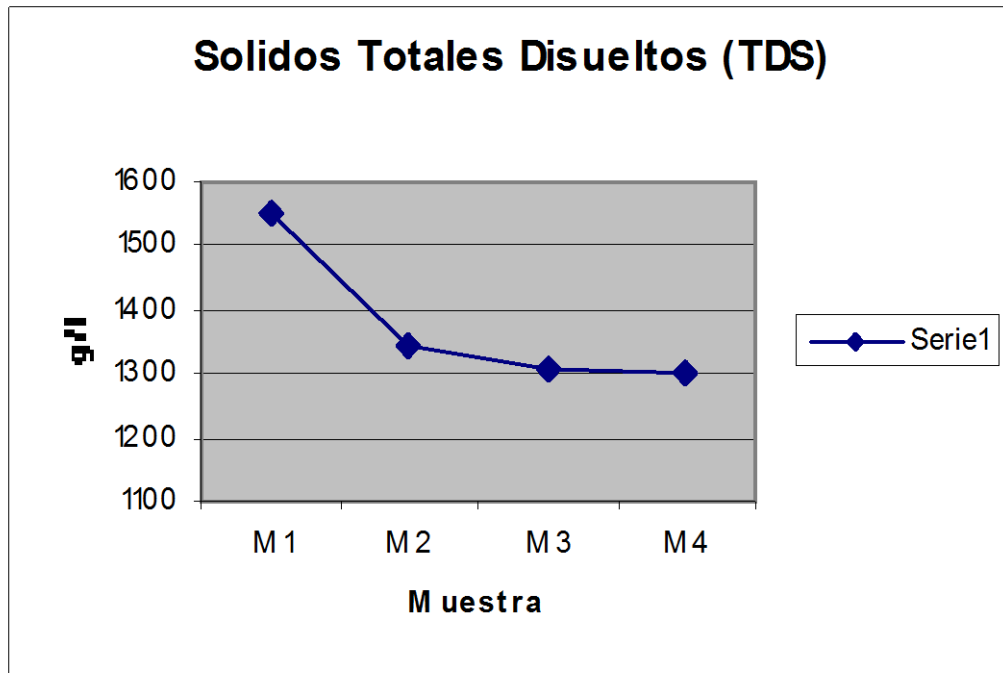
#### ■ Potencial de Hidrógeno (pH)



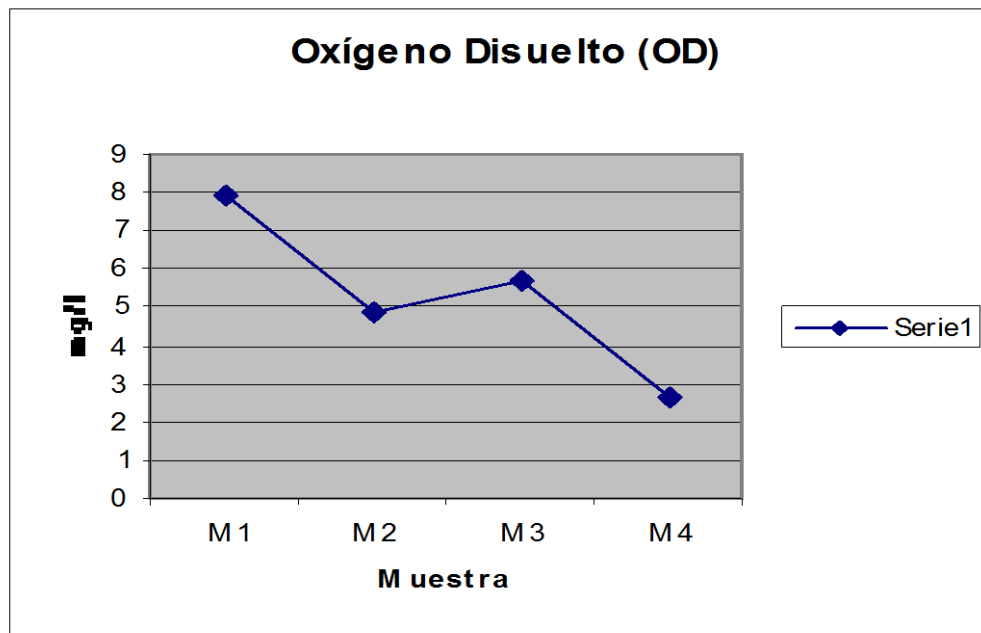
#### ■ Conductividad



■ Sólidos Totales Disueltos (STD)



■ Oxígeno Disuelto (OD)



## Anexo 4: Procedimiento para el transporte y almacenamiento del biomonitor

### ■ Raíz de jacinto

1. Con una tijera de podar exclusiva para esta etapa, se corta parte de la raíz del jacinto seleccionado en el punto de muestreo. Se registra el tamaño del jacinto medido de base del tallo a punta de la hoja.



2. Se guarda en una bolsa para muestra de polietileno estéril previamente marcada con toda la información necesaria como: nombre de la muestra, coordenadas, número del punto de muestreo, fecha, etc.

3. Se guarda en una hielera con suficiente hielo para alcanzar una temperatura de menos de 4°C para conservar las muestras durante su transporte, hasta su almacenamiento.



4. Antes de su almacenamiento la raíz de Jacinto se lava con agua destilada, para quitar todo rastro de suciedad.

5. Se retira la humedad excesiva poniéndolo a secar antes del almacenamiento.



6. Finalmente se coloca de nuevo en cada una de las bolsas para muestras previamente lavadas con agua destilada, y se almacenan en congelación.

## ■ Guapote

1. El espécimen se guarda en una bolsa de polietileno nueva, ya rotulada con todos los datos necesarios como: nombre de la muestra, coordenadas, número del punto de muestreo, fecha, etc.



2. Se guarda en una hielera con suficiente hielo para alcanzar una temperatura de menos de 4°C para conservar las muestras durante su transporte, hasta su almacenamiento.

3. Previo a su almacenamiento, se registran las dimensiones del pescado y su peso como datos característicos de la muestra.



