

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
ESCUELA DE BIOLOGÍA



Universidad de El Salvador
Hacia la libertad por la cultura

“DETERMINACIÓN DE MERCURIO EN TEJIDO BLANDO DE *Anadara tuberculosa* (Sowerby, 1833), *Anadara similis* (C. B. Adams, 1852) EN LA BAHÍA DE JIQUILISCO, DEPARTAMENTO DE USulután, EL SALVADOR 2009”

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO POR:
Br. CRISTINA MARGARITA CARBAJAL TORRES**

**PARA OPTAR AL GRADO DE:
LICENCIADA EN BIOLOGÍA**

CIUDAD UNIVERSITARIA, MAYO DE 2010

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
ESCUELA DE BIOLOGÍA**



Universidad de El Salvador
Hacia la libertad por la cultura

“DETERMINACIÓN DE MERCURIO EN TEJIDO BLANDO DE *Anadara tuberculosa* (Sowerby, 1833), *Anadara similis* (C. B. Adams, 1852) EN LA BAHÍA DE JIQUILISCO, DEPARTAMENTO DE USulután, EL SALVADOR 2009”

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO POR:
CRISTINA MARGARITA CARBAJAL TORRES**

**PARA OPTAR AL GRADO DE:
LICENCIADA EN BIOLOGÍA**

ASESOR: _____

Dr. RIGOBERTO AYALA

CIUDAD UNIVERSITARIA, MAYO DE 2010

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
ESCUELA DE BIOLOGÍA



Universidad de El Salvador
Hacia la libertad por la cultura

“DETERMINACIÓN DE MERCURIO EN TEJIDO BLANDO DE *Anadara tuberculosa* (Sowerby, 1833), *Anadara similis* (C. B. Adams, 1852) EN LA BAHÍA DE JIQUILISCO, DEPARTAMENTO DE USulután, EL SALVADOR 2009”

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO POR:
CRISTINA MARGARITA CARBAJAL TORRES**

**PARA OPTAR AL GRADO DE:
LICENCIADA EN BIOLOGÍA**

**JURADO EVALUADOR: _____
Licda. ÁNGELA GUDELIA PORTILLO ZELAYA**

**JURADO EVALUADOR: _____
Dr. NÉSTOR GUILLERMO ORELLANA VELADO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, MAYO DE 2010

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR:

ING. RUFINO ANTONIO QUEZADA SÁNCHEZ

SECRETARIA GENERAL:

LIC. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHÁVEZ

FISCAL:

Dr. RENÉ MADECADEL PERLA JIMÉNEZ

DECANO DE LA FACULTAD:

Dr. RAFAEL ANTONIO GÓMEZ ESCOTO

DIRECTORA ESCUELA DE BIOLOGÍA

M.Sc. NOHEMY ELIZABETH VENTURA CENTENO

CIUDAD UNIVERSITARIA, MAYO DE 2010

ASESOR Y JURADOS

ASESOR

Dr. RIGOBERTO AYALA

JURADO EVALUADOR:

Licda. ÁNGELA GUDELIA PORTILLO ZELAYA

JURADO EVALUADOR:

Dr. NÉSTOR GUILLERMO ORELLANA VELADO

CIUDAD UNIVERSITARIA, MAYO DE 2010

AGRADECIMIENTOS

A Jehová Dios todo poderoso por darme paciencia, fuerza y sabiduría para terminar la realización de este trabajo.

A mis padres, hermanas y hermano por apoyarme en todo momento, soportarme y darme ánimos a lo largo del desarrollo de este estudio y por estar ahí cuando los he necesitado.

A mi asesor Dr. Rigoberto Ayala y a los miembros del jurado Licda. Ángela Gudelia Portillo Zelaya y al Dr. Néstor Guillermo Orellana Velado por sus oportunas observaciones y aportes a fin de mejorar el trabajo.

A el Dr. José Enrique Barraza por su apoyo profesional, científico y a sus oportunos consejos, observaciones y constantes revisiones del documento sin cuya ayuda no habría sido posible este trabajo.

A la Dirección General de Patrimonio Natural del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) por su apoyo en el financiamiento brindado en la logística y análisis de laboratorio de las muestras de bivalvos.

DEDICATORIA

A mis padres y hermanas por su comprensión y ayuda en momentos malos y menos malos. Me han enseñado a enfrentar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño, y todo ello con una gran dosis de amor y sin pedir nunca nada a cambio, por su paciencia, por su comprensión, por su fuerza.

CRISTINA CARBAJAL

ÍNDICE

Contenido	Nº de páginas
ÍNDICE DE FIGURAS	i
ÍNDICE DE TABLAS	ii
ÍNDICE DE ANEXOS	iii
I.INTRODUCCIÓN	v
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
4.1. Contaminación de Ambientes Acuáticos.....	5
4.2. Metales pesados	5
4.2.1. Mercurio	6
4.2.2. Bioacumulación y efectos del mercurio en los organismos y en la salud humana.....	8
4.3. Bivalvos como biomonitores de metales pesados	11
V. METODOLOGÍA.....	13
5.1. Descripción del sitio de estudio.....	13
5.1.1. Ubicación geográfica.....	13
5.2. Metodología de campo	13
5.2.1. Ubicación de los sitios de muestreo	13
5.2.2. Fase de campo	15
5.2.2.1. Método de recolecta de Bivalvos.....	15
5.2.2.2. Extracción y procesamiento de muestras de <i>Anadara</i>	15
5.3. Fase de Laboratorio	16
5.3.1. Tratamiento de la muestra	16
VI. RESULTADOS	18
6.1. Salinidad.....	18

6.2 Mercurio en bivalvos	19
VII. DISCUSIÓN	20
VIII. CONCLUSIONES	24
IX RECOMENDACIONES	25
X BIBLIOGRAFÍA	26
ANEXOS	33

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLA

Figura

1. “Ubicación y coordenadas geográficas de los sitios de muestreo: Los sitios (SJ), (SO), (VR0, se encuentran cerca de la desembocadura del río grande de San Miguel, mientras, (IT), (VR) cercanos a asentamientos humanos y los sitios (MR), (LM), (EN), alejados de asentamientos humanos, de acuerdo a Barraza (2008).....14
2. Concentración de salinidad del agua superficial en unidades prácticas de salinidad (ups) en estación transición seca-lluviosa (Mayo) y estación lluviosa (Septiembre) en ocho sitios de muestreo: EN (El Nance), IT (Isla Tortuga), LM (La Mortandad), MR (Monte Redondo), RA (Río Arriba), SJ (San José), SO (Solorzano), VR (Vuelta Redonda) de la Bahía de Jiquilisco 2009.....18

Tabla

1. Niveles de Mercurio en bivalvos en dos estaciones meteorológicas: estación transición seca-lluviosa (Mayo) y estación lluviosa (Septiembre) en ocho sitios de muestreo: EN (El Nance), IT (Isla Tortuga), LM (La Mortandad), MR (Monte Redondo), RA (Río Arriba), SJ (San José), SO (Solórzano), VR (Vuelta Redonda) de la Bahía de Jiquilisco 2009.....19

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Imagenes

Imagen 1. Colecta de bivalvos en raíces aéreas de mangle, en la Bahía de Jiquilisco..... 33

Imagen 2. Transporte de muestras de bivalvos en bolsas tipo ziploc desde los sitios de muestreo..... 33

Imagen 3. Lavado de muestras de bivalvos con agua de grifo en las instalaciones del Laboratorio de Calidad del Agua del Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).....33

Imagen 4. Apertura y extracción de tejido de bivalvos en las instalaciones del Laboratorio de Calidad del Agua del Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).....33

Imagen 5. Entrega de muestras de tejido blando de bivalvos al Laboratorio de Calidad Integral FUSADE.....33

Anexo 2. Protocolo: Recolecta, extracción y procesamiento de tejido blando de *A. tuberculosa* y *A. similis* procedentes de la Bahía de Jiquilisco en estación transición seca- lluviosa y estación lluviosa34

Anexo 3 : Resultado de análisis. “Determinación de mercurio en *A. tuberculosa* y *A. similis*” en estación transición seca-lluviosa y estación lluviosa, en ocho sitios de muestreo en la bahía de Jiquilisco, realizado en laboratorio de Calidad Integral de la Fundación Salvadoreña para el Desarrollo Económico y Social (FUSADES).....35

RESUMEN

Se determinaron los niveles de mercurio en bivalvos (tejido blando) en muestras de *A. tuberculosa* y *A. similis*, recolectadas en la Bahía de Jiquilisco, departamento de Usulután, en ocho sitios de muestreo denominados: MR (Monte Redondo), LM (La Mortandad), EN (El Nance), IT (Isla Tortuga), VR (Vuelta Redonda), RA (Río Arriba), SO (Solórzano), SJ (San José), en los meses de Mayo y Septiembre de 2009, abarcando las estaciones meteorológicas: transición seca-lluviosa y lluviosa respectivamente. Para ello se recolectaron 20 individuos de bivalvos por sitio de muestreo, haciendo un total de 320 individuos durante el período de muestreo. Así mismo, la salinidad superficial del agua varió de 3 a 35 unidades prácticas de salinidad (ups). La determinación del mercurio en bivalvos se realizó por espectrofotometría de absorción atómica. El mercurio no fue detectado en los tejidos de los bivalvos *A. tuberculosa* y *A. similis* en ambas estaciones meteorológicas y en los ocho sitios de muestreo, los resultados obtenidos se presume que pudieron estar relacionados con los cambios climáticos de la zona, afectando las corrientes oceánicas con alteraciones en la disponibilidad de mercurio.

