

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN
CENTRO DE ESTUDIOS DEL MAR Y ACUICULTURA
PROGRAMA UNIVERSITARIO DE INVESTIGACIÓN EN RECURSOS
NATURALES Y AMBIENTE -PUIRNA-**



**“DETERMINACIÓN DE MERCURIO (Hg) EN CARNE DE TIBURÓN *Sphyrna lewini* Y
Carcharhinus falciformis, EN EL PACIFICO DE GUATEMALA”**

**GUSTAVO ADOLFO ELIAS OGALDEZ
COORDINADOR DEL PROYECTO**

Enero 2015

Universidad de San Carlos de Guatemala
Dirección General de Investigación
Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente

Informe Final

“Determinación de mercurio (Hg) en carne de tiburón *Sphyrna lewini* y *Cacharhinus falciformis*,
en el Pacífico de Guatemala”

Equipo de investigación

Ing. Agr. Gustavo Adolfo Elías Ogáldez

Coordinador de Proyecto

M.Sc. Adrián Mauricio Castro López

Investigador

T.A. Juan Carlos Tejeda Mazariegos

Auxiliar de Investigación

Auxiliar de Investigación Ad Honorem

Br. Alva Judith Montiel Montenegro

Enero 2015

Instituto de Investigaciones Hidrobiológicas
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura

Agradecimientos:

Al Ing. Pedro Julio García Chacón, coordinador del Instituto de Investigaciones Hidrobiológicas de CEMA (Primer semestre 2014).

Al Ing. Saúl Guerra, coordinador del Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente

Al M.Sc. Erick Villagrán Colón, Director del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura (Primer semestre 2014).

CONTENIDO

CONTENIDO GENERAL	i
ÍNDICE DE FIGURAS	ii
ÍNDICE DE TABLAS	ii
ÍNDICE DE ANEXOS	iii
TÍTULO DEL PROYECTO	iv
1. RESUMEN	iv
2. ABSTRACT	v
3. INTRODUCCIÓN	1
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
4.1 Descripción del problema	3
4.2 Definición del problema (preguntas de investigación)	3
4.3 Justificación	3
5. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	5
5.1 Marco teórico	5
5.2 Estado del arte	12
6. OBJETIVOS	14
7. HIPÓTESIS	14
8. METODOLOGÍA	15
8.1 Ubicación geográfica	15
8.2 Método, técnicas, procedimientos e instrumentos	16
8.3 Metodología de análisis de información	17
8.4 Estrategia metodológica	17
9. RESULTADOS	19
9.1 Matriz de resultados	24
10. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	25
11. ACTIVIDADES DE GESTIÓN, VINCULACIÓN Y DIVULGACIÓN	27
12. CONCLUSIONES	28
13. RECOMENDACIONES	29
14. BIBLIOGRAFÍA	30
15. ANEXOS	34

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Litoral Pacífico de Guatemala, ubicados los sitios de muestreo	16
2. Representación del porcentaje de muestras de <i>S. lewini</i> que sobrepasan El LMP de mercurio.	20
3. Representación del porcentaje de muestras de <i>C. falciformis</i> que sobrepasaron el LMP de mercurio.	21
4. Concentración promedio de mercurio presente en <i>S. lewini</i> durante los meses de estudio.	21
5. Distribución de la concentración de mercurio presente en <i>S. lewini</i> y <i>C. falciformis</i> en función del peso de los organismos muestreados.	22
6. Comportamiento de la concentración de mercurio en los meses de muestreo para <i>S. lewini</i> y <i>C. falciformis</i> .	23

ÍNDICE DE TABLAS

1A Base de datos resultados para mercurio y su comparación con los límites máximos permisibles de la norma europea (1 mg/kg), para <i>S. lewini</i> y <i>C. falciformis</i>	32
2. Promedio y varianza de las concentraciones de mercurio (mg/kg), para cada una de las especies muestreadas	19
3. Resultados del análisis de mercurio en las muestras de laboratorio para <i>S. lewini</i> .	19
4. Resultados de los análisis de laboratorio para la especie <i>C. falciformis</i>	20
5. Análisis de Spearman para determinar correlación en los datos de concentración de mercurio en musculo de tiburón vrs peso de tiburón.	22
6. Matriz de resultados de la investigación.	24

ÍNDICE DE ANEXOS

1. Medición de ejemplar de <i>C. falciformis</i> en Buena Vista, Escuintla	35
2. Ejemplar de neonato de <i>S. lewini</i> .	35
3. Identificación de especies de interés durante muestro.	36
4. Colecta y preservación de muestras de musculatura de tiburón obtenidas durante muestreos.	36
5. Entrega de muestras de musculatura de tiburón obtenidas a representante de laboratorio INLASA, para su respectivo análisis.	37
6. Ejemplar macho, de <i>S. lewini</i> durante toma de muestras.	37
7. Selección de la musculatura para extraer muestra, según metodología.	38
8. Muestras de musculatura listas para su envío al laboratorio.	38
9. Toma de muestras, en el “Ranchón”. Puerto de San José.	39

Determinación de mercurio (Hg) en carne de tiburón *Sphyrna lewini* y *Carcharhinus falciformis*, en el pacífico guatemalteco

1. RESUMEN

El objetivo del estudio fue determinar la presencia de mercurio en muestras de carne de dos especies de tiburón: *Sphyrna lewini* y *Carcharhinus falciformis*, acopiados por la pesca artesanal en dos puntos de la costa pacífica de Guatemala. Con el análisis de la información se verificó el estado de inocuidad de los organismos respecto a las concentraciones de mercurio, utilizando como base la normativa europea. Se recolectaron un total de 66 muestras, durante 10 meses, las cuales fueron analizadas utilizando la técnica de espectrofotometría de absorción atómica. Posteriormente se realizó un análisis descriptivo y se aplicó la ecuación del Índice de Peligro Sistémico IP.

El análisis de resultados indicó que 16 organismos (73 %) de *S. lewini*, presentaron concentraciones de mercurio superiores al límite máximo permisible de acuerdo a la normativa europea (1 mg/kg de peso fresco), aunque el índice de peligro sistémico ($1.626857143 \times 10^{-4}$) demostró que no existe riesgo potencial para la salud de los consumidores, además que esta especie no muestra correlación significativa ($p=0.292$), entre el tamaño del organismos y la concentración de mercurio. Únicamente 4 organismos (9%) de la especie *Carcharhinus falciformis*, presentaron concentraciones de mercurio arriba del límite máximo permisible de acuerdo a la normativa europea, y al calcular el IP ($4.345714286 \times 10^{-5}$), indicó que el músculo de dicha especie puede consumirse sin ningún riesgo potencial para las personas.

Como conclusión de la investigación se determinó que la especie *S. lewini* fue la que presentó la mayor concentración de mercurio en el músculo, con un alto porcentaje de frecuencias arriba del LMP por la normativa europea, mientras que la especie *C. falciformis* presento bajas frecuencias de contaminación en relación a dicha norma.