4. El pescado se secciona en cada una de sus partes, como hígado, branquias y músculo.

5. Se introduce cada una de las partes en diferentes bolsas de polietileno y se congelan para su almacenamiento.



## Anexo 5: Procedimiento para el secado de las muestras previo a la digestión.

### ■ Guapote

1. Se corta una sección de muestra a secar con un peso aproximado a 5 g y se pica finamente para un secado más rápido.



2. La caja petri donde se pondrá la muestra es pesada y se tara.

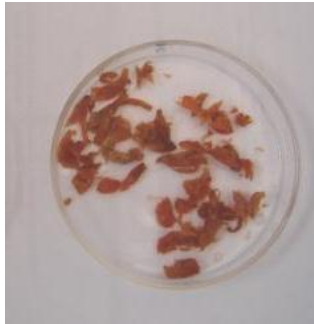
3. Se coloca la muestra sobre la caja petri y se pesa, tomando este valor como peso inicial.



4. La muestra se coloca en el horno precalentado a una temperatura inferior a los 60°C.



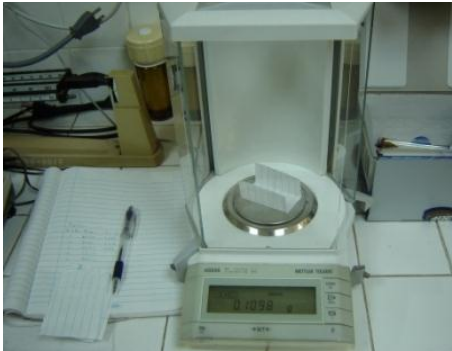
5. En períodos de 2 o 3 horas durante las primeras 24 a 48 horas se pesa la muestra y se anota cada peso en una tabla.



6. Luego en períodos de 1 hora se anota los pesos de la muestra hasta que el peso permanezca constante, lo que indica que la muestra esta seca.

## Anexo 6: Procedimiento para la digestión de las muestras.

1. Antes del proceso de digestión es necesario que las muestras estén pulverizadas, para esto se utiliza un procesador de alimentos y un mortero con pistilo.



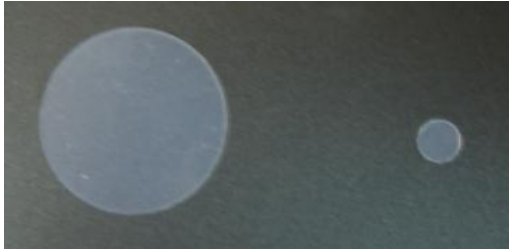
2. Se pesa aproximadamente 0.1 g por cada muestra a ser digerida y se coloca en un vaso de teflón del horno microondas previamente identificado.

3. Agregar 3 mL de ácido nítrico a cada uno de los vasos de teflón de media presión.



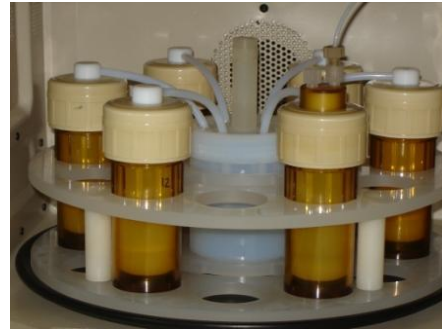
4. Agregar 1 mL de peróxido de hidrógeno, con el fin de obtener una decoloración de la solución (transparente).

5. Agitar los vasos y dejarlos en reposo por aproximadamente una hora, para dejar evacuar los gases.



6. Colocar a cada vaso una membrana y cerrarlos fuertemente. La membrana pequeña pertenece al vaso de control.

7. Colocar los vasos dentro del horno microondas y ajustar la manguera de monitoreo de presión al vaso de control.



8. Después de terminado el proceso de digestión se dejan enfriar los vasos y se abren para permitir el escape de los vapores antes de hacer las diluciones.

## Anexo 7: Procedimiento para preparación de disoluciones de muestras ya digestadas.

1. Colocar la muestra digestada en un beaker de 50 mL.



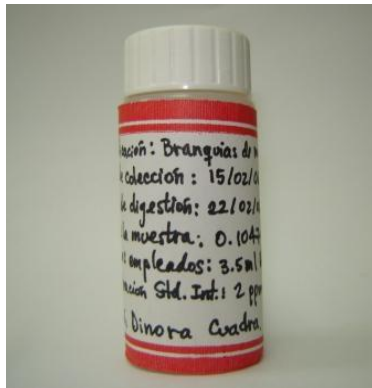
2. Transferir la solución a un balón volumétrico de 25 mL.

3. Agregar 50  $\mu\text{L}$  de solución de Galio de 1000 ppm para lograr una concentración de 2 ppm en la disolución.



4. Aforar con agua ultrapura hasta volumen de 25 mL.

5. Agitar la solución para lograr una correcta homogenización.



6. Transferir la solución a un vial de polietileno de 20 mL debidamente rotulado, ambientando primero con los 5 mL restantes de cada solución.

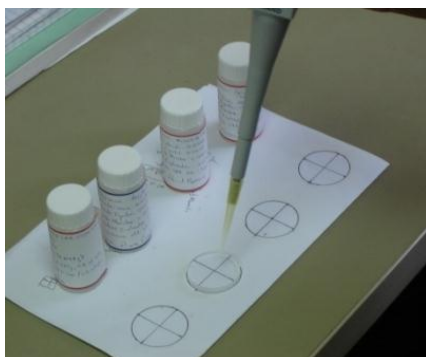
## Anexo 8: Procedimiento para colección de espectros por Fluorescencia de Rayos X.

1. Lavar los discos de cuarzo que serán utilizados para eliminar cualquier residuo de una muestra anterior.



2. Colocar cada disco de Cuarzo sin muestra en el equipo de fluorescencia de rayos X.

3. Colectar el espectro de cada disco de cuarzo sin muestra con el objetivo de verificar la existencia de algún contaminante.