ABSTRACT

The levels of mercury were determined in bivalves (soft tissue) in *Anadara tuberculosa* samples and *A. similes* which were gathered in the Bay of Jiquilisco, Usulután in eight different sampling sites called: MR (Monte Redondo- RM Round Mount), LM (La Mortandad- TM The Mortality), EN (El Nance- TN The Nance), IT (Isla Tortuga- TI Turtle Island), VR (Vuelta Redonda- RT Round Turn), RA (Río Arriba- Upstream), SO (Solorzano), SJ (San José). It was taken place in the months of May and September in 2009. Including weather stations, dry-wet transition and wet respectively. In order to do that, it was collected 20 bivalves individuals per sampling site making a total of 320 individuals during the sampling period. Likewise, the superficial salinity of the water varied from 3 to 35 practical units of salinity (PSU). The mercury determination in bivalves was done by atomic absorption spectrophotometry. Mercury was not detected in any weather station or the eight sampling sites. The gathered results it is assumed, they could be related with climatic changes affecting ocean currents with changes in the area affecting ocean currents with changes in the availability of mercury.

I. INTRODUCCIÓN

Los metales pesados al ser introducidos en los ambientes acuáticos, pueden depositarse en el sedimento, asociarse a la biota, lo que permite concentrar metales y acumularlos a lo largo de la cadena alimenticia, así causar daños tanto en un determinado nivel trófico, como al ser humano. Algunos organismos acuáticos como los bivalvos y peces tienden a bioacumular metales pesados a concentraciones superiores a las del medio ambiente, sin sufrir daño aparente, complicándose a su vez cuando los metales pesados cambian de nivel trófico y los organismos del siguiente nivel se convierten en biomagnificadores (Carballeira, *et al.* 1997).

Debido a que La Bahía de Jiquilisco, representa uno de los estuarios más importantes del país cuyas características ambientales, como: condiciones físicas, y atmosféricas, composición florística dominada en su mayoría por manglares, constituye un reservorio natural, el cual alberga muchas especies de animales tanto vertebrados como invertebrados (Cotsapas, *et al.* 2000).

La Bahía de Jiquilisco es una zona de comercialización de productos pesqueros, cultivo de camarón marino (*Litopenaeus vannamei*), comercio de bivalvos (*Anadara similis* y *Anadara tuberculosa*). Así mismo de actividades agrícolas los cuales son consumidos localmente ó comercializados en diferentes sectores del país representando una fuente de alimento y trabajo para la pobladores de la zona (Pardo y Sionde, 2003; Hernández, *et al.* 2006).

Dada la importancia comercial de la zona, se hace necesario realizar estudios que permitan conocer el grado de contaminación en cuanto a metales pesados por medio de biomonitores, utilizados para conocer la salud de los ecosistemas (De la Lanza, *et al.* 2000).

En la presente investigación se determinó y comparó los niveles de mercurio en tejido blando de *Anadara tuberculosa* y *Anadara similis* en la Bahía de Jiquilisco departamento de Usulután en dos estaciones meteorológicas transición seca-lluviosa y lluviosa, para lograr los objetivos planteados se recolectaron los bivalvos en estudio en ocho sitios de muestreo de la Bahía de Jiquilisco denominados: MR (Monte Redondo), LM (La Mortandad), EN (El Nance), IT (Isla Tortuga), VR (Vuelta Redonda), RA (Río Arriba), SO (Solórzano), SJ (San José), en los meses de Mayo y Septiembre de 2009, abarcando las estaciones meteorológicas: transición seca-lluviosa y lluviosa respectivamente. La determinación del mercurio en bivalvos se realizó por espectrofotometría de absorción atómica.

Durante este estudio el mercurio no fue detectado en los tejidos de los bivalvos *Anadara tuberculosa* y *Anadara similis* en ambas estaciones meteorológicas y en los ocho sitios de muestreo, Así mismo, la salinidad superficial del agua varió de 3 a 35 unidades prácticas de salinidad (ups).

Los resultados demuestran que los niveles de mercurios en los bioacumuladores en estudio eran mínimos para ser detectados por el método de análisis, por lo tanto se puede decir que se reduce el riesgo causado por el mercurio en la salud de los consumidores de *A. tuberculosa* y *A. similis*.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Contaminación de Ambientes Acuáticos

Contaminación ambiental se define como la introducción ó presencia de sustancias, organismos, formas de energía en ambientes y sustratos en cantidades superiores a las propias que dicho sustrato pueda tolerar (Albert, 2001).

Poulton (2000), menciona que la distribución de los contaminantes en el medio acuático depende de sus características, es decir, solubilidad en el agua, tamaño molecular y su persistencia. Esto a su vez determina la biodisponibilidad de la contaminación y su interacción entre los organismos y las fases en que se distribuye el contaminante.

A pesar que estos ecosistemas procesan numerosas sustancias biodegradables de tipo orgánicas a través de la descomposición aeróbica, no ocurre lo mismo con las sustancias conservativas: Metales pesados (Pb, Hg, Cu, Cr, Cd), Hidruros halógenos (DDTs), Bifenilos policlorinados (PCBs) y compuestos radioactivos ya que su descomposición solo ocurre a grandes escalas de tiempo (Carballeira, *et al.* 1997).

4.2. Metales pesados

Se denomina metal a cada uno de los elementos químicos conductores del calor y de la electricidad, presentan un brillo característico, siendo sólidos a temperatura ordinaria, exceptuando al mercurio. (http 1). Así mismo Angenault (2000), define como metal pesado a todo aquel metal cuya masa volumétrica es superior a $5,000 \text{ kg}^{-3}$.

Según Giddings (1973), de los 108 elementos conocidos por el hombre, 84 son metales, de los cuales 10 están distribuidos en la corteza terrestre entre estos aluminio, hierro, calcio, sodio, potasio y titanio.

Los metales y metaloides más representativos con gran potencia tóxica son: Ag, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Hg, Pb, As, entre otros. Estos elementos se encuentran en concentraciones trazas en el medio ambiente, algunos como el Co, Fe, Mn, Zn y Cu, son necesarios para procesos vitales en bajas concentraciones, mientras que bajo determinadas condiciones, pueden acumularse y formar concentraciones tóxicas (Freedman, 1989). En cambio, Pb, Hg, Cd, Au, As, no tienen función metabólica y son tóxicos en dosis mínimas (Domínguez, 2006).

Los metales de origen antropogénico principalmente el mercurio (procedente de actividades mineras, industriales, agrícolas o domésticas) o naturales, se incorporan por distintas rutas al medio ambiente acuático, tales como: las aguas de los ríos, precipitaciones y deposiciones a partir de la atmósfera, aguas y lodos residuales (Domínguez, 2006).

4.2.1. Mercurio

Dentro de los metales pesados, el mercurio es el que presenta mayor preocupación en los ecosistemas marinos, ya que está presente en los ciclos naturales y en las actividades antropogénicas (Eisler, 1987). Este elemento una vez entra en los ecosistemas marinos por medio de las precipitaciones y a través de los ríos, se disuelve y se asocia a partículas pequeñas en la columna de agua, en donde pasa a estar disponible en el alimento en suspensión para los organismos filtradores como los bivalvos (Martínez, *et al.* 2006). Así mismo, el mercurio es uno de los contaminantes que más se ha estudiado, debido a la gran toxicidad que este ha generado en poblaciones humanas a través de la biomagnificación (Carrasquero, 2006).

Existen tres categorías en las que el mercurio se presenta, con base a propiedades farmacocinéticas (absorción, distribución, acumulación y riesgo ecológico), estas categorías son: mercurio metálico o elemental, mercurio inorgánico, mercurio orgánico. El mercurio metálico es la forma elemental o la forma pura del mercurio el cual no está combinada con otros elementos, el mercurio inorgánico se refiere al mercurio en forma de vapor cuando está en la atmósfera, este existe en forma iónica como Hg^{2+} y Hg^+ (sales de mercurio). El mercurio orgánico consiste en la unión de formas covalentes del mercurio con el carbono a otras estructuras químicas (Merian, 1991).

Este metal presenta un ciclo global y un ciclo local, el primero depende de la circulación atmosférica de los vapores de mercurio metálico, básicamente este ciclo abarca la circulación de los gases, producto del proceso de evaporación natural y antropogénica en los continentes, los cuales ascienden a la atmósfera y por medio de la precipitación seca y por la lluvia llegan a los cuerpos de agua continentales o al océano (Boening, 2000).