2. ABSTRACT

The objective of the study was determine the presence of mercury in samples of meat corresponding of two shark species: *Sphyrna lewini* and *Carcharhinus falciformis*, collected by artisanal fisheries in two points of the Pacific coast of Guatemala. With the analysis of information safety status of sharks for concentrations of mercury was verified, using as a basis the European regulations. We collected a total of 66 samples, for 10 months, these samples were analyzed using the technique of atomic absorption spectrophotometry. After we performed a descriptive analysis and the equation of IP Systemic Risk Index it was applied.

The analysis results indicated that 16 organisms (73%) of *S. lewini*, had concentrations above the permissible limit according to European standards (1 mg / kg wet weight) mercury, although the rate of systemic risk ($1.626857143 \times 10^{-4}$) it proved there is not a potential health risk to consumers, besides this species shows no significant correlation ($\rho = 0.292$), between the size of organisms and the concentration of mercury. Only four organisms (9%) of the species *C. falciformis* presented mercury concentrations above the permissible limit according to European standards, and the IP ($4.345714286 \times 10^{-5}$) calculating said the muscle of this species can be eaten without any risk to consumers.

As a conclusion of the research it was determined that *S. lewini* was the species that presented the highest concentration of mercury in muscle, with a high percentage of frequencies above the maximum allowable limits (MAL) by the european regulations, while the species *C. falciformis* showed low pollution frequencies relative to those regulations.

3. INTRODUCCION

Los océanos presentan serios problemas de impacto ambiental, que tienen su origen en diversas fuentes. Los tiburones son depredadores ubicados en el extremo de las cadenas tróficas, tanto costeras como oceánicas, por lo tanto sus tejidos permiten advertir niveles tóxicos de metales pesados (Galván, Polo, Barrera, Escobar, Torres, 2015).

La fuente más importante de mercurio en la dieta humana son los peces, el 80% de este elemento se encuentra en forma orgánica, principalmente metilmercurio (Hurtado, R. 2010). Villarejo (2003), indica que en ciertas poblaciones que basan su alimentación en el consumo de peces y otros productos obtenidos del mar, pueden llegar a sobrepasar la ingesta máxima tolerable por semana de mercurio, fijada en 300 µg de mercurio total por persona, y en 200 µg cuando se trata de metilmercurio. Casi el 100% del mercurio que se bioacumula en peces depredadores como los tiburones, es metilmercurio, se han obtenidos concentraciones de hasta 3 mg/kg (Velasco, Echavarria, Pérez, Villanueva, 2001).

Para Tejeda (2008), el mercurio es un elemento con gran estabilidad química ante los procesos de biodegradación, por lo que los peces son incapaces de metabolizarlo, generándose una contaminación por bioacumulación, llegando a alcanzar niveles altos de toxicidad ya que se absorben muy eficientemente a través de las membranas biológicas.

El contenido máximo de mercurio en productos de la pesca según normativa europea, se establece en 0,5 mg/kg de peso fresco, salvo para determinadas especies, como el bonito y tiburones que se permite 1 mg/kg de peso fresco (World Health Organization, 1991).

Holmes, James, Levy (2009), reportan que todas las clases de peces incluyendo las especies exóticas, entre ellas los tiburones presentan niveles de mercurio arriba de 1.52 mg/kg.

Los tiburones están en la cúspide de las cadenas alimenticias de los ecosistemas oceánicos (Kiszka, Aubail, Hussey, Heithanus, Caurant, Bustamante, 2015), siendo susceptibles a la bioacumulación.

La investigación tuvo como finalidad, determinar los niveles de mercurio presentes en el músculo de tiburón *Sphyrna lewini* y *Cacharhinus falciformis*, establecer la correlación entre el

tamaño de captura de los organismos y la concentración de mercurio y por último determinar el Índice de Peligro Sistémico IP de las muestras obtenidas.

Las especies *C. falciformis* y *S. lewini*, fueron consideradas en la investigación, ya que Ruiz, y López, (1999), las consideran como especies de tiburón de importancia comercial en Guatemala.

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

4.1 Descripción del problema

En nuestro país, se ha hecho necesario investigar sobre las concentraciones y distribución de contaminantes en peces debido a los pocos estudios que existen, especialmente el potente neurotóxico como el metilmercurio (MeHg), el cual normalmente constituye por lo menos el 90 % del mercurio total (THg) encontrado en peces. El metilmercurio se biomagnifica a través de las cadenas alimenticias; las concentraciones en los peces depredadores puede estar tres veces más que el agua donde habitan, por lo tanto es importante determinar las cantidades de THg en peces en lugares que potencialmente reciben descargas de contaminantes industriales y caseros como sucede en el litoral del Pacífico.

4.2 Definición del problema

A continuación se presentan las preguntas de investigación que se plantearon al inicio de la investigación:

¿En qué estado de inocuidad en relación al mercurio, se encontrará la carne de las especies *S. lewini* y *C. falciformis* en el Pacífico Guatemalteco?

¿La carne de tiburón que se comercializa en los puertos de San José e Iztapa se encuentra libre de concentraciones de mercurio?

4.3 Justificación

Algunos metales pesados entre ellos el plomo y mercurio están considerados como uno de los contaminantes más peligrosos que existen. Otros, como cobre, zinc y hierro, si bien son esenciales para los organismos vivos, también resultan tóxicos cuando se superan ciertas concentraciones.

Debido a que existen pocos estudios sobre las concentraciones y distribución de contaminantes en peces, se realizó este tipo de investigación, utilizando mercurio total (THg), ya que suele encontrarse en los tejidos e hígado de peces, especialmente en los que habitan en lugares que

potencialmente reciben descargas de contaminantes industriales y caseros como sucede en el litoral del Pacífico de Guatemala.

El monitoreo constante de las concentraciones de mercurio y plomo en peces de consumo humano, debe ser una prioridad para establecer la inocuidad de los productos pesqueros, y prevenir de esta manera los daños irreversibles que pueden producir potencialmente a las poblaciones más susceptibles, tal es el caso de mujeres embarazadas y niños.

Las especies *S. lewini* y *C. falciformis* conocidos comúnmente como tiburón cornuda y tiburón sedoso respectivamente, fueron las especies privilegiadas en esta investigación por ser organismos de consumo masivo y de hábito carnívoros, por lo que tienen alta probabilidad de contener concentraciones significativas de metales pesados en su músculo (carne), en este caso específico el mercurio.

La información generada aportará conocimientos sobre la dinámica de la contaminación de mercurio en las dos especies de tiburón monitoreadas en el Pacífico de Guatemala, y permitirá obtener certeza de la inocuidad de los productos de la pesca de dichos organismos, además, esta información es de interés mundial, por ser los tiburones excelentes indicadores biológicos de contaminantes de los mares, estos resultados pueden contribuir a conocer el estado de salud de los mismos.

5. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

5.1. MARCO TEÓRICO

Según la FAO (2009), el país se divide en cuatro regiones hidrogeológicas: llanuras aluviales de la Costa del Pacífico, Altiplano Volcánico, Tierras Altas Cristalinas y Sedimentarias Septentrionales. Los acuíferos más adecuados para su explotación son los de las llanuras aluviales de la Planicie Costera Sur del Pacífico y los valles del altiplano volcánico de la Sierra Madre. La recarga anual renovable de agua subterránea, estimada en base a índices de infiltración, es de 33,7 km³. La actividad pesquera en las aguas oceánicas de Guatemala se efectúa esencialmente en las plataformas continentales de ambos océanos; en el Pacífico, en los primeros 14,700 km² y en el Atlántico en los primeros 2,100 km². Se puede asegurar que el 80% de las embarcaciones en el Océano Pacífico, tanto del sector artesanal como del industrial, se concentran en las primeras 12 millas náuticas de las 200 millas de la Zona Económica Exclusiva –ZEE. En el Océano Pacífico se realiza pesca artesanal, pesca de pequeña, mediana y gran escala.

Especies de tiburones a estudiar:

a. Carcharhinus falciformis

Clasificación científica

Reino animalia, filo chordata, sub-filo vertebrata, clase chondrichthyes, sub-clase elasmobranchii, orden carcharhiniformes, familia carcharhinidae, género carcharhinus, *Carcharhinus falciformis* (naturalista, s.f.)

C falciformis, es la especie que sostiene las pesquerías de tiburón en el Pacífico de Guatemala. Representa una especie ampliamente distribuida en aguas tropicales y sub-tropicales (Castro, 1983). Es común en las capturas de la flota artesanal, entre los 60 y 125 millas.

Esta especie puede alcanzar hasta 330 cm de longitud (Castro, 1983), es vivípara, el número de crías varía entre 2 y 14, y alcanzan tallas de nacimiento entre 57 y 87 cm (Fischer et al. 1995).

b. *Sphyrna lewini* (E. Griffith & C.H. Smith 1834)

Clasificación científica: Reino: Animalia. Filo: Chordata. Clase: Chondrichthyes. Subclase: Elasmobranchii. Orden: Carcharhiniformes. Familia: Sphyrnidae. Género: *Sphyrna*. Especie: *S. lewini*.

El tiburón martillo común o cornuda común habita en aguas tropicales de todo el mundo. Es una especie en peligro. Posee cabeza moderadamente expandida, ancho de 24.0 al 30.2 % de la longitud total (casi 26%). Su margen anterior posee ondulaciones poco profundas que forman tres lóbulos, la ranura narinal no se extiende a la parte media del margen anterior de la cabeza. Dientes triangulares, de base ondulada, bordes lisos, excepto en ejemplares de más de 170 cm, donde aparece una débil e irregular aserración. Formula dental 15/15 o 16-0/16-1, excluyendo los dientes sinficiales. Primera aleta dorsal recta no inclinada hacia atrás, su margen libre nunca llega al origen de las pélvicas, segunda aleta dorsal menor que la anal, base de la aleta anal más larga que la base de la segunda dorsal, pedúnculo caudal con fosa precaudal en forma de media luna en la parte dorsal, Puntas de las aletas pectorales y de la dorsal negras, dorso grisáceo y blanco amarillento en la región ventral y flancos oscurecidos. (Anislado, 2000). Es una especie de hábitos alimenticios típicamente depredadora (Montaño, Figueroa, Magaña, 2009).

Contaminación por metales pesados.

Sadiq (1992), indica que los metales pesados presentan concentraciones relativamente elevadas en los sedimentos superficiales de las zonas costeras alteradas por el hombre y guardan una relación de su concentración con el tamaño de las partículas y la cantidad de materia orgánica sedimentarias, alterando el equilibrio ecológico y biogeoquímico del ecosistema. En tal sentido, la determinación de metales en los sedimentos es un buen indicador del origen de los contaminantes en el medio y de los impactos que éstos pueden producir en la biota marina.

De acuerdo a Perfil ambiental de Guatemala (2004), prácticamente todos los ríos de la vertiente del Pacífico se encuentran altamente contaminados por los desechos producidos por la agricultura intensiva (pesticidas y fertilizantes), la actividad agroindustrial (pulpa de café, mieles de caña) y desechos urbanos (aguas negras y otros desechos domésticos). Estas aguas son las que alimentan las zonas estuarinas en donde se ubican los bosques del manglar del Pacífico.

Los nutrimentos y otras sustancias de desecho contenidas en el agua de desperdicio, frecuentemente estimulan el crecimiento de algunas plantas y pueden causar grandes cambios en la composición y abundancia de las especies marinas y del estuario, incluyendo la pérdida de algunas especies sensibles.

Mercurio

Elemento químico, símbolo Hg, número atómico 80 y peso atómico 200.59 es un líquido blanco plateado a temperatura ambiente (punto de fusión -38.4°C o -37.46°F); ebulle a 357°C (675.05°F) a presión atmosférica. Es un metal noble, soluble únicamente en soluciones oxidantes. El mercurio sólido es tan suave como el plomo. El metal y sus compuestos son muy tóxicos (Lenntech, 2008). El mercurio se genera de manera natural en el medio ambiente y se da en una gran variedad de formas. Al igual que el plomo y el cadmio, el mercurio es un elemento constitutivo de la tierra, un metal pesado. En su forma pura se le conoce como mercurio “elemental” o “metálico” (representado también como Hg(0) o Hg(0)). Rara vez se le encuentra en su forma pura, como metal líquido; es más común en compuestos y sales inorgánicas. El mercurio puede enlazarse con otros compuestos como mercurio monovalente o divalente (representado como Hg(I) y Hg(II) o Hg²⁺, respectivamente). A partir del Hg(II) se pueden formar muchos compuestos orgánicos e inorgánicos de mercurio (PNUMA, 2002).

Ciclos del mercurio

Ciclo natural del mercurio: Es un ciclo atmosférico, y que la principal incorporación del mercurio a la atmósfera es debida al vulcanismo y al proceso de desgasificación del mercurio metal, por sublimación. A partir de la atmósfera, o bien se inhala directamente, o se incorpora a las cadenas tróficas, mediante el ciclo del agua (Escriba, et al., 2007).

Ciclo Biogeoquímico del mercurio: La volatilidad de este metal es muy importante, en la atmósfera está ampliamente distribuido en forma de gas y partículas. Entre el 90-95 % de este elemento es gaseoso, incluyendo vapor de mercurio (Hg⁰), compuestos inorgánicos (cloruros y óxidos) y alquilmercurio (principalmente CH₃HgCl) (Olivero y Johnson, 2002). Casi todo el mercurio inorgánico disuelto en aguas oceánicas existe en forma disociada como ion [HgCl₂]⁻. En las fuentes de agua continentales, sin embargo, donde hay poco cloruro el mercurio puede existir como Hg(OH)₂ (Escriba, et al., 2007).