4. Colocar 10  $\mu\text{L}$  de cada muestra líquida en los discos de cuarzo que no se hayan observado contaminantes en su espectro.



5. Colocar los discos de cuarzo con muestra en el horno al vacío para evaporar el agua de la muestra colocada.




6. Colocar cada disco de cuarzo ya preparado en el equipo de fluorescencia de rayos X y coleccionar el espectro.


7. Repetir el paso anterior para cada muestra de la cual se quiera coleccionar el espectro y almacenar los discos en un contenedor al vacío.




**Anexo 9: Fichas de punto de toma de muestra para agua.**

<b>FICHA DE PUNTO DE TOMA DE MUESTRA</b>		
<b>PUNTO DE MUESTREO:</b>	Lago Suchitlán	
<b>CODIGO:</b>	M1	
<b>CLASIFICACIÓN:</b>	Agua	
<b>TIPO DE PUNTO DE MONITOREO:</b>	Propiedades fisicoquímicas y microbiológicas.	
<b>DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN</b>		
<b>DEPARTAMENTO:</b>	Cuscatlán – Chalatenango	
<b>COORDENADAS DE UBICACIÓN:</b>	N:14° 01' 9.3" Wo: 89° 02' 31.8"	
<b>FOTO DE REFERENCIA:</b>	Tomada al Norte del punto de toma de muestra	





<b>FICHA DE PUNTO DE TOMA DE MUESTRA</b>		
<b>PUNTO DE MUESTREO:</b>	Lago Suchitlán	
<b>CODIGO:</b>	M2	
<b>CLASIFICACIÓN:</b>	Agua	
<b>TIPO DE PUNTO DE MONITOREO:</b>	Propiedades fisicoquímicas y microbiológicas.	
<b>DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN</b>		
<b>DEPARTAMENTO:</b>	Cuscatlán – Chalatenango	
<b>COORDENADAS DE UBICACIÓN:</b>	N: 13° 56' 33.1" Wo: 88° 59' 50.4"	
<b>FOTO DE REFERENCIA:</b>	Tomada al Norte del punto de toma de muestra	


<b>FICHA DE PUNTO DE TOMA DE MUESTRA</b>		
<b>PUNTO DE MUESTREO:</b>	Lago Suchitlán	
<b>CODIGO:</b>	M3	
<b>CLASIFICACIÓN:</b>	Agua	
<b>TIPO DE PUNTO DE MONITOREO:</b>	Propiedades fisicoquímicas y microbiológicas.	
<b>DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN</b>		
<b>DEPARTAMENTO:</b>	Cuscatlán – Chalatenango	
<b>COORDENADAS DE UBICACIÓN:</b>	N: 13° 56' 32.0" Wo: 88° 57' 13.5"	
<b>FOTO DE REFERENCIA:</b>	Tomada al Norte del punto de toma de muestra	


<b>FICHA DE PUNTO DE TOMA DE MUESTRA</b>		
<b>PUNTO DE MUESTREO:</b>	Lago Suchitlán	
<b>CODIGO:</b>	M4	
<b>CLASIFICACIÓN:</b>	Agua	
<b>TIPO DE PUNTO DE MONITOREO:</b>	Propiedades fisicoquímicas y microbiológicas.	
<b>DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN</b>		
<b>DEPARTAMENTO:</b>	Cuscatlán – Chalatenango	
<b>COORDENADAS DE UBICACIÓN:</b>	N: 13° 56' 29.7" Wo: 88° 55' 14.3"	
<b>FOTO DE REFERENCIA:</b>	Tomada al Norte del punto de toma de muestra	

**Anexo 10: Ficha de punto de toma de muestra para biomonitor.**

<b>FICHA DE PUNTO DE TOMA DE MUESTRA</b>		
<b>PUNTO DE MUESTREO:</b>	Lago Suchitlán	
<b>CODIGO:</b>	GUM1P11	
<b>CLASIFICACIÓN:</b>	Biomonitor	
<b>TIPO DE PUNTO DE MONITOREO:</b>	Metales pesados	
<b>DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN</b>		
<b>DEPARTAMENTO:</b>	Cuscatlán – Chalatenango	
<b>COORDENADAS DE UBICACIÓN:</b>	N: 14° 00' 11.0" Wo: 89° 01' 39.5"	
<b>FOTO DE REFERENCIA:</b>	Tomada al Norte del punto de toma de muestra	

<b>FICHA DE PUNTO DE TOMA DE MUESTRA</b>		
<b>PUNTO DE MUESTREO:</b>	Lago Suchitlán	
<b>CODIGO:</b>	GUM1P21	
<b>CLASIFICACIÓN:</b>	Biomonitor	
<b>TIPO DE PUNTO DE MONITOREO:</b>	Metales pesados	
<b>DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN</b>		
<b>DEPARTAMENTO:</b>	Cuscatlán – Chalatenango	
<b>COORDENADAS DE UBICACIÓN:</b>	N: 13° 59' 40.4" Wo: 89° 01' 00.5"	
<b>FOTO DE REFERENCIA:</b>	Tomada al Norte del punto de toma de muestra	

<b>FICHA DE PUNTO DE TOMA DE MUESTRA</b>		
<b>PUNTO DE MUESTREO:</b>	Lago Suchitlán	
<b>CODIGO:</b>	GUM1P22	
<b>CLASIFICACIÓN:</b>	Biomonitor	
<b>TIPO DE PUNTO DE MONITOREO:</b>	Metales pesados	
<b>DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN</b>		
<b>DEPARTAMENTO:</b>	Cuscatlán – Chalatenango	
<b>COORDENADAS DE UBICACIÓN:</b>	N: 13° 59' 40.4" Wo: 89° 01' 00.5"	
<b>FOTO DE REFERENCIA:</b>	Tomada al Norte del punto de toma de muestra	