A nivel local comprende dos etapas, en la primera se inicia con la incorporación de compuestos orgánicos de dimetilmercurio (CH_3HgCH_3) por las actividades antropogénicas, donde son liberado en distintos estados físico y químico en los ambientes acuáticos, en presencia de oxígeno (aerobia) se transforman en compuestos inorgánicos como Hg^{2+} , luego reduciéndose a mercurio metálico, la segunda etapa ocurre en aguas continentales y se realiza a partir de la conversión de Hg^{2+} en $\text{CH}_3\text{Hg}^{1+}$ (metil mercurio), el metil mercurio se forma en los sedimentos por la metilación bacteriana del Hg inorgánico, una vez está libre en el agua ingresa al tejido biológico, debido a la gran afinidad de el metil mercurio con los grupos sulfhidrilos y los lípidos, la penetración en los organismos acuáticos se da a través de las superficies externa permeable o a través del tracto digestivo (Boening, 2000; Albert, 2001).

Entre las fuentes naturales de mercurio se menciona, el vulcanismo, la desgasificación de la corteza terrestre, la erosión y la disolución de los minerales de las rocas por la penetración del agua por tiempos prolongados. Mientras que

las principales fuentes antropogénicas de mercurio son: la minería, actividades industrial (manufactura de equipo electrónico, pinturas), agrícolas (fungicidas), y a menor escala desechos de laboratorios químicos y combustibles fósiles (Albert, 2001).

4.2.2. Bioacumulación y efectos del mercurio en los organismos y en la salud humana

Para determinar los efectos del mercurio en los organismos es necesario conocer la definición de bioacumulación. La Bioacumulación es la capacidad de un organismo para concentrar una sustancia, directamente desde el medio ambiente o, indirectamente a través de los alimentos (Asociación Española de Toxicología, AET. 1995).

La acumulación de un contaminante en un organismo depende de el índice de exposición, distribución del contaminante en el organismo y las características de los tejidos por ejemplo contenido de lípidos (Widenfalk, 2002).

La biodisponibilidad, es el primer factor que regula la entrada de un compuesto es decir, la susceptibilidad de dicho compuesto para ser incorporado por un organismo. Los aspectos que regulan la biodisponibilidad de los metales son complejos y son influenciados por muchos aspectos incluidos la forma física y la química (especiación), ruta de exposición, anfitrión, absorción y la retención en el cuerpo, dieta, factores que afecta y/o alteración el transporte y la permeabilidad de las membranas biológicas (Merian, 1991).

Los compuestos biodisponibles son los que pueden atravesar la membrana pasivamente en las dos direcciones, es decir uniéndose a receptores y siendo transportada activamente mediante gradientes físico-biológicos o unirse a complejos enzimáticos. Las sustancias que atraviesan la membrana de forma pasiva suelen ser hidrófobas (apolares), mientras que las sustancias hidrosolubles o con carga lo hacen de forma activa a través, de transportadores de membrana o

canales iónicos y con gasto de energía. Esto hace que muchos metales que disueltos están cargados positivamente (Hg^{+2}), aumenten su biodisponibilidad al conjugarse con moléculas orgánicas apolares (CH_3-Hg^+), que facilitan su transporte a través de la membrana (Iniesta y Blanco, 2005).

La bioacumulación de metales en los organismos marinos implica procesos más complejos que la acumulación de sustancias hidrófobas. Los metales disueltos suelen asociarse con ligandos orgánicos o inorgánicos y en menor cantidad, se pueden encontrar como iones libres. Los metales ligados o libres pueden ser transportados a través de la membrana celular, epitelio digestivo y otras superficies permeables mediante una gran variedad de mecanismos de transporte activos o pasivos: transportadores de membrana, permeabilización lipídica, canales y bombas iónicas, pinocitosis, endocitosis (Luoma, 1983; Simkiss y Taylor, 1989).

El contenido de lípidos es un factor importante para determinar la bioacumulación de contaminantes orgánicos en el caso de los organismos acuáticos, ya que el contaminante al ser introducido en un organismo puede tener diferentes destinos. Por ejemplo, si un contaminante entra en el cuerpo por difusión pasiva, este puede difundirse de nuevo al agua y eliminarse. También, si el contaminante es metabolizado por el organismo y luego eliminado por excreción (Landrum y Fisher, 1998).

En el medio acuático la bioacumulación puede desarrollarse en dos formas, la primera a través de la bioconcentración la cual no es más que el equilibrio entre carga y descarga de compuestos entre la biota y el medio (agua o sedimento), y la segunda es la biomagnificación la cual puede ser observada cuando la fuente de entrada del elemento es por medio del alimento, es decir las cadena trófica (Carballeira, *et al.* 1997).

La bioacumulación del mercurio en peces y crustáceos, ocurre por actividad de bacterias anaerobias del sedimento que transforman el mercurio inorgánico en mercurio metilado, luego pasa al agua y se bioacumula en

invertebrados marinos (Merian, 1991). En otras palabras la bioacumulación del mercurio en los peces y crustáceos se da por el proceso de la bioconcentración, ya que estos adquieren su alimentación de la biota. El medio a través del cual es adquirido en el ser humano es por la biomagnificación, es decir por medio de la cadena alimenticia, este metal en un primer momento es absorbido por los peces y moluscos y posteriormente consumido por el ser humano en el proceso de su dieta alimenticia, por lo que representa un problema de salud en los humanos debido a que la ingesta de estos alimentos contaminados no es asimilado ni depurado por el sistema del mismo.

El peligro radica en que los metales en los moluscos son absorbidos y unidos a proteínas, por lo tanto pueden no estar disponibles en la hemolinfa para que sean filtrados en el túbulo excretor y así ser excretados, permaneciendo en ellos y generando la bioacumulación de metales (Rainbow, 1984).

El mercurio presenta mayor toxicidad que otros metales en los estados embrionarios y larvarios de moluscos, así como crustáceos causando toxicidad aguda reduciendo la tasa de crecimiento en el desarrollo de diferentes especies de invertebrados (Martin, *et al.* 1981; Strongren, 1982; Boening, 2000).

La toxicidad del mercurio en las personas y animales silvestres se presenta cuando estos han consumido pescado y/o crustáceos que contienen mercurio metálico, a pesar de que no se conoce la concentración letal de Hg en humanos, se sabe que en el aire en rangos de 1.2-8.5 mg/m³ puede provocar disturbios emocionales y psicológicos, con síntomas tales como dolor de cabeza, náuseas, vómitos, dolor abdominal, diarrea, pérdida de memoria, temblores, mientras que a nivel neurológico el mercurio inorgánico provoca: parestesias, neuralgias, dermatografismo, afeción en el gusto, afecciones en el olfato y en el oído, signos de enfermedades renales (Patty, 1981).

Dentro de los daños provocados a la salud humana por mercurio se registra la intoxicación masiva ocurrida en Minamata, Japón, en 1953, que causó la muerte de 52 personas y daños neurológicos a cientos de personas, debido al

consumo de pescado y crustáceos proveniente de la bahía de Minamata. El mercurio se convirtió en metilmercurio ($\text{CH}_3 \text{Hg}^{1+}$) producto de la transformación que sufren los compuestos de mercurio en el ecosistema acuático lo cual hace más fácil la incorporación de átomos de Hg en la superficie de los organismos vivos a nivel de los tejidos e incorporándose a las cadenas tróficas (Giddings, 1973; Albert, 2001).

Así mismo, entre 1971-1972 en los países de Iraq, Irán, India y Pakistán, cientos de personas murieron debido al consumo de granos básicos tratados con un fungicida a base de Hg (Merian, 1991).

4.3. Bivalvos como biomonitores de metales pesados

Los bivalvos son moluscos acuáticos, se caracterizan por poseer dos valvas de igual forma oval oblicua, cada valva tiene 34-37 costillas radiales y un periostrato café oscuro con vellosidad entre las costillas, *A. similis* es similar en apariencia a *A. tuberculosa* excepto que la primera tiene en cada valva entre 40-44 costillas, y su parte marginal dorsal es redonda con un menor ángulo, ambas especies vive en fondos lodosos en la zona intermareal, se encuentran asociado a manglares principalmente “mangle rojo” *Rhizophora mangle* (Mackenzie, 2001).

Además, *A. tuberculosa* y *A. similis* respiran y se alimentan por medio de un mecanismo de filtración, como respuesta a su condición de animal sedentario. La actividad de filtración se realiza a través de las branquias, cuya función además, de la respiración, es la retención de partículas en suspensión en el agua, dicha retención de partículas es utilizada como fuente de alimento. Estas estructuras permiten que el molusco promueva una corriente de agua que lo rodea y que ésta sea inhalada a través del sifón de succión y luego son expulsadas a través del sifón de expulsión, la digestión se lleva a cabo en los túbulos distales donde se realiza la fagocitosis y la digestión intracelular de proteínas y carbohidratos (Barnes y Ruppert, 1996; Hickman, *et al.* 2003).