Ciclo antropogénico del mercurio: El mercurio, puede entrar en un ciclo atmosférico, por los vertidos industriales atmosféricos o por la combustión de carbones, desde donde se introduce en las cadenas tróficas por el ciclo del agua, o bien se inhala directamente. También entra directamente en el ciclo del agua, mediante el vertido de residuos a las aguas de los ríos y mares, y a través de vertidos industriales o domésticos (alcantarillado). Por último, debido al uso agrícola del mercurio, está presente como contaminante del suelo, desde donde se incorpora a las cadenas tróficas (Escriba, et al., 2007).

Ciclo de biotransformación: El mercurio es biotransformado, en especial en el agua de los ríos por microorganismos, e incorporado a las cadenas tróficas como metilmercurio, muy tóxico. En la atmósfera, la especie predominante es la de Hg^{2+} (mercurio iónica), formada a partir de otras especies de mercurio, como el dimetilmercurio, el HgO (óxido mercúrico) o el propio mercurio (Hg), en diferentes procesos químicos; mientras que en el agua, se biotransforma a metilmercurio (Escriba, et al., 2007).

Efectos del mercurio sobre la salud.

El mercurio tiene un número de efectos sobre los humanos, que pueden ser todos simplificados en las siguientes principalmente: a) daño al sistema nervioso, b) daño a las funciones del cerebro, c) daño al ADN y cromosomas, d) reacciones alérgicas, irritación de la piel, cansancio, y dolor de cabeza y e) efectos negativos en la reproducción, daño en el esperma, defectos de nacimientos y abortos.

El daño a las funciones del cerebro puede causar la degradación de la habilidad para aprender, cambios en la personalidad, temblores, cambios en la visión, sordera, incoordinación de músculos y pérdida de la memoria. Daño en el cromosoma y es conocido que causa mongolismo (Lenntech 2008).

Toxicología

La toxicidad del mercurio depende de su forma química y, por lo tanto, los síntomas y signos varían según se trate de exposición al mercurio elemental, a los compuestos inorgánicos de mercurio, o a los compuestos orgánicos de mercurio (en particular los compuestos de alquilvercurio como sales de metilmercurio y etilmercurio, y el dimetilmercurio). Las fuentes de exposición también varían notablemente de una a otra forma de mercurio. En cuanto a los

compuestos de alquilvercurio, de los cuales el metilvercurio es, con mucho, el más importante, la fuente de exposición más significativa es la dieta, particularmente la dieta a base de pescados y mariscos. En el caso del vapor de mercurio elemental, la fuente más importante para la población en general son las amalgamas dentales, pero a veces la exposición en el ambiente de trabajo puede ser muchas veces mayor. En lo que respecta a compuestos inorgánicos de mercurio, los alimentos constituyen la fuente más importante para la mayoría de la gente. Sin embargo, para ciertos segmentos de la población, el uso de cremas y jabones a base de mercurio para aclarar la piel, y el uso de mercurio con propósitos culturales/rituales o en medicina tradicional, también puede conducir a la exposición a mercurio inorgánico o elemental. (PNUMA, 2002).

Acumulación de mercurio en las redes alimentarias.

Un factor muy importante de los efectos del mercurio en el medio ambiente es su capacidad para acumularse en organismos y ascender por la cadena alimentaria. Hasta cierto punto, todas las formas de mercurio pueden llegar a acumularse, pero el metilvercurio se absorbe y acumula más que otras formas.

El mercurio es muy tóxico para la salud humana y animales. El mercurio es un residuo peligroso que se genera de las compañías manufactureras de aparatos eléctricos, de producción farmacéuticos, pinturas, plásticos, y baterías de mercurio. El mercurio es también usado en la producción catalítica de cloruro de vinil y uretano, y el 40 % de metales contenidos en los pesticidas. El mercurio se considera como un tóxico sistemático. A diferencia del arsénico las formas orgánicas del mercurio (metilvercurio) son más tóxicas que las inorgánicas (Capbell et al 2003).

El mercurio inorgánico también puede ser absorbido pero por lo general en menores cantidades y con menor eficiencia que el metilvercurio. La biomagnificación del mercurio es lo que más incide en los efectos para animales y seres humanos. Al parecer, los peces adhieren con fuerza el metilvercurio; casi el 100% del mercurio que se bioacumula en peces depredadores es metilvercurio. La mayor parte del metilvercurio en tejidos de peces forma enlaces covalentes con grupos sulfhidrilo proteínico, con lo que la vida media de eliminación resulta larga (aproximadamente de dos años). Como consecuencia, se genera un enriquecimiento selectivo de

metilmercurio (en comparación con el mercurio inorgánico) cuando se pasa de un nivel trófico al siguiente nivel trófico superior.

Tejeda, C. (2008), el mercurio es un elemento con gran estabilidad química ante los procesos de biodegradación, por lo que los peces son incapaces de metabolizarlo, generándose una contaminación por bioacumulación, llegando a alcanzar niveles altos de toxicidad ya que se absorben muy eficientemente a través de las membranas biológicas.

Mercurio en peces.

En comparación con otros compuestos de mercurio, la eliminación del metilmercurio en peces es muy lenta. En concentraciones ambientales constantes, las concentraciones de mercurio en peces de determinada especie tienden a aumentar con la edad, como consecuencia de la lenta eliminación del metilmercurio y una mayor ingesta debido a los desplazamientos en los niveles tróficos que suele haber a medida que el pez va creciendo (come cada vez más peces, y las presas son más grandes). Por eso, es común que los peces más viejos tengan en sus tejidos concentraciones de mercurio más altas que los peces más jóvenes de la misma especie.

Las concentraciones más bajas de mercurio se encuentran en peces pequeños no depredadores y pueden aumentar varias veces conforme se asciende en la cadena alimentaria. Además de la concentración en alimentos, existen otros factores que inciden en la bioacumulación del mercurio. Son de capital importancia los índices de metilación y desmetilación por efecto de las bacterias metiladoras de mercurio (ej., reductores de sulfato). Cuando todos estos factores se combinan, el índice de metilación neta puede influir mucho en la cantidad de metilmercurio que se produce y que puede ser acumulado y retenido por organismos acuáticos.

La fuente más importante de mercurio en la dieta humana son los peces, en el cual el 80% de este elemento se encuentra en forma orgánica (principalmente metilmercurio). Así, se ha constatado, que en ciertas poblaciones que basan su alimentación en el consumo de peces y otros productos obtenidos del mar puede llegar a sobrepasarse la ingesta máxima tolerable por semana de mercurio, fijada en 300 µg de mercurio total por persona, y en 200 µg cuando se trata de metilmercurio (Villarejo, 2003).

El contenido máximo de mercurio en los alimentos se fija en el reglamento europeo solo para productos de la pesca y se establece en 0,5 mg/kg de peso fresco, salvo para determinadas

especies, como el bonito y otros, para las que se permite 1 mg/kg de peso fresco (WHOWMEAHC 86, 1989).

Espectroscopía de Absorción Atómica.