<b>FICHA DE PUNTO DE TOMA DE MUESTRA</b>		
<b>PUNTO DE MUESTREO:</b>	Lago Suchitlán	
<b>CODIGO:</b>	GUM1P31	
<b>CLASIFICACIÓN:</b>	Biomonitor	
<b>TIPO DE PUNTO DE MONITOREO:</b>	Metales pesados	
<b>DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN</b>		
<b>DEPARTAMENTO:</b>	Cuscatlán – Chalatenango	
<b>COORDENADAS DE UBICACIÓN:</b>	N: 13° 57' 26.2" Wo: 89° 00' 02.7"	
<b>FOTO DE REFERENCIA:</b>	Tomada al Norte del punto de toma de muestra	

<b>FICHA DE PUNTO DE TOMA DE MUESTRA</b>	
<b>PUNTO DE MUESTREO:</b>	Lago Suchitlán
<b>CODIGO:</b>	GUM1P41
<b>CLASIFICACIÓN:</b>	Biomonitor
<b>TIPO DE PUNTO DE MONITOREO:</b>	Metales pesados
	
<b>DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN</b>	
<b>DEPARTAMENTO:</b>	Cuscatlán – Chalatenango
<b>COORDENADAS DE UBICACIÓN:</b>	N: 13° 56' 47.0" Wo: 88° 57' 10.4"
<b>FOTO DE REFERENCIA:</b>	Tomada al Norte del punto de toma de muestra



<b>FICHA DE PUNTO DE TOMA DE MUESTRA</b>		
<b>PUNTO DE MUESTREO:</b>	Lago Suchitlán	
<b>CODIGO:</b>	JAR1P11	
<b>CLASIFICACIÓN:</b>	Biomonitor	
<b>TIPO DE PUNTO DE MONITOREO:</b>	Metales pesados	
<b>DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN</b>		
<b>DEPARTAMENTO:</b>	Cuscatlán – Chalatenango	
<b>COORDENADAS DE UBICACIÓN:</b>	N:14° 00' 22.3" Wo: 89° 00' 58.4"	
<b>FOTO DE REFERENCIA:</b>	Tomada al Norte del punto de toma de muestra	


<b>FICHA DE PUNTO DE TOMA DE MUESTRA</b>		
<b>PUNTO DE MUESTREO:</b>	Lago Suchitlán	
<b>CODIGO:</b>	JAR1P21	
<b>CLASIFICACIÓN:</b>	Biomonitor	
<b>TIPO DE PUNTO DE MONITOREO:</b>	Metales pesados	
<b>DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN</b>		
<b>DEPARTAMENTO:</b>	Cuscatlán – Chalatenango	
<b>COORDENADAS DE UBICACIÓN:</b>	N:13° 59' 35.8" Wo: 89° 01' 00.9"	
<b>FOTO DE REFERENCIA:</b>	Tomada al Norte del punto de toma de muestra	


<b>FICHA DE PUNTO DE TOMA DE MUESTRA</b>		
<b>PUNTO DE MUESTREO:</b>	Lago Suchitlán	
<b>CODIGO:</b>	JAR1P31	
<b>CLASIFICACIÓN:</b>	Biomonitor	
<b>TIPO DE PUNTO DE MONITOREO:</b>	Metales pesados	
<b>DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN</b>		
<b>DEPARTAMENTO:</b>	Cuscatlán – Chalatenango	
<b>COORDENADAS DE UBICACIÓN:</b>	N:13° 56' 33.7" Wo: 89° 00' 49.3"	
<b>FOTO DE REFERENCIA:</b>	Tomada al Norte del punto de toma de muestra	

<b>FICHA DE PUNTO DE TOMA DE MUESTRA</b>		
<b>PUNTO DE MUESTREO:</b>	Lago Suchitlán	
<b>CODIGO:</b>	JAR1P41	
<b>CLASIFICACIÓN:</b>	Biomonitor	
<b>TIPO DE PUNTO DE MONITOREO:</b>	Metales pesados	
<b>DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN</b>		
<b>DEPARTAMENTO:</b>	Cuscatlán – Chalatenango	
<b>COORDENADAS DE UBICACIÓN:</b>	N:13° 57' 00.0" Wo: 88° 59' 24.1"	
<b>FOTO DE REFERENCIA:</b>	Tomada al Norte del punto de toma de muestra	

<b>FICHA DE PUNTO DE TOMA DE MUESTRA</b>		
<b>PUNTO DE MUESTREO:</b>	Lago Suchitlán	
<b>CODIGO:</b>	JAR1P51	
<b>CLASIFICACIÓN:</b>	Biomonitor	
<b>TIPO DE PUNTO DE MONITOREO:</b>	Metales pesados	
<b>DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN</b>		
<b>DEPARTAMENTO:</b>	Cuscatlán – Chalatenango	
<b>COORDENADAS DE UBICACIÓN:</b>	N:13° 56' 59.3" Wo: 88° 58' 32.0"	
<b>FOTO DE REFERENCIA:</b>	Tomada al Norte del punto de toma de muestra	

<b>FICHA DE PUNTO DE TOMA DE MUESTRA</b>		
<b>PUNTO DE MUESTREO:</b>	Lago Suchitlán	
<b>CODIGO:</b>	JAR1P61	
<b>CLASIFICACIÓN:</b>	Biomonitor	
<b>TIPO DE PUNTO DE MONITOREO:</b>	Metales pesados	
<b>DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN</b>		
<b>DEPARTAMENTO:</b>	Cuscatlán – Chalatenango	
<b>COORDENADAS DE UBICACIÓN:</b>	N:13° 56' 50.3" Wo: 88° 57' 40.0"	
<b>FOTO DE REFERENCIA:</b>	Tomada al Norte del punto de toma de muestra	

<b>FICHA DE PUNTO DE TOMA DE MUESTRA</b>		
<b>PUNTO DE MUESTREO:</b>	Lago Suchitlán	
<b>CODIGO:</b>	JAR1P71	
<b>CLASIFICACIÓN:</b>	Biomonitor	
<b>TIPO DE PUNTO DE MONITOREO:</b>	Metales pesados	
<b>DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN</b>		
<b>DEPARTAMENTO:</b>	Cuscatlán – Chalatenango	
<b>COORDENADAS DE UBICACIÓN:</b>	N:13° 56' 21.2" Wo: 88° 56' 41.5"	
<b>FOTO DE REFERENCIA:</b>	Tomada al Norte del punto de toma de muestra	