Los organismos utilizados como biomonitores, deben ser eficientes acumuladores, por lo que deben poseer sistemas excretorios ineficientes de las sustancias extrañas al organismo, en el proceso las concentraciones deben reflejar diferencias de la biodisponibilidad de los metales según el medio donde habite el bioindicador utilizado (Bryan, *et al.* 1985).

Entre los requisitos descritos por Philips (1980), para que una especie pueda ser utilizada como biomonitor están:

- Amplia distribución
- Sedentarismo, este requisito se refiere a que la especie utilizada debe ser representante del área de estudio, tener poca movilidad y permanecer en el sitio.
- Tolerancia a niveles altos de contaminación y amplios rangos ambientales, que permita realizar ensayos en laboratorio de toxico- cinética.
- Abundancia en el área de estudio, fácil identificación, recolección y suficiente biomasa para analizar.

A diferencia de los peces y crustáceos, los bivalvos son los organismos que frecuentemente se han utilizado como bioindicadores de metales pesados, debido a que reflejan adecuadamente la magnitud de la contaminación ambiental, ya que tienen un nivel bajo de actividad de la enzima que metaboliza los contaminantes (Otchere, *et al.* 2003).

Por lo que diversos estudios de contaminación por metales han utilizado moluscos bivalvos como biomonitores (Díaz, *et al.* 2001; Otchere, *et al.* 2003; Gil, *et al.* 2006; Díaz, *et al.* 2006; Alkarkhi, *et al.* 2008; Díaz, *et al.* 2008; Chouvelon, *et al.* 2009).

Lewis (1990), indicó que la asociación de los metales pesados a los moluscos se debe a modificaciones y adaptaciones fisiológicas de estos, lo que les permite su tolerancia y bioacumulación selectiva, dicha tolerancia se asocia con la inducción de proteínas afines a los metales, modificando la naturaleza y contenido de proteínas en los tejidos.

V. METODOLOGÍA

5.1. Descripción del sitio de estudio

5.1.1. Ubicación geográfica

La bahía de Jiquilisco se encuentra ubicada en la región oriental de El Salvador, situada entre 13° 15' y 13° 18' Latitud Norte así como 88° 48' y 88° 15' Longitud Oeste. El territorio de la bahía de Jiquilisco pertenece al departamento de Usulután y se anexa política y administrativamente a los municipios de Jiquilisco, Puerto El Triunfo, Usulután, San Dionisio, Concepción Batres y Jucuarán (MARN, 2004).

5.2. Metodología de campo

5.2.1. Ubicación de estaciones de muestreo

En la presente investigación se seleccionaron ocho sitios de muestreo, distribuidos en la Bahía de Jiquilisco de acuerdo a estudio previo de Barraza (2008), los cuales presentan abundancia de *Anadara tuberculosa* ó *Anadara similis* estos sitios son: El Nance (EN), Isla Tortuga (IT), La Mortandad (LM), Monte redondo (MR), Río Arriba (RA), San José (SJ), Solorzano (SO), Vuelta redonda (VR). Los sitios (SJ), (SO), (RA), se encuentran cerca de la desembocadura del río Grande de San Miguel; (IT), (VR), se localizan cerca de asentamientos humanos con una población superior a 1000 habitantes (menos de 2 km) y Los sitios (MR) (LM) (EN) se hallan alejadas de asentamientos humanos (fig. 1).

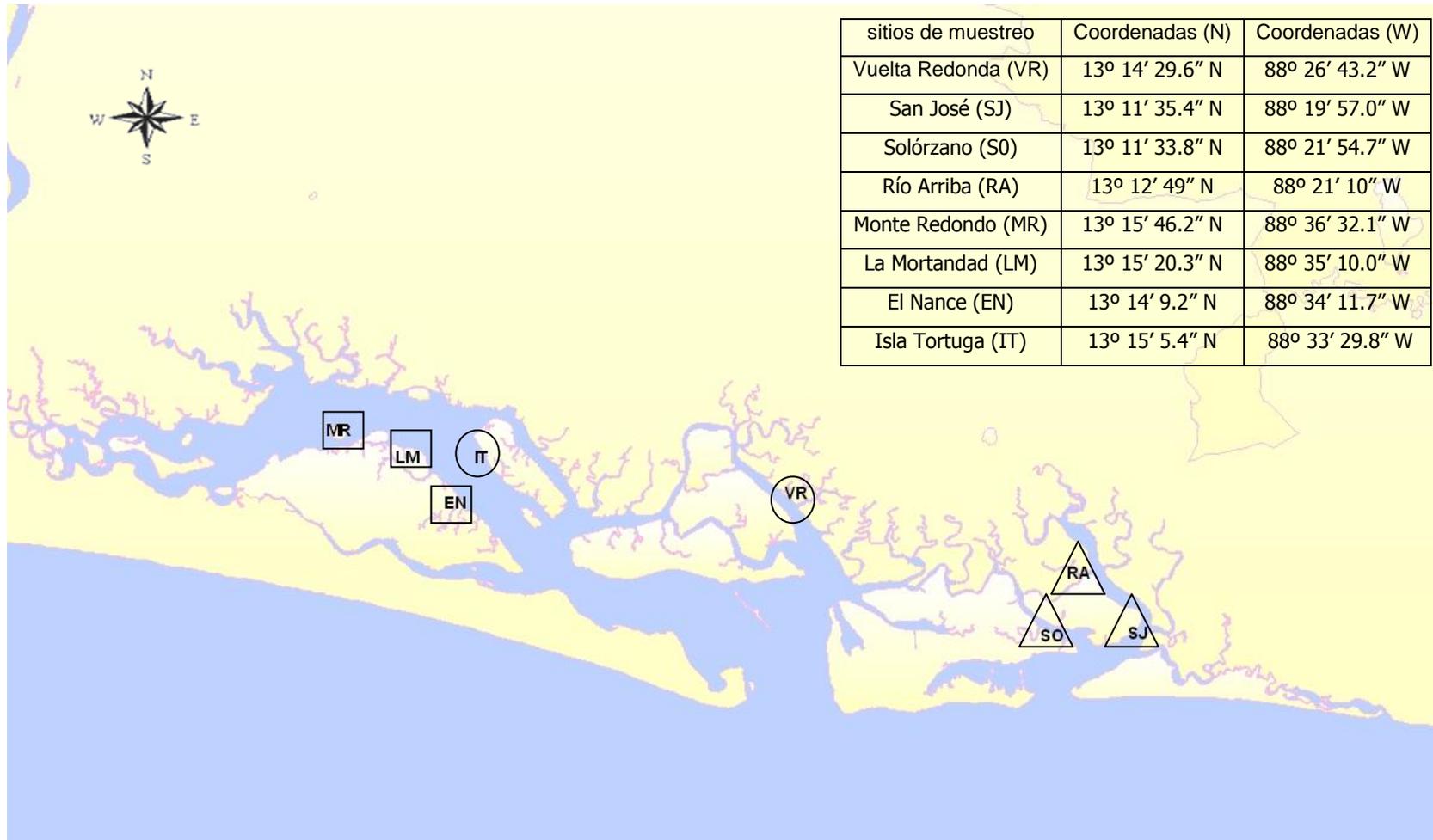


Figura 1. Ubicación y coordenadas geográficas de los sitios de muestreo : Los sitios (SJ), (SO), (VR), se encuentran cerca de la desembocadura del río grande de San Miguel, mientras (IT), (VR) cercanos a asentamientos humanos y los sitios (MR), (LM), (EN), alejadas de asentamientos humanos, de acuerdo a Barraza (2008).

5.2.2. Fase de campo

Los muestreos se realizaron en ocho sitios de muestreo de la Bahía de Jiquilisco (fig. 1) en dos estaciones meteorológicas: transición seca-lluviosa Mayo 2009 (en el que se aclara que hubo ausencia de lluvia) y estación lluviosa (Septiembre 2009) los ejemplares utilizados como biomonitores fueron *Anadara tuberculosa* y *Anadara similis*.

5.2.2.1. Método de recolecta de bivalvos

La fase de recolecta se realizó durante marea baja, cuando la superficie fangosa del estuario quedaba expuesta. Cada sitio de muestreo, se georeferencio por medio del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) marca Garmine GPS 72. Antes de iniciar la colecta de los bivalvos se midió salinidad del agua superficial utilizando un refractómetro marca Atago, y posteriormente se procedía a la búsqueda de los bivalvos (*Anadara tuberculosa* y/o *Anadara similis*) esta actividad se realizó con el apoyo de guarda recursos del Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) de la zona, la búsqueda se realizó de forma manual cerca de las raíces aéreas de mangle (Anexo 1, imagen 1) en el fango a profundidades entre 5 a 20 centímetros. En cada sitio de muestreo se recolectaron 20 especímenes haciendo un total de 160 individuos en cada estación meteorológica. Una vez recolectados los bivalvos se depositaban en bolsas estériles tipo ziploc debidamente rotuladas (Anexo 1, Imagen 2).