La absorción atómica (AA) consiste en la medición de especies atómicas por su absorción a una longitud de onda particular. Esta técnica se emplea en la determinación cuantitativa de metales en disolución y se basa en la absorción de radiación generada en una lámpara, que contiene el propio metal sometido a estudio, cuando es atomizada la disolución problema que contiene dicho metal. Es una técnica muy empleada por su sencillez de manejo y por la cantidad de elementos que puede detectar.

La absorción es proporcional a la concentración de átomos libres en la llama, dado por la ley de Beer que indica que la concentración de la sustancia es directamente proporcional a la cantidad de luz absorbida o inversamente proporcional al logaritmo de la luz transmitida. Existen tres casos en que pueden producirse desviaciones de la ley de Beer: absorción simultánea a varias longitudes de onda, absorción de luz por otras especies y transmisión de luz por otros mecanismos. Estrictamente hablando, el coeficiente de absorción (K) es diferente para cada longitud de onda de la luz. A menos que dicho coeficiente se mantenga constante en todo el intervalo de longitud de onda utilizada, no se cumplirá la ley de Beer.

En las diversas técnicas de AA que se utilizan, se produce la absorción de energía de longitud de onda adecuada y una cuantificación similar por el sistema óptico y electrónico del espectrómetro al que se encuentra adosado el accesorio correspondiente, o sea nebulizador / quemador en llama, horno de grafito ó generador de hidruros / vapor frío. Permite analizar cualquier muestra que se encuentre en disolución o que mediante un método u otro sea factible de disolverse. Al trabajar con niveles de detección en el orden de las ppb ($\mu\text{g/l}$) es imprescindible una escrupulosa descontaminación de todo el material empleado y un extremo cuidado de la pulcritud analítica en todos los aspectos del proceso analítico (LTA, 2008).

5.2. ESTADO DEL ARTE

En el 2011, la Agencia Española de Seguridad Alimentaria (ASEAN), recomendó restringir el consumo de pescados emperador, atún rojo y tiburón, debido a la elevada cantidad de mercurio que presentaban estos peces, todos ellos grandes especies migratorias que retienen el mercurio que ingieren de sus presas, ya que todo el mercurio que presentan todos los organismos que consumen pasa y se queda en estas especies (Torija, 2011).

De Gregory (1995), realizó una investigación en Chile sobre el tratamiento de muestras de origen marino para el análisis de metales traza, utilizando muestras de origen marino, moluscos y sedimentos para determinar el número de metales traza mediante el uso de las técnicas de voltametría de resolución anódica y la de absorción atómica con horno de grafito.

En el 2000, Ramos, et al., en Bogotá, Colombia realizaron un estudio sobre los niveles de contaminación por metil mercurio en la región de la Mojana“, cuyos resultados fueron alarmantes debido a un aumento significativo en los niveles de mercurio indicando ya problemas toxicológicos del metal.

En Argentina, Valiente, et al (2002), con los resultados de su investigación sobre la optimización de parámetros para la determinación de mercurio total en pescado, usando MW-CV-FI-AAS, indicaron que los factores más importantes que influyen en la acumulación de mercurio en organismos de agua dulce y salada son: 1) el tamaño y la edad de los organismos, 2) la concentración de mercurio y su especiación en aguas y alimentos, 3) la forma en que el mercurio se transfiere del agua a los sedimentos y al alimento, y 4) factores medioambientales específicos como la temperatura, pH, concentración de materia orgánica disuelta y turbidez.

El mercurio es un elemento químico que se cataloga, junto a otros elementos como el plomo y el cadmio, como metal pesado debido a su elevada densidad, peso atómico y toxicidad. Aunque el mercurio se encuentra naturalmente en el ambiente, se libera principalmente por actividades humanas (Green Facts, 2004).

El mercurio es uno de los tóxicos mejor estudiados en relación a la salud y el ambiente, por lo que desde hace mucho tiempo se lo considera un contaminante universal. Sin embargo hay algunos vacíos sobre su ciclo de vida, manejo y liberación (PNUMA Productos Químicos, 2002).

Existen pocos antecedentes del estudio de metales pesados en peces de Guatemala, la mayoría de trabajos, están relacionados a peces de agua dulce tales como los trabajos de: Elías (2008), García (1997), Kestler (1977).

Ramos, et al, (1979) realizaron una investigación sobre los Contaminación de peces por mercurio en Guatemala“, la cual marcó un antecedente y entre sus recomendaciones está la de hacer un análisis exploratorio cada cierto tiempo para verificar tanto la cantidad de mercurio como que se realice en distintas especies por separado.

De acuerdo a Ramírez (1984), las costas por influencia de los ríos, constituyen uno de los ecosistemas más sensibles a ser contaminados, ya que los metales pesados, al entrar en contacto con la zona marina, sufren procesos que junto con algunos factores ambientales, permiten su acumulación en los sedimentos. La biodisponibilidad de metales pesados tiene una acción directa sobre algunas especies acuáticas, muchas de las cuales acumulan altas concentraciones con efectos crónicos en sus poblaciones.

Escriba, Soto, García, (2007), realizaron una investigación sobre las concentraciones de mercurio, presentes en la carne de tiburón provenientes de las costas del Atlántico y Pacífico de Guatemala, llegando a la conclusión de que los niveles encontrados de mercurio, fueron menores a los límites permisibles en la Referencia FAO/WHO – EPA.

6. OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

Establecer la inocuidad de la carne de dos especies de tiburón, en la costa del Pacífico de Guatemala, en función de las concentraciones de mercurio encontradas.

6.2 Objetivo específico

6.2.1 Determinar los niveles de mercurio presentes en la carne de tiburón *Sphyrna lewini* y *Carcharhinus falciformis* y compararlo con el límite máximo permisible para consumo humano, utilizando la Normativa Europea.

6.2.2 Establecer la correlación entre el tamaño de la captura del tiburón, especie y concentración de mercurio.

6.2.3 Determinar el Índice de Peligro Sistémico de las muestras de músculo de las dos especies de tiburón.

6.2.4 Divulgar los resultados de la investigación que permita a las autoridades competentes accionar oportunamente para contribuir a la seguridad alimentaria del país.

7. HIPÓTESIS

Las concentraciones de mercurio encontradas en el músculo de las dos especies de tiburón proveniente del Pacífico de Guatemala, se encuentran arriba del límite máximo permisible, de acuerdo a la normativa europea.