<b>FICHA DE PUNTO DE TOMA DE MUESTRA</b>		
<b>PUNTO DE MUESTREO:</b>	Lago Suchitlán	
<b>CODIGO:</b>	JAR1P81	
<b>CLASIFICACIÓN:</b>	Biomonitor	
<b>TIPO DE PUNTO DE MONITOREO:</b>	Metales pesados	
<b>DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN</b>		
<b>DEPARTAMENTO:</b>	Cuscatlán – Chalatenango	
<b>COORDENADAS DE UBICACIÓN:</b>	N:13° 56' 31.0" Wo: 88° 56' 08.2"	
<b>FOTO DE REFERENCIA:</b>	Tomada al Norte del punto de toma de muestra	



<b>FICHA DE PUNTO DE TOMA DE MUESTRA</b>		
<b>PUNTO DE MUESTREO:</b>	Lago Suchitlán	
<b>CODIGO:</b>	JAR1P91	
<b>CLASIFICACIÓN:</b>	Biomonitor	
<b>TIPO DE PUNTO DE MONITOREO:</b>	Metales pesados	
<b>DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN</b>		
<b>DEPARTAMENTO:</b>	Cuscatlán – Chalatenango	
<b>COORDENADAS DE UBICACIÓN:</b>	N:13° 56' 36.7" Wo: 88° 55' 58.8"	
<b>FOTO DE REFERENCIA:</b>	Tomada al Norte del punto de toma de muestra	

<b>FICHA DE PUNTO DE TOMA DE MUESTRA</b>		
<b>PUNTO DE MUESTREO:</b>	Lago Suchitlán	
<b>CODIGO:</b>	JR1P101	
<b>CLASIFICACIÓN:</b>	Biomonitor	
<b>TIPO DE PUNTO DE MONITOREO:</b>	Metales pesados	
<b>DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN</b>		
<b>DEPARTAMENTO:</b>	Cuscatlán – Chalatenango	
<b>COORDENADAS DE UBICACIÓN:</b>	N:13° 56' 32.3" Wo: 88° 54' 44.6"	
<b>FOTO DE REFERENCIA:</b>	Tomada al Norte del punto de toma de muestra	

## Anexo 11: Cálculo de los porcentajes de Humedad en los Biomonitores

El siguiente cuadro reporta los datos del peso de las muestras mientras pasaba por el proceso de secado.

El proceso de secado se llevó a cabo en un horno, cada muestra fue puesta en un beaker, a una temperatura alrededor de los 90 grados.

Muestra	M <sub>beaker</sub> (g)	M <sub>B.H.</sub> <sup>19</sup> (g)	M <sub>B.S.</sub> <sup>20</sup> (g)
JACE1R1	106.5948	171.4035	111.8096
GUAE1M1	103.2251	122.7790	107.2462

Con estos datos se pueden calcular los porcentajes de humedad de cada muestra con la fórmula:

$$\% H = \frac{M_{B.H.} - M_{B.S.}}{M_{B.H.} - M_{Beaker}} \times 100$$

✦ Cálculo de porcentaje de humedad de la raíz de Jacinto:

$$\% H = \frac{171.4035 - 111.8096}{171.4035 - 106.5948} \times 100$$

$$\% H = 91.95\%$$

✦ Cálculo de porcentaje de humedad del músculo de Guapote:

$$\% H = \frac{122.7790 - 107.2486}{122.7790 - 103.2251} \times 100$$

$$\% H = 79.42\%$$

---

<sup>19</sup> Base Húmeda

<sup>20</sup> Base Seca

## Anexo 12: Cálculo de Valores de metales obtenidos en los biomonitores en base húmeda

Fue necesario hacer correcciones a los valores obtenidos de cada metal de cada biomonitor ya que estos se encuentran en base seca fue necesario convertirlos a base húmeda ya que solo así se puede hacer una comparación entre estos valores y las cantidades máximas permisibles.

Formula para transformar valores de peso seco a peso húmedo:

$$V_{BH} = V_{BS} \times \left( 1 - \frac{\%H}{100} \right)$$

Ejemplo de cálculo (Para el valor de GUM1P11):

Se calculará primero el valor principal

$$V_{BH} = 31.31 \times \left( 1 - \frac{79.42}{100} \right)$$

$$V_{BH} = 6.44 \text{ gramos}$$

Siendo todos los valores calculados los que se utilizarán como referencia para la comparación de los datos obtenidos en el estudio con los valores en la norma de referencia.

**Anexo 13: Ejemplo de cálculo de los valores de la Cantidad Límite Consumible (CLCS) máxima permitida de Guapote Tigre en kg de carne fresca para el mercurio y el plomo.**

Para calcular el CLCS se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{CLCS} = \frac{\text{ISTP}}{\text{cantidad de metal pesado en el alimento}} \times \text{peso corporal}$$

Donde:

CLCS: Cantidad Límite Consumible de un Alimento dado.

ISTP: Ingesta Semanal Tolerable Provisional.