5.2.2.2 Extracción de tejido y procesamiento de muestras de *Anadara*

La extracción del tejido blando de *Anadara similis* y *Anadara tuberculosa*, se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Calidad del Agua del Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), donde se procedió a realizar el lavado de los bivalvos con agua del grifo (Anexo 1, imagen 3), luego se lavo con detergente en polvo de tipo biodegradable

(Alconox), posteriormente se abrían las valvas de cada uno de los bivalvos con un cuchillo de acero inoxidable esterilizado con Alconox. Una vez abiertas se extrajo el tejido blando con un cuchillo plástico esterilizado con Alconox (Anexo 1, imagen 4) así mismo se recolectó el líquido intervalvar. Después de extraer el tejido de los 20 especímenes por sitio de muestreo, con el total de tejido se procedió a preparar tres muestras, las cuales eran trasladadas en bolsas plásticas estériles (Whirlpak NASCO) debidamente rotuladas, haciendo un total de 24 muestras en cada estación meteorológica. Las muestras se colocaron en hieleras (<5 °C). y fueron trasladadas al laboratorio de Calidad Integral de la Fundación Salvadoreña para el Desarrollo Económico y Social (FUSADES) (Anexo 1 Imagen 5) para el análisis químico correspondiente (Anexo 2).

5.3. Fase de Laboratorio

5.3.1. Tratamiento de la muestra

La especie química determinada en esta investigación fue mercurio total. La muestra se trabajó en base seca, para lo cual fue secada en una estufa a 60°C durante 48h, posteriormente de cada muestra previamente deshidratado, se tomó 1 gramo aproximadamente y se practicó una digestión ácida agregándole 2.5 mL H₂SO₄ concentrado y 5 mL de HNO₃ concentrado y se calentó en baño de maría a 90-95 °C por 10 minutos, con la finalidad de promover la liberación de los compuestos orgánicos que contenían mercurio, según el método SOP-0006 NOAA (NOAA,1998).

Posteriormente se agregaron 10 mL de agua destilada y 10 mL de permanganato de potasio (KMnO₄) al 5% (p/p), y 5mL de persulfato de potasio (K₂S₂O₈) al 5% (p/p) y se dejó en reposo durante 12 horas sin calentamiento. La presencia de permanganato de potasio en medio ácido elimina las interferencias de sulfuros (Anexo 2).

Luego se le agregó 5 mL de cloruro de hidroxilamina (NH₂OH-HCl) al 10% (p/p) para disminuir el exceso de permanganato y para eliminar interferencias en la lectura, después se traslado a un balón de 100 mL, al que se le agregó agua destilada hasta completar 100 mL.

Finalmente a la muestra digerida se agregó cloruro estañoso para que actuara como agente reductor, es decir el ión mercurio procedente de la digestión fuera reducido a mercurio elemental (este se utiliza al momento de hacer las lecturas en el equipo). El contenido de mercurio se determinó mediante un espectrofotómetro de absorción atómica, modelo Spectra AA 220 con generador de hidruros. Las lecturas se hicieron a una longitud de onda de 253.7 nm. Los resultados se expresaron como mg/kg, la exactitud del método se determinó con material de referencia certificado DORM-2 certificado por NRCC (National Research Council Canadá).

VI. RESULTADOS

6.1. SALINIDAD

Los valores de salinidad superficial del agua (ups) durante la estación transición seca- lluviosa en los sitios de muestreo: MR, LM, IT, EN y VR fueron de 35 ups mientras que SJ presentó 26 ups. En cambio, en estación lluviosa ocurrió un descenso en las concentraciones de salinidad, donde los sitios de muestreo VR, IT, MR LM, reflejaron niveles más altos y las estaciones RA y SJ, asociadas a la desembocadura del río Grande de San Miguel, presentaron los menores valores de salinidad (Fig 2).

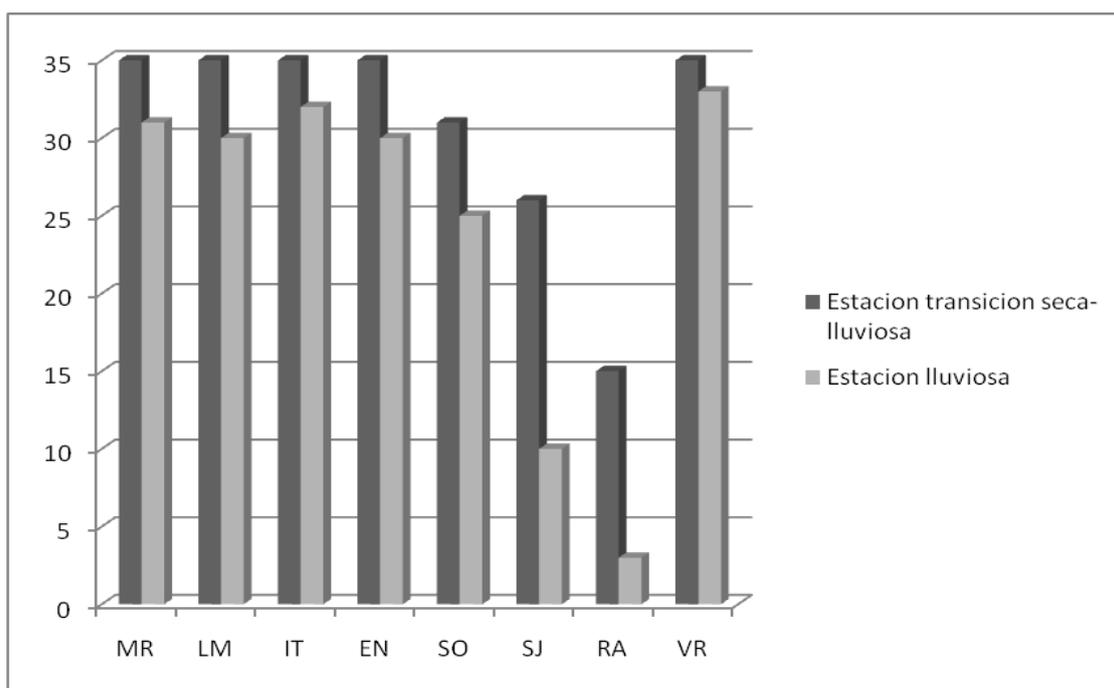


Figura 2. Concentración de salinidad del agua superficial en unidades practicas de salinidad (ups) en estación transición seca-lluviosa (Mayo) y estación lluviosa (Septiembre) en ocho sitios de muestreo: EN (El Nance), IT (Isla Tortuga), LM (La Mortandad), MR (Monte Redondo), RA (Río Arriba), SJ (San José), SO (Solorzano), VR (Vuelta Redonda) de la Bahía de Jiquilisco 2009.

6.2. MERCURIO EN BIVALVOS

Los niveles de mercurio en bivalvos en esta investigación no fueron detectables en tejido blando de *A. tuberculosa* y *A. similis* durante ambas estaciones meteorológicas (transición seca-lluviosa y lluviosa) y en los ocho sitios de muestreo (tabla 1) ni en las 48 muestras (Anexo 3)

Tabla 1. Niveles de Mercurio en bivalvos en dos estaciones meteorológicas: estación transición seca-lluviosa (Mayo) y estación lluviosa (Septiembre) en ocho sitios de muestreo: EN (El Nance), IT (Isla Tortuga), LM (La Mortandad, MR (Monte Redondo), RA (Río Arriba), SJ (San José), SO (Solórzano), VR (Vuelta Redonda) de la Bahía de Jiquilisco 2009. Donde se realizaron tres muestras por sitio de muestreo: Muestra 1 (M1), Muestra 2 (M2), Muestra 3 (M3).

Niveles de mercurio en <i>Anadara tuberculosa</i> y <i>A. similis</i> en la Bahía de Jiquilisco 2009						
Sitios de muestreo	Estación transición seca-lluviosa			Estación lluviosa		
	Muestras			Muestras		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3
EN	ND	ND	ND	ND	ND	ND
IT	ND	ND	ND	ND	ND	ND
MR	ND	ND	ND	ND	ND	ND
LM	ND	ND	ND	ND	ND	ND
VR	ND	ND	ND	ND	ND	ND
RA	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SO	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SJ	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND= No Detectable

VII. DISCUSIÓN

Los estuarios son ecosistemas de gran importancia, debido a que en ellos ocurren numerosas reacciones químicas y procesos biológicos, algunas actividades generadoras de presión tales como la urbanización, pesca, turismo e industria, introducen innumerables sustancias tóxicas a los sistemas costeros, dentro de estos se mencionan: desechos industriales (metales pesados), agroindustriales (fertilizantes Fósforo y Nitrógeno inorgánico), refinerías de petróleo (hidrocarburos disueltos y dispersos), desechos sólidos y aguas servidas municipales, estos productos y bajo procesos de transformación físicos como biológicos, afectan las funciones de los estuarios en los diferentes ciclos biológicos de peces, crustáceos y moluscos (Chapman, *et al.* 1987; Majluf, 2002; The Nature Conservancy, TNC. 2008).