8. METODOLOGÍA

8.1 Ubicación geográfica.

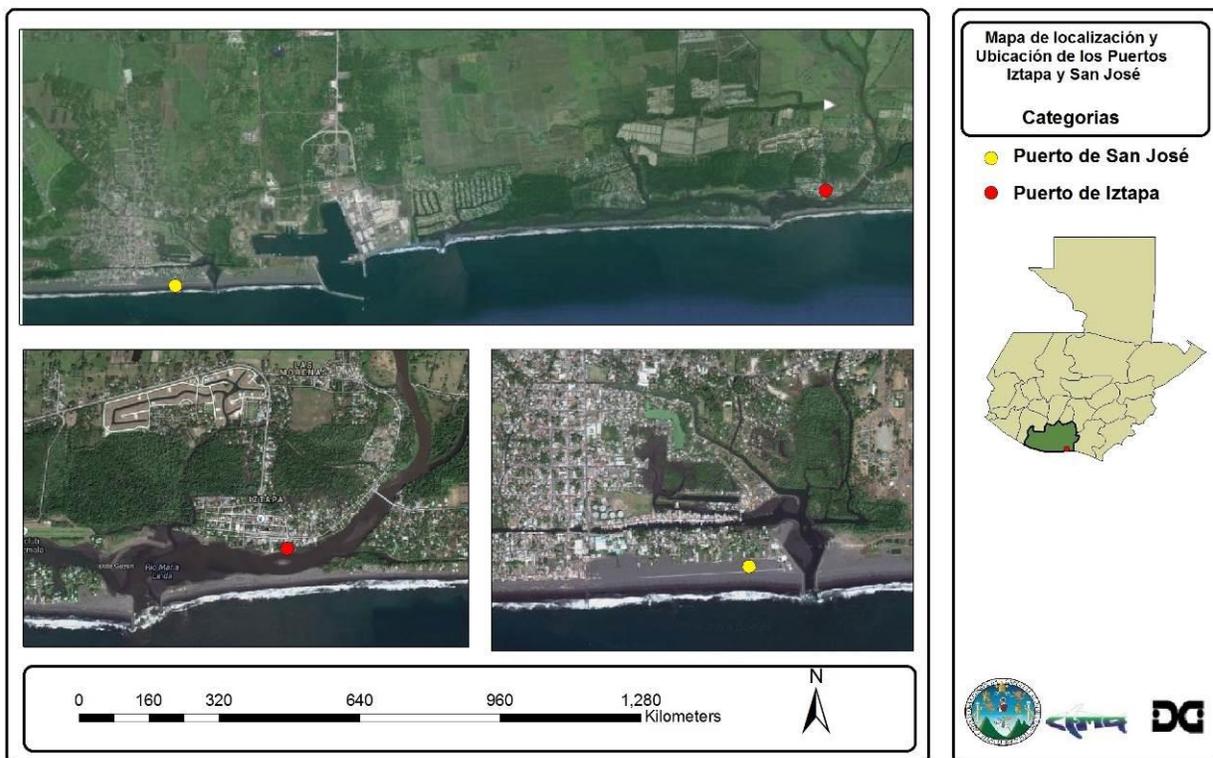
El área de estudio se encuentra en el litoral del pacífico guatemalteco. La plataforma continental de Guatemala comprende desde la línea de la costa hasta los 200m de profundidad, mide 14,700 Km², con fondos pocos accidentados y más bien planos y mayormente blandos. Aguas frente a la costa pacífica del país experimentan la influencia de dos corrientes mayores, la de California que lleva dirección sur y la corriente ecuatorial con dirección norte. El rango de mareas es de 1.5m de tipo micromareal. La planicie costera del pacifico tiene unos 50 km de ancho y ha sido formado por los productos de erosión de las tierras altas volcánicas. Arenas, gravas, pómez y depósitos de variado espesor se han depositado gradualmente hacia las tierras de las llanuras aluviales. Drenaje de las mareas costeras es deficiente y es de tipo meándrico y la presencia de terrenos pantanosos es frecuente cerca de la costa debido a la topografía plana.

A continuación se detallan los puntos de extracción de muestras:

Punto No. 1 Puerto San José, Escuintla: está ubicado en el departamento de Escuintla, Guatemala, C.A, junto al litoral del océano pacífico. Sus límites municipales son: al norte, Masagua y La Democracia; al sur, el océano pacífico; al este, Puerto Iztapa y al oeste, La Gomera. Se estima que este Municipio cuenta, actualmente, con 30,000 habitantes (año 2004). La altura de la cabecera es de 2 metros sobre el nivel del mar. Geográficamente está ubicado en latitud Norte 13° 55' 05", longitud Oeste 90° 49' 10". Su extensión territorial es de 280 kilómetros cuadrados. La jurisdicción municipal de San José es de tierras onduladas, regadas por los ríos Achiguate y María Linda, así como sus innumerables afluentes.

Punto No. 2 Iztapa, Escuintla: se encuentra ubicado en el sur de la cabecera departamental de Escuintla. En las coordenadas geográficas Latitud Norte 13°45'55'' y Longitud Oeste 90°42'58'', a una altura de 2.1° msnm. Los límites territoriales son: al norte con Guanagazapa, al sur con el Océano Pacífico, al este con el municipio de Taxisco, departamento de Santa Rosa y al oeste San José y Masagua. Su extensión territorial es de 328 Km². La vía de acceso que conduce hacia a Iztapa desde Guatemala, es dirigiéndose por la carretera del pacífico Ruta CA-9, luego se toma la autopista Puerto Quetzal llegando al Km 120.

Figura 1. Litoral Pacífico de Guatemala, ubicación de los sitios de muestreo.



Mapa Digital Globe 2,014 (en línea).

8.2 Método, técnicas y procedimientos e instrumentos.

Las muestras fueron acopiadas directamente de los pescadores artesanales que capturan tiburón *S. lewini* y *C. falciformis* en cada uno de los puntos de muestreo.

Durante 10 meses de trabajo de campo, se recolectaron 66 muestras de las cuales 22 correspondieron a *S. lewini* y 44 correspondieron a *C. falciformis*. La extracción de las muestras de carne de tiburón se realizó *in situ* en los sitios de acopio de las capturas.

Se tomaron muestras de 454 g de músculo de tiburón y se colocaron en bolsas plásticas herméticas selladas y plenamente rotuladas e identificadas. Posteriormente, fueron trasladadas a la ciudad capital, y se sometieron a refrigeración para su adecuada conservación. Para cada muestra se llenó una ficha de control, en la cual se debía indicar el peso total del espécimen,

peso del filete extraído, sitio de procedencia, especie y fecha de captura.

Los análisis se realizaron en el Laboratorio Privado INLASA, utilizando equipo AA Shimadzu 6,800 para la determinación de mercurio con vapor frío y absorción atómica. El procedimiento para dicho análisis fue el siguiente: La muestra se digería con una solución de ácido sulfúrico para liberar todos los compuestos de mercurio orgánico, el cual pasa a mercurio iónico. Una reducción adicional del mercurio iónico a mercurio metálico utilizando cloruro estañoso, hace posible la medición del mercurio gaseoso en el aire. El límite de detección de este método es de 0.01 µg de mercurio, para poder leer en Absorción Atómica con celda de vapor frío. (FIAS-Flow Injection Analysis System).

8.3 Metodología de análisis de información.

8.3.1 Definición de las variables.

La variable dependiente considerada en el estudio fue: concentración de mercurio en el músculo de cada especie de tiburón.