Según la FAO/OMS la **ISTP** máxima permitida para este metal es **0.005 mg de Hg/kg de peso corporal** para el mercurio total, entonces para una persona de 70 kg (el cual lo manejaremos como el peso promedio) se realiza el siguiente cálculo:

$$\text{CLCS}(\text{mínimo}) = \frac{0.005 \text{ mg de Hg/kg de peso corporal}}{6.18 \text{ mg de Hg/kg de peso fresco}} \times 70 \text{ kg de peso corporal}$$

$$\underline{\underline{\text{CLCS}(\text{mínimo}) = 0.057 \text{ kg de peso fresco de carne de Guapote Tigre por semana}}}$$

$$\text{CLCS}(\text{máximo}) = \frac{0.005 \text{ mg de Hg/kg de peso corporal}}{3.43 \text{ mg de Hg/kg de peso fresco}} \times 70 \text{ kg de peso corporal}$$

$$\underline{\underline{\text{CLCS}(\text{máximo}) = 0.102 \text{ kg de peso fresco de carne de Guapote Tigre por semana}}}$$

**Anexo 14: Ejemplo de cálculo de la cantidad mínima y máxima en miligramos que puede consumirse para no representar un riesgo a la salud de los metales Mercurio y Plomo.**

- ✦ Calculando la cantidad de mercurio mínima que se consumiría a la semana y diario para 0.057 y 0.102 kg de Guapote:

$$\text{Mercurio semanal (mínimo)} = 0.057 \text{ kg de peso fresco de Guapote} \times 3.43 \frac{\text{mg de Hg}}{\text{kg de peso fresco de Guapote}}$$

$$\underline{\text{Mercurio semanal (mínimo)} = 0.195 \text{ mg de Hg}} \quad \text{ó} \quad \underline{\text{Mercurio diario (mínimo)} = 0.027 \text{ mg de Hg}}$$

$$\text{Mercurio semanal (mínimo)} = 0.102 \text{ kg de peso fresco de Guapote} \times 3.43 \frac{\text{mg de Hg}}{\text{kg de peso fresco de Guapote}}$$

$$\underline{\text{Mercurio semanal (mínimo)} = 0.350 \text{ mg de Hg}} \quad \text{ó} \quad \underline{\text{Mercurio diario (mínimo)} = 0.050 \text{ mg de Hg}}$$

Lo que nos da que la cantidad mínima diaria promedio que se consumiría de mercurio por parte de la carne de guapote tigre es de **0.038 mg de Hg**.

- ✦ Calculando la cantidad de mercurio máxima que se consumiría a la semana y diario para 0.057 y 0.102 kg de Guapote:

$$\text{Mercurio semanal (máximo)} = 0.057 \text{ kg de peso fresco de Guapote} \times 6.18 \frac{\text{mg de Hg}}{\text{kg de peso fresco de Guapote}}$$

$$\underline{\text{Mercurio semanal (máximo)} = 0.352 \text{ mg de Hg}} \quad \text{ó} \quad \underline{\text{Mercurio diario (mínimo)} = 0.050 \text{ mg de Hg}}$$

$$\text{Mercurio semanal (máximo)} = 0.102 \text{ kg de peso fresco de Guapote} \times 6.18 \frac{\text{mg de Hg}}{\text{kg de peso fresco de Guapote}}$$

$$\underline{\text{Mercurio semanal (máximo)} = 0.630 \text{ mg de Hg}} \quad \text{ó} \quad \underline{\text{Mercurio diario (mínimo)} = 0.090 \text{ mg de Hg}}$$

Lo que nos da que la cantidad máxima diaria promedio que se consumiría de mercurio por parte de la carne de guapote tigre es de **0.070 mg de Hg**.

**Anexo 15: Ejemplo de cálculo del aporte a la dieta alimenticia en miligramos de Cobre, Cromo y Zinc en función de la Cantidad Límite Consumible a la Semana máxima permitida de plomo y mercurio en el músculo del Guapote Tigre sin representar un riesgo para la salud.**

✦ Calculando el aporte nutricional del cobre para 0.057 y 0.102 kg de Guapote:

$$\text{Cobre semanal (mínimo)} = 0.057 \text{ kg de peso fresco de Guapote} \times 2.49 \frac{\text{mg de Cu}}{\text{kg de peso fresco de Guapote}}$$

$$\underline{\underline{\text{Cobre semanal (mínimo)} = 0.141 \text{ mg de Cu}}} \quad \text{ó} \quad \underline{\underline{\text{Cobre diario} = 0.020 \text{ mg de Cu}}}$$

$$\text{Cobre semanal(mínimo)} = 0.102 \text{ kg de peso fresco de Guapote} \times 2.49 \frac{\text{mg de Cu}}{\text{kg de peso fresco de Guapote}}$$

$$\underline{\underline{\text{Cobre semanal(mínimo)} = 0.254 \text{ mg de Cu}}} \quad \text{ó} \quad \underline{\underline{\text{Cobre diario} = 0.036 \text{ mg de Cu}}}$$

Lo que nos da que el aporte diario mínimo promedio de cobre por parte de la carne de guapote tigre es de **0.028 mg de Cu**.

$$\text{Cobre semanal (máximo)} = 0.057 \text{ kg de peso fresco de Guapote} \times 4.15 \frac{\text{mg de Cu}}{\text{kg de peso fresco de Guapote}}$$

$$\underline{\underline{\text{Cobre semanal (máximo)} = 0.236 \text{ mg de Cu}}} \quad \text{ó} \quad \underline{\underline{\text{Cobre diario} = 0.034 \text{ mg de Cu}}}$$

$$\text{Cobre semanal (máximo)} = 0.102 \text{ kg de peso fresco de Guapote} \times 4.15 \frac{\text{mg de Cu}}{\text{kg de peso fresco de Guapote}}$$

$$\underline{\underline{\text{Cobre semanal (máximo)} = 0.423 \text{ mg de Cu}}} \quad \text{ó} \quad \underline{\underline{\text{Cobre diario} = 0.060 \text{ mg de Cu}}}$$

Lo que nos da que el aporte diario máximo promedio de cobre por parte de la carne de guapote tigre es de **0.047 mg de Cu**.

Anexo 16: Tabla que indica los Contenidos Máximos de Plomo y Mercurio en los Productos Alimenticios encontrada en el anexo 1 del documento CONSLEG: 2001R0466 — 05/05/2004 que contiene el REGLAMENTO (CE) No 466/2001 DE LA COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS.