Los resultados obtenidos de salinidad en este estudio variaron entre 15 y 35 ups (unidades prácticas de salinidad), durante la estación de transición seca-lluviosa, registrándose el menor valor en el sitio (RA) y el mayor en MR, LM, IT, EN y VR. Estos datos se pueden relacionar con la influencia del río Grande de San Miguel (Fig. 1) como causante de la baja salinidad en el sitio RA. En cambio, en la estación lluviosa la salinidad varió entre 3 y 33 ups en donde el sitio RA obtuvo el menor valor y el mayor valor lo registró el sitio VR con 33 ups, esta tendencia en el cambio de la salinidad en dos estaciones del año coincide con las observaciones de Azucena y López (2006), en un estudio en el Estero de Jaltepeque en el determinaron valores de salinidad entre 16.5 y 22.5 ups en Marzo de 2005, mientras que en Agosto 2005 los valores variaron entre 2 y 10 ups. También Melara (2006), indicó variaciones de salinidad en rangos de 25 ups en estación seca y 31 ups en estación transición seca-lluviosa, en tres estuarios (Barra de Santiago, Estero de Jaltepeque, Estero el Tamarindo), mientras que Campos (2007), reportó salinidad entre 22 y 28 ups en tres estuarios (Bahía de Jiquilisco, Estero el Tamarindo, Bahía Unión) en estación seca. Al respecto Rainbow (1984), indicó que este comportamiento, se debe al efecto de dilución por las lluvias la cual disminuye la salinidad, así mismo menciona que la disposición de iones metálicos libres está asociados a

cambios de salinidad, es decir que a mayor salinidad en el agua es menor la disponibilidad de metales.

Octchere, *et al.* (2003), confirma esta tendencia ya que reportaron mercurio en rangos de 0.11 a 0.36 mg/kg en los bivalvos *Anadara (Senilia) senilis*, *Perna perna*, *Crassostrea tulipa*, donde dichos resultados se los atribuyeron a la disponibilidad de mercurio el cual puede fluctuar con la salinidad durante los ciclos estacionales, debido a las diferencias hidrológicas como el efecto de las lluvias y la fisiología de los bivalvos. Esto concuerda con los resultados obtenidos de mercurio en este estudio, la salinidad pudo ser un factor importante para que la disposición de mercurio en las muestras analizadas fueron no detectables.

El mercurio en tejido blando de *A. tuberculosa* y *A. similis* no fue detectado en este estudio en ninguno de los ocho sitios de muestreo ni en las 48 muestras analizadas durante las estaciones meteorológicas (transición seca-lluviosa y lluviosa). Contrario a lo detectado en este estudio; Barraza en el 2003, registró la presencia de mercurio en los moluscos *Anadara* spp. en un estudio realizado en la Bahía de Jiquilisco, en los sectores oriental y central de este zona, reportando un promedio de 0.034 mg/kg (peso seco), durante estación lluviosa (Octubre) a pesar que ambos estudios se realizaron en la misma zona, pero no sucedió lo mismos con los sitios de muestreo por lo que este factor pudo haber influido en la acumulación de mercurio en *Anadara* spp. ésta afirmación concuerda con el estudio realizado por Azucena y López (2006), quienes utilizaron a *Anadara* spp. para determinar mercurio en la zona de El Estero de Jaltepeque, en tres sitios de muestreo cuyas concentraciones por sitio variaron en 0.07 mg/kg en el sitio Quislua, 0.1 mg/kg, Santa Cruz y San Juancito con 0.65 mg/kg.

Así mismo, Alkarkhi, *et al.* (2008), reportaron igual situación ya que los niveles de mercurio en tejido de *Anadara granosa* fueron de 1.46 y 1.50 mg/kg en los ríos Juru y Jewawi en Malasia, existiendo variación en cada sitio de muestreo. También Díaz, *et al.* (2008), detectaron mercurio en tejido de *Mesodesma donacium* que oscilaron entre 0.26 y 0.39 mg/kg, en la zona

costera de la bahía de San Antonio en las proximidades a la desembocadura del río Maipo (Quinta Región, Chile).

Otro factor que pudo haber influenciado la presencia de mercurio en *Anadara* spp. en esta investigación fue la estación meteorológica de muestreo ya que así como lo demuestra Azucena y López (2006) en sus resultados en estación seca (Marzo 2005), obtuvieron un promedio de 0.10 mg/kg mientras que en estación lluviosa (Agosto 2005), las concentraciones de mercurio fueron de 0.00 mg/kg, este último coincidiendo parcialmente con lo reportado en la presente investigación en estación lluviosa indicando prácticamente la ausencia de mercurio en *Anadara* spp. además Rojas, *et al.* (2009) reportaron diferencias en la concentración de mercurio en el bivalvo *Perna viridis* en dos estaciones meteorológicas (lluviosa y seca) y en dos zonas de muestreo del Estado Sucre (Venezuela), Chacopata y Río Caribe, cuyos promedios fueron 0.432 y 1.129 mg/kg, los autores le atribuyen este resultado a las variaciones en los proceso de mezcla de agua originada por vientos los cuales generan surgencias.

También, Frías, *et al.* (1999) mencionaron que los principales factores que regulan las concentraciones de metales pesados en los tejidos de los bivalvos son la cantidad de metales en la columna de agua (disueltos y/o particulados) y algunos parámetros biológicos, por lo que se puede decir que estos factores pudieron favorecer la ausencia de mercurio en las muestras analizadas durante este estudio.

La determinación de mercurio en el tejido blando de los bivalvos *Anadara tuberculosa* y *Anadara similis*, procedentes de La Bahía de Jiquilisco no fueron detectados por lo que se puede inferir que los niveles de mercurio en esta investigación fueron muy bajo o estuvieron ausentes con relación a las determinadas por Barraza, (2003). Por tanto, se puede inferir que durante esta investigación la zona de estudio se considera libre de mercurio y no se detectó diferencias en la bioacumulación de este metal en *A. tuberculosa* y *A. similis* en las estaciones meteorológicas transición seca lluviosa y estación lluviosa.

Los grados de concentración de metales en bivalvos pueden variar debido a cambios ó aspectos como variables ambientales, las cuales pueden afectar a la acumulación de metales en bivalvos. Por ejemplo la salinidad, estación del año, hidrodinámica del medio ambiente, disponibilidad de metales, factores oceanográficos, influencia de las lluvias, así mismo, factores biológicos como: madurez sexual, talla, sexo, la especie de molusco utilizado, fisiología de los bivalvos, parte de fitoplancton. También estas variaciones pueden estar influenciadas con las zonas de muestreo y su cercanía a fuentes industriales ó minerales, asentamientos humanos y desembocadura de ríos (Frías, *et al.* 1999; Díaz, *et al.* 2001; Barraza 2003; Octchere, *et al.* 2003; Azucena y López 2006; Díaz, *et al.* 2006; Alkarkhi, *et al.* 2008; Díaz, *et al.* 2008; Rojas, *et al.* 2009).

VIII. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos indican que el mercurio no fue detectado, en tejido blando de *Anadara tuberculosa* y *Anadara similis*, recolectada en la Bahía de Jiquilisco durante las dos estaciones meteorológicas transición seca-lluviosa y lluviosa, tomando en cuenta que la acumulación del mercurio se ve influenciados por diferentes factores y procesos, se puede mencionar que los resultados de este estudio pudieron estar relacionados con tres factores: cambios en el ciclo global y locales del mercurio, cambios climáticos, los cuales afectan las corrientes oceánicas con alteraciones en la disponibilidad de mercurio, las fuentes de mercurio de origen agroindustrial han tenido un cambio en el tipo los de cultivos y fertilizantes y con ello una disminución de mercurio.

Se puede inferir que los registros de salinidad superficial del agua demuestran que el aumento de esta, pudo ser un factor importante para que la disposición de mercurio en las muestras analizadas no fuera detectable.

Los niveles de mercurio en La bahía de Jiquilisco han disminuido al compararlos con el estudio de Barraza, (2003).

La ausencia de Hg en tejido blando de *Anadara tuberculosa* y *A. similis* en este estudio, indica que el consumo de estos bivalvos representa un riesgo muy bajo para intoxicaciones asociadas a este metal, lo cual es beneficioso para la salud humana.

IX RECOMENDACIONES

Dada la importancia tanto ecológica, ambiental, económica y alimenticia que representa el género *A. tuberculosa* y *A. similis* en el país, se recomienda continuar con monitoreos no solo de mercurio, sino también de otros metales y metaloides como plomo, Arsénico, cobre, cromo en áreas marino-costeras del país.

Sería conveniente realizar un monitoreo constante en los mismos sitios de muestreo y en diferentes estaciones meteorológicas del año, con el fin de determinar eventuales variaciones temporales en la distribución de este metal, los cuales servirían para conocer el nivel de calidad ambiental de un sitio en un momento determinado, siendo una herramienta útil para las instituciones pertinentes en la toma de decisiones en la evaluación de riesgo.