8.3.2 Indicadores:

El principal indicador de la variable dependiente fue la concentración de mercurio (Hg) en mg/kg de muestra.

8.4 Estrategia metodológica

8.4.1 Puntos de recolección de muestras:

Punto No.1 Puerto San José, Escuintla.

Punto No.2 Iztapa (Buena Vista), Escuintla.

8.4.2 Tipo de muestreo.

Para el estudio se utilizó un muestreo por selección intencionada, constituida por 66 muestras de 454 g de músculo de tiburón, de las cuales 22 submuestras correspondieron a *S. lewini* y 44 submuestras de *C. falciformis*.

La unidad de análisis del estudio comprendió a todos los tiburones *S. lewini* y *C. falciformis* capturados por la pesca artesanal en los dos puntos de muestreo.

Se consideraron estas especies de tiburón *S. lewini* y *C. falciformis* por las siguientes razones: a) los tiburones, son organismos de gran aceptación comercial dentro de la dieta alimenticia de los

guatemaltecos debido a su disponibilidad, bajo precio y buen sabor, b) son organismos sujetos a explotación por parte de la pesca artesanal en todo el Litoral Pacífico de la República, c) su hábito alimenticio (carnívoro) los hace ser organismos susceptibles de contaminación ya que se encuentra encima de la cadena alimenticia.

8.4.3 Análisis de la información

Para el análisis de los datos se utilizó el programa Microsoft Office Excel, que permitió elaborar una base de datos de los resultados para cada una de las entradas, utilizando filtros para corregir los errores, así mismo la elaboración de cuadros, y figuras para hacer la interpretación de los resultados, utilizando la estadística descriptiva: a) los resultados se agruparon de acuerdo a la variable dependiente, b) se utilizó la correlación de Spearman, para realizar correlaciones entre el tamaño de captura del tiburón, especie y concentración de mercurio y c) se calculó el Índice de Peligro Sistémico (IP), para la variable dependiente de cada una de las especies estudiadas.

$IP = \text{Dosis de exposición} / \text{Dosis de referencia}$.

$\text{Dosis de exposición} = (C) (TI) (TA) / PC$

En donde:

C = Concentración promedio del metal (mg/kg);

TI = Tasa de ingestión diaria de pescado (0.0065 kg/día);

TA = Tasa de absorción del metal por el tracto gastrointestinal (10 %).

PC = Peso corporal. 70 kg. USEPA (1998)

9. RESULTADOS

En la tabla 1A, se presenta la base de datos de los resultados para mercurio y su comparación con los límites máximos permisibles de la Norma Europea (1 mg/kg), para *S. lewini* y *C. falciformis*, durante la época de muestreo de abril a noviembre del año 2014.

Tabla 2 Promedio y varianza de las concentraciones de mercurio (mg/kg), para cada una de las dos especies muestreadas.

Especies	N	X*	Var.
<i>S. lewini</i>	22	1.94471	3.22512
<i>C. falciformis</i>	44	0.527541	0.145529

* mg/kg. Datos de campo, 2014.

De las 22 sub-muestras de tiburón martillo *S. lewini*, enviadas para su análisis de laboratorio, el 100 % mostró valores detectables de mercurio, pero 16 muestras sobrepasaron el límite máximo permisible LMP, por la normativa europea, esto representa un 73 % del total de las muestras.

Tabla 3. Resultados del análisis de mercurio en las muestras de laboratorio para *S. lewini*.

Resultado	Valor
Número de muestras extraídas	22
Número de muestras con valores detectables	22
Porcentaje de muestras con valor detectable	100
Número de muestras con valores por encima de LMP de la normativa europea (1 mg/kg)	16
Porcentaje de muestras con valores por encima del LMP.	73

Datos de campo 2014.

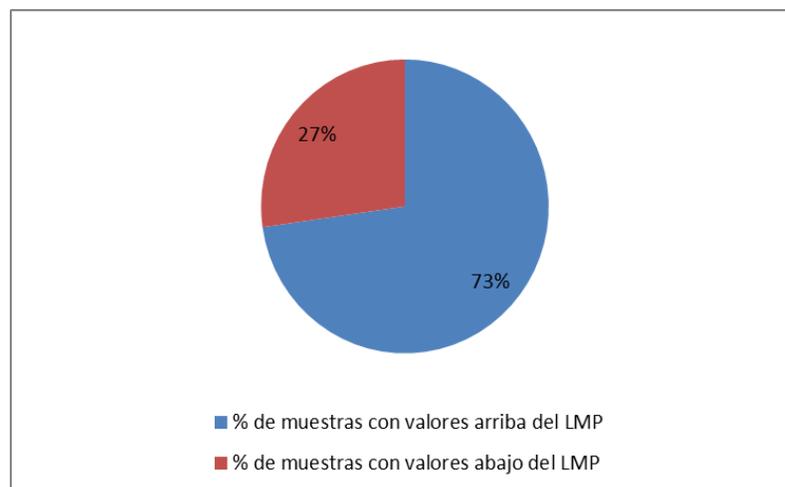


Figura 2. Representación del porcentaje de muestras de *S. lewini* que sobrepasaron el LMP de mercurio. Datos de campo 2014.

Tabla 4. Resultados de los análisis de laboratorio para la especie *C. falciformis*.

Resultado	Valor
Número de muestras extraídas	44
Número de muestras con valores detectables	44
Porcentaje de muestras con valor detectable	100
Número de muestras con valores por encima de LMP de la normativa europea (1 mg/kg)	4
Porcentaje de muestras con valores por encima del LMP.	9

Datos de campo 2014.

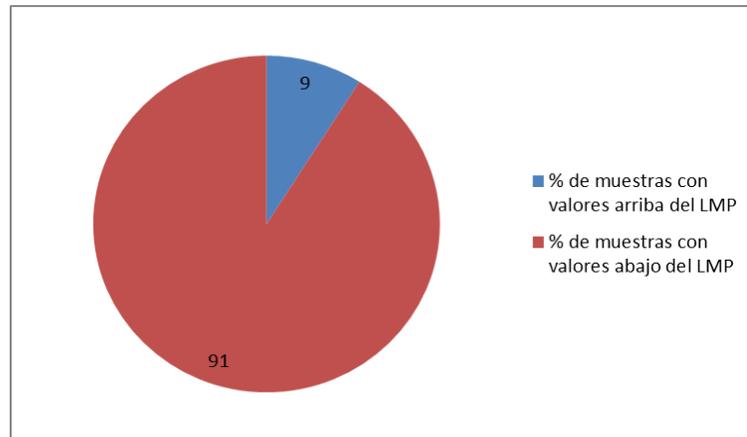


Figura 3. Representación del porcentaje de muestras de *C. falciformis* que sobrepasaron el LMP de mercurio. Datos de campo 2014.