**Sección 3: Metales pesados**

Producto	Contenido máximo (mg/kg peso fresco)	Criterios de realización para el muestreo	Criterios de realización de los métodos de análisis
<b>3.1. PLOMO (Pb)</b>			
3.1.1. Leche de vaca (leche cruda, leche para la fabricación de productos lácteos y leche tratada térmicamente tal como se establece en la Directiva 92/46/CEE)	0,02	Directiva 2001/22/CE de la Comisión <sup>(12)</sup>	Directiva 2001/22/CE
3.1.2. Preparados para lactantes y preparados de continuación, tal como se definen en la Directiva 91/321/CEE <sup>(13)</sup>	0,02	Directiva 2001/22/CE	Directiva 2001/22/CE
3.1.3. Carne de animales bovinos, ovejas, cerdos y aves de corral tal como se define en la letra a) del artículo 2 de la Directiva 64/433/CEE del Consejo <sup>(14)</sup> , modificada en último término por la Directiva 95/23/CE <sup>(15)</sup> , y en el apartado 1 del artículo 2 de la Directiva 71/118/CEE del Consejo <sup>(16)</sup> , modificada en último término por la Directiva 97/79/CE <sup>(17)</sup> , excluidos los despojos tal como se define en la letra e) del artículo 2 de la Directiva 64/433/CEE y en el apartado 5 del artículo 2 de la Directiva 71/118/CEE	0,1	Directiva 2001/22/CE	Directiva 2001/22/CE
3.1.3.1. ►CJ Despojos comestibles de vacas, ovejas, cerdos y aves de corral, tal como se define en la letra e) del artículo 2 de la Directiva 64/433/CEE, y en el apartado 5 del artículo 2 de la Directiva 71/118/CE ◀	0,5	Directiva 2001/22/CE	Directiva 2001/22/CE



Producto	Contenido máximo (mg/kg peso fresco)	Criterios de realización para el muestreo	Criterios de realización de los métodos de análisis
3.1.4. Carne de pescado (2) tal como se define en las categorías a), b) y e) de la lista del artículo 1 del Reglamento (CE) nº 104/2000 del Consejo (DO L 17 de 21.1.2000, p. 22), excluidas las especies de peces que se recogen en el punto 3.1.4.1.	0,2	Directiva 2001/22/CE	Directiva 2001/22/CE
3.1.4.1. Carne (2) de acodia ( <i>Dicologlossa cuneata</i> ), anguila ( <i>Anguilla anguilla</i> ), atún ( <i>Thunnus spp.</i> ), bacoreta ( <i>Euthynnus spp.</i> ), baila ( <i>Dicentrarchus punctatus</i> ), bonito ( <i>Sarda, sarda</i> ), jurel ( <i>Trachurus trachurus</i> ), lisa ( <i>Mullus labreus labreus</i> ), mojama ( <i>Diplodus vulgaris</i> ), romcador ( <i>Pomadasys bermei</i> ), sardina ( <i>Sardina pilchardus</i> ), sardinops ( <i>Sardinops spp.</i> )	0,4	Directiva 2001/22/CE	Directiva 2001/22/CE
3.1.5. Crustáceos, excluida la carne oscura del cangrejo	0,5	Directiva 2001/22/CE	Directiva 2001/22/CE
3.1.6. Moluscos bivalvos	1,5	Directiva 2001/22/CE	Directiva 2001/22/CE
3.1.7. Cefalópodos (sin vísceras)	1,0	Directiva 2001/22/CE	Directiva 2001/22/CE
3.1.8. Cereales (incluido el alfarfón), verduras y legumbres secas	0,2	Directiva 2001/22/CE	Directiva 2001/22/CE

Producto	Contenido máximo (mg/kg peso fresco)	Criterios de realización para el muestreo	Criterios de realización de los métodos de análisis
3.2.9. Cereales, excluido el salvado y el germen (de cualquier cereal), el grano de trigo y el arroz	0,1	Directiva 2001/22/CE	Directiva 2001/22/CE
3.2.9.1. Salvado y germen (de cualquier cereal), grano de trigo y arroz	0,2	Directiva 2001/22/CE	Directiva 2001/22/CE
3.2.10. Habas de soja	0,2	Directiva 2001/22/CE	Directiva 2001/22/CE
3.2.11. Las hortalizas y frutas tal como se definen en el artículo 1 de la Directiva 90/642/CEE, excluidas las hortalizas de hoja, las hierbas aromáticas frescas, todas las setas, los tallos jóvenes, las hortalizas de raíz y las patatas	0,05	Directiva 2001/22/CE	Directiva 2001/22/CE
3.2.11.1. Las hortalizas de hoja, las hierbas aromáticas frescas, los apionabos y todas las setas cultivadas	0,2	Directiva 2001/22/CE	Directiva 2001/22/CE
3.2.11.2. Tallos jóvenes, hortalizas de raíz y patatas, excluidos los apionabos. En el caso de las patatas, el contenido máximo se aplica a las patatas peladas	0,1	Directiva 2001/22/CE	Directiva 2001/22/CE
3.3. MERCURIO			
3.3.1. Productos de la pesca, excepto los contemplados en el punto 3.3.1.1	0,5	Directiva 2001/22/CE	Directiva 2001/22/CE

Producto	Contenido máximo (mg/kg peso fresco)	Criterios de realización para el muestreo	Criterios de realización de los métodos de análisis
3.3.1.1. anguila ( <i>Anguilla spp.</i> ), atún ( <i>Thunnus spp.</i> ), bacoreta ( <i>Euthymus spp.</i> ), bonito ( <i>Sarda, sarda</i> ), escolar negro ( <i>Lepidocybium flavobrun-            neum</i> ), Ravettus pretiosus, <i>Gempylus            serpens</i> ), espadilla ( <i>Lepidopus caudatus</i> , <i>Apha-            nopus carbo</i> ), esturión ( <i>Acipenser spp.</i> ), fletán ( <i>Hippoglossus hippoglossus</i> ), gallineta nórdica ( <i>Sebastes marinus</i> , <i>S.            mentella</i> , <i>S. viviparus</i> ), granadero ( <i>Coryphaenoides rupestris</i> ), lucio ( <i>Esox lucius</i> ), marlin ( <i>Makaira spp.</i> ), maruca azul ( <i>Molva dipterygia</i> ), mero ( <i>Dicentrarchus labrax</i> ), pailona ( <i>Centrocyttus coelestis</i> ), perro del norte ( <i>Anarhichas lupus</i> ), pez espada ( <i>Xiphias gladius</i> ), pez vela ( <i>Isicipterus platypterus</i> ), nape ( <i>Lophius spp.</i> ), naya ( <i>Raja spp.</i> ), reloj anaranjado ( <i>Hoplostethus atl-            ticus</i> ), tamarite ( <i>Orcynopsis unicolor</i> ), tiburón (todas las especies)	1,0	Directiva 2001/22/CE	Directiva 2001/22/CE

Anexo 17: Tabla que indica Contenido máximo de Plomo y Mercurio en alimentos para animales encontrada en el anexo 1 del documento CONSLEG: 1999L0029 — 10/01/2002 que contiene el DIRECTIVA 1999/29/CE DEL CONSEJO DE LA UNION EUROPEA.