Realizar estudios en donde se relacione variables como material suspendido en el agua, sedimento, especie química. Así mismo utilizar otras especies de bivalvos, a fin de conocer las variaciones en las concentraciones de un elemento en una misma estación de muestreo.

La talla del organismo es un factor que no fue considerado en el presente estudio, por lo que se recomienda tomar en cuenta este factor a fin de conocer si existe proporción directa con las concentraciones de mercurio en los bivalvos.

X BIBLIOGRAFÍA

Albert L. A. 2001. Curso básico de toxicología ambiental. Editorial Limusa S. A. de C.V. Grupo Noriega editores. México, D.F. 311 pp.

Alkarkhi A., Norli L. y Easa A. 2008. Assessment of Arsenic and heavy Metal Contents in Cockes (*Anadara granosa*) Using Multivariate Statistical Techniques. Journal of Hazardous Materials 150. 783–789 pp.

Angenaut J. 2000. Diccionario enciclopédico de química. Segunda edición Grupo patria cultural S.A de C. V. México. 568 pp.

Asociación Española de Toxicología, AET. 1995. Glosario de términos toxicológicos. Sevilla, España. 555 pp.

Azucena C. y López C. 2006. Niveles de Arsénico, Mercurio y Plomo en sedimento y Tejido Blando de *Anadara* spp. en EL Estero de Jaltepeque, Departamento de La Paz, El Salvador. Escuela de Biología, Universidad de El Salvador (Tesis de Licenciatura). 109 pp.

Barnes. R. y Ruppert E. 1996. Zoología de los invertebrados. 6ed. Mc Graw-Hill interamericana . México 1114 pp.

Barraza J. 2003. Metales y metaloides en bivalvos comestibles de El Salvador. Presentación Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad de Santiago Compostela, España.

_____. 2008. Monitoreo preliminar de calidad ambiental de La Bahía de Jiquilisco con base a coliformes fecales. Gerencia de Recursos Biológicos, Dirección General de Patrimonio Natural. Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). 7 pp.

- Boening D. 2000. Ecological effect, transport, and fate of Mercury: a general review. Pergamon. Chemosphere. 40. 1335-1351 pp.
- Bryan G., Langston W., Hummerstone L., y Burt G. 1985. A Guide to Assessment of heavy-metal contamination in estuaries using biological Indicators. Mar. Indicators. Mar. Biol. Ass. Uk. Occass. Publ. N°4.
- Campos M. 2007. Determinación de bacterias coliformes fecales en ejemplares de *Protothaca aspérrima* en cuatro ecosistemas estuarinos de la zona oriental de El Salvador. Escuela de Biología, Universidad de El Salvador (Tesis de Licenciatura). 87 pp.
- Carballeira A., Carral E., Puente X., y Villares R. 1997. Estado de conservación de la Costa de Galicia: Nutrientes y Metales Pesados en Sedimento y Organismos intermareales. Universidad de Santiago de Compostela,. España. Imprenta Universitaria, Pavillón de Servicios. Campus Sur. Santiago. 107 pp.
- Carrasquero D. 2006. Mercury contamination of workers of gold processing Centers at El Callao, Venezuela. J. Argent. Chem. Soc. 94: 91-100 pp.
- Chapman P., Dexter R. y Goldstein L. 1987. Development of monitoring programmers to assess the long-term health of aquatic ecosystems: A model from, Pugets Sound, U.S.A. Mar. Poll. Bull. 18:521-527 pp.
- Chouvelon T., Warnau M., Churlanud C., y Bustamante P. 2009. Hg Concentrations and Related Risk Assessments in Coral Reef Crustaceans, molluscs and fish from New Caledonia. Environmental Pollution 157. 331-340 pp.
- Cotsapas L., Zengel S., y Barraza J. 2000. Seas at The Millennium an Environmental Evaluation. Pergamon. Elsevier science capter 34.

- De la Lanza G., S. Hernández, J.L. y Carbajal. 2000. Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación México D.F. 633 pp.
- Díaz O., Encina F., Chuecas L., Becerra J. Cabello J., Figueroa A., y Muñoz F., 2001. Influencia de variables estacionales, espaciales, biológicas y ambientales en la bioacumulación de mercurio total y metilmercurio en *Tagelus dombeii*. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 36(1): 15-29 pp.
- Díaz L., Carrión J., y González B. J. 2006. Estudio de la Contaminación por Hg, Pb, Cd, Zn en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. *Rev. Soc. Quím. Perú*. Vol.72, N°1. 10 pp.
- Díaz S., Encina F., Recabarren E., Del Valle S., Pastene R., Montes S., y Figueroa A., 2008. Estudio de la concentración de arsénico, mercurio, plomo y fenantreno en la macha (*Mesodesma donacium*) implicaciones alimenticias y tóxicas. *Rev. Chil Nutr.* Vol. 35, N°1, Marzo.53-60 pp.
- Domínguez F. 2006. Aplicación de métodos de preconcentración / Determinación de metales pesados en sedimentos y aguas: Membranas líquidas-espectroscopia atómica y voltametría de redisolución. Tesis de Doctorado, Universidad de Cádiz. España. 313 pp.
- Eisler R. 1987. Mercury Hazards to Fish, Wildlife, and Invertebrates: a Synoptic Review. U.S. Fish and Wildlife Service Biological Report 85 1-10 pp.
- Freedman B. 1989. Environmental Ecology, The Impacts of Pollution and Others Stresses on Ecosystem Structure and Function. Academic press, inc 424 pp.
- Frías E., Ortiz A., Osuna L., y Rosso P. 1999. "Heavy Metal in the rock Oyster *Crassostrea iridescens* (Filibranchia: Ostreidae) from Mazatlan, Sinaloa, Mexico". *Revista de Biología Trópic*, 47, 843-849 pp.

- Gil M., Torres A., Harvey M., y Esteves J. 2006. Metales pesados en organismos marinos de la zona costera de la Patagonia argentina continental. *Revista de biología marina y oceanografía* 41(2): 167-176 pp
- Giddings C. 1973. *Chemistry, Man, and Environmental Change*. A Department of Harper & Row, Publishers, Inc. New York. 472 pp.
- Hernández R., López W., y Vásquez J. 2006. El cultivo del camarón marino en la bahía de Jiquilisco, Usulután, El Salvador. Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología.
- Hickman C., Claire W., y Garrison R. 2003. *Principios Integrales de Zoología*. 11 ed. Mc Graw-Hill Interamericana Editoriales. España. 895 pp.
- Iniesta R. y Blanco J. 2005. Bioacumulación de hidrocarburos y metales asociados a vertidos accidentales en especies de interés comercial de Galicia. *Revista Galega dos Recursos Mariños Monografía N° 2*, 200 pp.
- Landrum P. y Fisher S. 1998. Influence of lipids on the bioaccumulation and Trophic transfer of organic contaminants in aquatic organisms. *Lipids in freshwater ecosystems*. New York, Springer-Verlag: 203-234 pp.
- Lewis A. G. 1990. The biological importance of copper. A literature review. Final report INCA project N°223.
- Luoma, S. 1983. Bioavailability of trace metals to aquatic organisms-a review. *Science of the Total Environment* 28: 1-22 pp.
- MacKenzie C. 2001. The fisheries for mangrove cockles, *Anadara* spp. from Mexico to Peru, with descriptions of their habitats and biology, the fishermen's lives, and the effects of shrimp farming. *Marine Fisheries Review*. 63(1): 1-39 pp.

- Majluf P. 2002. Proyecto Estrategia Regional de Biodiversidad para los países del Trópico Andino. Convenio de Cooperación Técnica no reembolsable, ATN/JF-5887/RG CAN-BID. Lima Perú 121 pp.
- Martín M., Osborn P. y Glickstein N., 1981. Toxicity of ten metals to *Crossostrea gigas* and *Mytilus edulis* embryos and cancer magister. Mar.Polluy.Bull. 12(9):305-308 pp.
- Martínez G., Senior W., y Márquez A. 2006. Heavy metal speciation in the Surface water dissolved fraction of the low watershed and plume of the Manzanares River, Sucre State, Venezuela. Cienc. Mar. 32: 229-237 pp.
- Melara V. 2006. Contaminación por Coliformes Fecales en *Anadara similis* y *A. tuberculosa* en los Estuarios Barra de Santiago, Jaltepeque y El Tamarindo. Escuela de Biología, Universidad de El Salvador (Tesis de Licenciatura). 79 pp.
- Merian E. 1991. "Metals and Their Compounds in the Environment". Impreso en la República Federal de Alemania y VCH, Inc. New York, (USA). 1438 pp.
- Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (MARN). 2004. Plan de Manejo y Humedal Bahía de Jiquilisco. San Salvador. 254pp.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 1998. Sampling and Analytical Methods of the National Status and Trends program Mussel watch project 1993-1996. 257 pp.
- Otchere F., Claude R., y Holsbeek L. 2003. Mercury in Bivalves *Anadara (Senilis) senilis*, *perna perna* and *Crassostrea tulipa* from Ghana. Environment. 304. 369-375 pp.