(1) Sustancias, productos	(2) Alimentos para animales	(3) Contenido máximo en mg/kg (ppm) en alimentos para animales referido a un contenido de humedad del 12 %
4. Mercurio	<ul style="list-style-type: none"> <li>— los demás</li> <li>— piensos completos para cerdos</li> <li>— piensos completos para aves de corral</li> <li>— piensos completos para pollitos</li> <li>Piensos complementarios minerales para bovinos, ovinos y caprinos</li> <li>Otros piensos complementarios</li> <li>Materias primas para la alimentación animal, excepto:               <ul style="list-style-type: none"> <li>— materias primas procedentes de la transformación de pescados u otros animales marinos</li> </ul> </li> <li>Piensos completos, excepto:               <ul style="list-style-type: none"> <li>— alimentos para perros y gatos</li> </ul> </li> <li>Piensos complementarios, excepto:               <ul style="list-style-type: none"> <li>— alimentos complementarios para perros y gatos</li> </ul> </li> <li>Harinas de pescado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>50</li> <li>100</li> <li>350</li> <li>250</li> <li>2 000 (1)</li> <li>125 (2)</li> <li>0,1</li> <li>0,5</li> <li>0,1</li> <li>0,4</li> <li>0,2</li> <li>60</li> </ul>
5. Nitrógeno	<ul style="list-style-type: none"> <li>Piensos completos, excepto:               <ul style="list-style-type: none"> <li>— alimentos para animales de compañía (con excepción de los pájaros y peces ornamentales)</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(expresado en nitrógeno de sodio)</li> <li>15</li> </ul>
6. Cadmio	<ul style="list-style-type: none"> <li>Materias primas para la alimentación animal de origen vegetal</li> <li>Materias primas para la alimentación animal de origen animal, excepto:               <ul style="list-style-type: none"> <li>— alimentos para animales de compañía</li> </ul> </li> <li>Fosfatos</li> <li>Piensos completos para bovinos, ovinos y caprinos, excepto:               <ul style="list-style-type: none"> <li>— piensos completos para terneros, corderos y cabritos</li> </ul> </li> <li>Otros piensos completos, excepto:               <ul style="list-style-type: none"> <li>— alimentos completos para animales de compañía</li> </ul> </li> <li>Piensos minerales</li> <li>Otros piensos complementarios para bovinos, ovinos y caprinos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1</li> <li>2</li> <li>10 (1)</li> <li>1</li> <li>0,5</li> <li>5 (2)</li> <li>0,5</li> </ul>

Sustancias, productos	(1)	Alimentos para animales	(2)	Contenido máximo en mg/kg (ppm) en alimentos para animales referido a un contenido de humedad del 12 %
	(1)		(2)	(3)
4. Mercurio		<ul style="list-style-type: none"> <li>— los demás</li> <li>— piensos completos para cerdos</li> <li>— piensos completos para aves de corral</li> <li>— piensos completos para pollitos</li> </ul> Pienso complementario mineral para bovinos, ovinos y caprinos Otros piensos complementarios	<ul style="list-style-type: none"> <li>— materias primas para la alimentación animal, excepto:</li> <li>— materias primas procedentes de la transformación de pescados u otros animales marinos</li> </ul> Pienso completo, excepto: — alimentos para perros y gatos Pienso complementario, excepto: — alimentos complementarios para perros y gatos Harinas de pescado	<ul style="list-style-type: none"> <li>50</li> <li>100</li> <li>350</li> <li>250</li> <li>2 000 (1)</li> <li>125 (2)</li> <li>0,1</li> <li>0,5</li> </ul>
5. Nitrito		Pienso completo, excepto: — alimentos para animales de compañía (con excepción de los pájaros y peces ornamentales)	Pienso completo, excepto: — alimentos para animales de compañía (con excepción de los pájaros y peces ornamentales)	<ul style="list-style-type: none"> <li>60 (expresado en nitrato de sodio)</li> <li>15 (expresado en nitrato de sodio)</li> </ul>
6. Cadmio		Materias primas para la alimentación animal de origen vegetal Materias primas para la alimentación animal de origen animal, excepto: — alimentos para animales de compañía Fosfatos	Materias primas para la alimentación animal de origen vegetal Materias primas para la alimentación animal de origen animal, excepto: — alimentos para animales de compañía Fosfatos	<ul style="list-style-type: none"> <li>1</li> <li>2</li> <li>10 (1)</li> <li>1</li> <li>0,5</li> <li>5 (2)</li> <li>0,5</li> </ul>
		Pienso completo para bovinos, ovinos y caprinos, excepto: — piensos completos para terneros, corderos y cabritos Otros piensos completos, excepto: — alimentos completos para animales de compañía Pienso mineral Otros piensos complementarios para bovinos, ovinos y caprinos	Pienso completo para bovinos, ovinos y caprinos, excepto: — piensos completos para terneros, corderos y cabritos Otros piensos completos, excepto: — alimentos completos para animales de compañía Pienso mineral Otros piensos complementarios para bovinos, ovinos y caprinos	<ul style="list-style-type: none"> <li>1</li> <li>0,5</li> <li>5 (2)</li> <li>0,5</li> </ul>