- Pardo G y Sionde E. 2003. Propuesta de Desarrollo Sostenible para el Sector Pesquero Artesanal Del Golfo de Fonseca y la Bahía de Jiquilisco. San Salvador, MARN/AECI. 51-54, 167-352 pp.
- Patty F. 1981. Mercury, Hg. Patty's Industrial Hygiene and Toxicology. New York. Vol.2, 1769-1792 pp.
- Phillips D. 1980. Cuantitative acuatic biological indicators. Their use to monitor trace metal and organochlorine pollution. Applied Science Publ. Ltd. London 488 pp.
- Poulton S. y Raiswell R. 2000. Solid phase associations, oceanic fluxes and anthropogenic perturbation of transition metals in world river particules. Mar. Chem. 72. 17-31 pp.
- Rainbow S. 1984. "The Biology of Heavy Metals in the Sea" marine pollution Bulletin. 21,321-324 pp.
- Rojas N., Lemus M., Martinez G., Ramos Y. y Chung K. 2009. Contenido de mercurio en *Perna viridis* en la costa norte del Estado Sucre, Nota de Investigación Venezuela. Ciencias Marinas 35(1): 91-99 pp.
- Simkiss K. y Taylor M. 1989. Convergence of cellular systems of metal detoxication. Marine Environmental Research. 28 (1-4): 211-214 pp.
- Strongren T. 1982. Effect of heavy metals (Zn, Hg, Cu, Cd, Pd, Ni) on the lenght growth of *Mytilus edulis*. Marine Biology. 72: 69-72 pp.
- The Nature Conservancy, TNC. 2008. Evaluación de ecorregiones marinas en Mesoamérica sitios Prioritarios para la conservación en las ecorregiones Bahía de Panamá, Isla del Coco y Nicoya del Pacifico Tropical Oriental, y en el Caribe de Costa Rica y Panamá. Programa de Ciencias Regional, Región de Mesoamérica y El Caribe. The Nature Conservancy, San José, Costa Rica. 165 pp.

Widenfalk A. 2002. Pesticide bioavailability in aquatic sediments, a review.
Department of Environmental Assessment Swedish University of
Agricultural Sciences. 31 pp.

Referencias de Internet

- [http 1:// www.rae.es/vae.html](http://www.rae.es/vae.html). Real Academia Española. R.A.E.
Diccionario Usual. Abril 2009

ANEXO 1



Imagen 1. Colecta de bivalvos en raíces aéreas de mangle, en la Bahía de Jiquilisco



Imagen 2. Transporte de muestras de bivalvos en bolsas tipo ziploc, desde las estaciones de muestreo.



Imagen 3. Lavado de muestras de bivalvos con agua de grifo, en las instalaciones del Laboratorio de calidad del agua del Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).



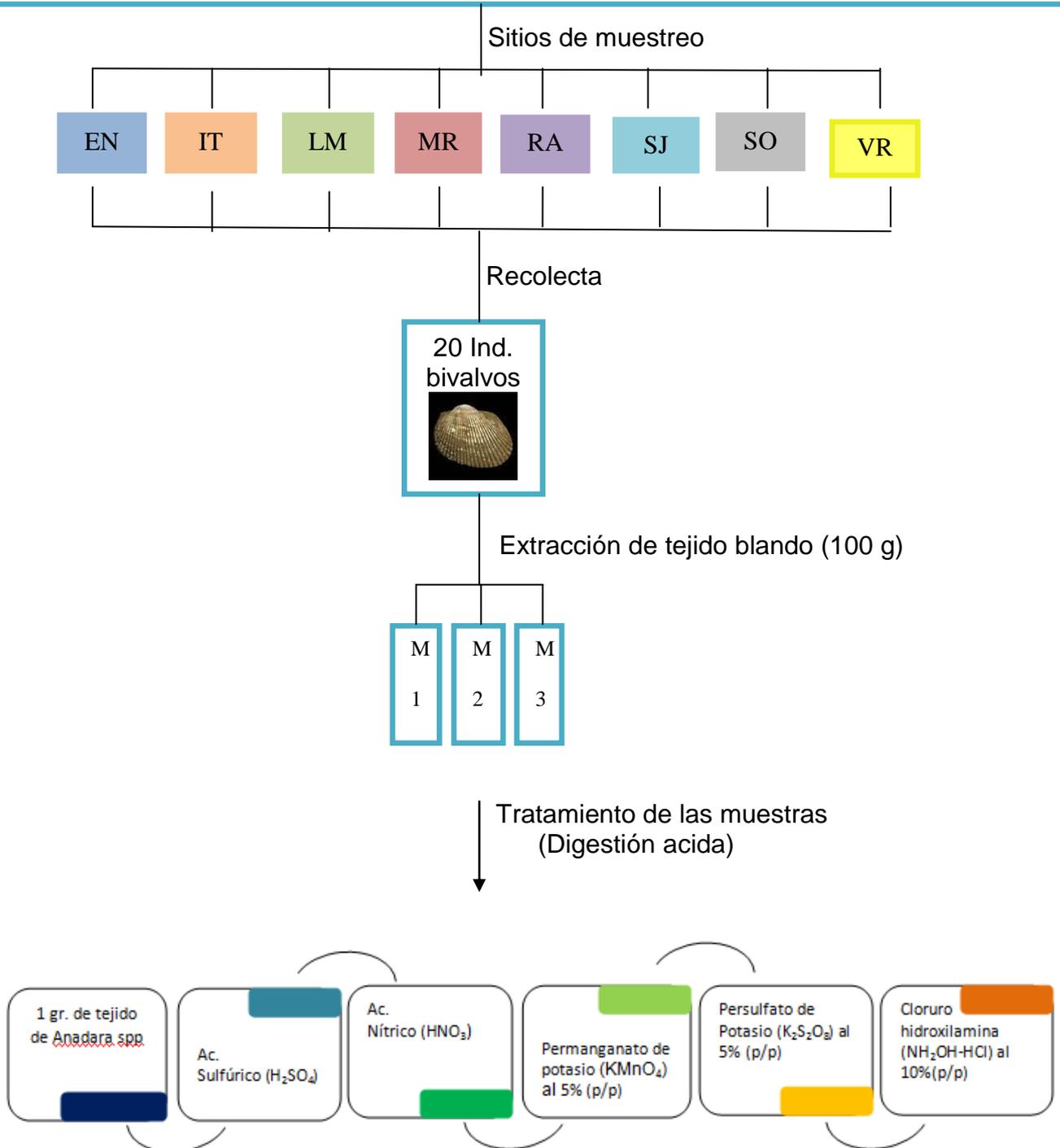
Imagen 4. Extracción de tejido de bivalvos con cuchillo plástico en las instalaciones del laboratorio de calidad del agua del Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).



Imagen 5. Entrega de muestras de tejido blando de bivalvos en el Laboratorio de calidad FUSADES

ANEXO 2

Protocolo de recolección, extracción y tratamiento del tejido blando de bivalvos (*Anadara tuberculosa* y *Anadara similis*) procedentes de la bahía de Jiquilisco en: estación transición seca-lluviosa y estación lluviosa.



ANEXO 3

Resultado de análisis "Determinación de mercurio en *A. tuberculosa* y *A. similis*" en estación transición seca-lluviosa y estación lluviosa, en ocho sitios de muestreo en la bahía de Jiquilisco, realizado en el Laboratorio de Calidad Integral de la Fundación Salvadoreña para el Desarrollo Económico y Social (FUSADES)



FUNDACION SALVADOREÑA PARA EL DESARROLLO ECONOMICO Y SOCIAL

Laboratorio de Calidad Integral



UNIDAD DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS
REPORTE DE ANÁLISIS VARIOS
MUESTRA 09053569 - 01

Pag. 1 / 1

DATOS GENERALES

Muestra: CONCHAS IT1

Nombre: MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y REC

Propiedad: *N/A

Dirección: SAN SALVADOR

Teléfono: 2267-9309 Fax: 2267-9326

FECHAS

Recibido : 15/05/2009

Análisis : 15/05/2009

Reporte : 15/06/2009

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	Unidades	Método	Referencia
C139 Mercurio	0.00	mg/Kg	Espectrofotometría AA* GH* Vap. Frio	SOP-0006 NOAA

OBSERVACIONES

Jefe Unidad Físico Químico
Líc. Ana María de Umaña



Nota: Esta muestra FUE tomada por el Cliente.

El informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita del Laboratorio.

Los resultados corresponden solamente a la muestra analizada en el Laboratorio.

No se recibirán reclamos después de 45 días del ingreso de la muestra.

Urb. y Blvd. Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, C. A. e-mail: laboratorio@fusades.org.sv
Tel. (503) 2248-5681 Fax: (503) 2248-5669, sitio web: www.fusades.org.sv ó www.fusadeslab.org.sv

UN PROGRAMA DE LA FUNDACION SALVADOREÑA PARA EL DESARROLLO ECONOMICO Y SOCIAL