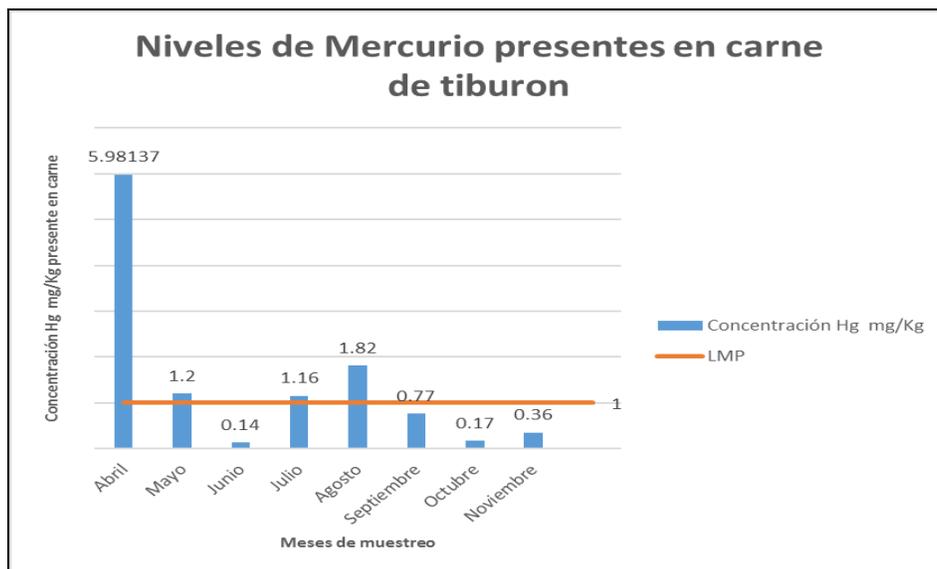


Figura 4. Concentración promedio de mercurio presente en *S. lewini* durante los meses de estudio. Datos de campo 2014.

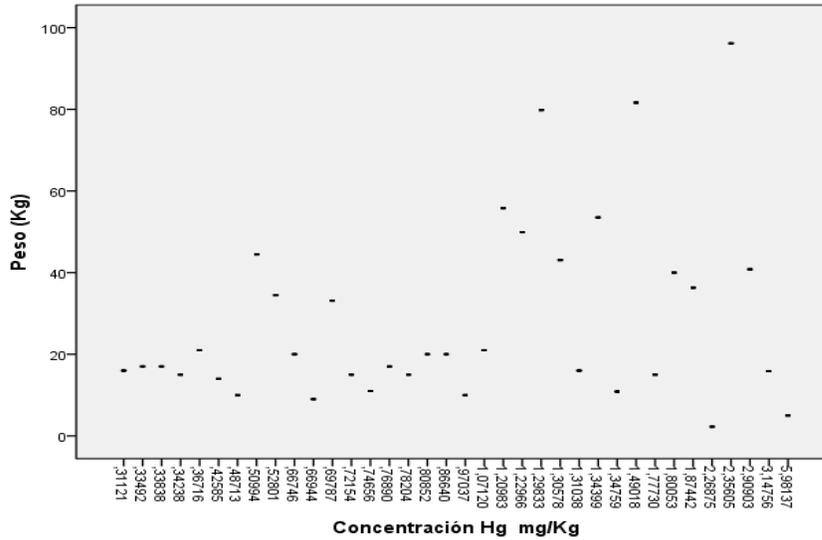


Figura 5. Distribución de la concentración de mercurio presentes en *S. lewini* y *C. falciformis* en función del peso de los organismos muestreados. Datos de campo 2014

Tabla 5. Análisis de Spearman para determinar correlación en los datos de concentración de mercurio en musculo de tiburón vrs peso de tiburón.

Rho de Spearman	Peso (Kg)	Concentración Hg mg/kg	Peso (Kg)	Concentración Hg mg/kg
		Coefficiente de correlación	1	0.181
		Sig. (bilateral)		0.292
		N	22	22
	Concentración Hg mg/kg	Coefficiente de correlación	0.181	1
		Sig. (bilateral)	0.292	
		N	22	22

Para que exista correlación el P valor debe ser ≥ 0.292
 Datos de campo 2014.

9.1 MATRIZ DE RESULTADOS

Tabla 6. Matriz de resultados de la investigación.

Objetivo específico	Resultado esperado	Resultado obtenido
Determinar los niveles de mercurio presentes en la carne de tiburón <i>Sphyrna lewini</i> y <i>C. falciformis</i> y compararlo con el límite máximo permisible para el consumo humano, utilizando la normativa europea.	Base de datos que permite establecer la inocuidad de la carne de los organismos en función de la Normativa Europea.	73 % de las sub-muestras de <i>S. lewini</i> sobrepasaron el LMP, de la normativa europea. 9 % de las sub-muestras de <i>C. falciformis</i> presentaron valores arriba del LMP, de la Normativa Europea.
Establecer la correlación entre el tamaño de la captura del tiburón, especie y concentración de mercurio.	Identificada la especie y tamaño de los organismos que tienen la mayor concentración de mercurio y la correlación entre tallas.	La especie <i>S. lewini</i> fue la que presentó una mayor concentración de mercurio, mientras que no se presentó una correlación positiva entre la talla y concentración de mercurio en las dos especies.
Determinar el Índice de Peligro Sistémico de las muestras de músculo de las dos especies de tiburón.	Índice de Peligro Sistémico para las dos especies estudiadas.	El índice de Peligro Sistémico para las dos especies estudiadas fue menor a 1.
Divulgar los resultados de la investigación que permitan a las autoridades competentes accionar oportunamente para contribuir a la seguridad alimentaria del país.	Autoridades competentes notificadas de los hallazgos de la investigación.	Se escribió un artículo científico para su divulgación en la revista de la DIGI, se presentaron los hallazgos en eventos organizados por DIGI.

10. IMPACTO ESPERADO

Tras el desarrollo del proyecto de investigación se logró:

- a) Establecer los niveles de mercurio presentes en la carne de tiburón *S. lewini* y *C. falciformis* provenientes del Pacífico de Guatemala, así como las frecuencias que sobrepasan el límite máximo permisible para consumo humano, en comparación con la normativa europea.
- b) Determinar que no existe riesgo potencial de contaminación por mercurio para los consumidores de músculo de tiburón provenientes de las dos especies de tiburón del Pacífico de Guatemala.
- c) Establecer que la especie *S. lewini* presenta mayor frecuencia de contaminación por mercurio en comparación a *C. falciformis*.
- d) Socializar los resultados y la escritura de un artículo científico.

11. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De las 22 sub-muestras analizadas para la especie *S. lewini*, 16 (73 %), presentaron concentraciones de mercurio, arriba del LMP (1 mg/kg) (ver tabla 2), con valores de 1.94471 ± 3.22512 mg/kg, pero al determinar el IP ($1.62685714 \times 10^{-4}$), se puede establecer que no existe un riesgo a la salud de los consumidores. Estudios realizados por Hurtado (2010), estableció concentraciones con valores de 0.82 ± 0.33 mg/kg de mercurio en juveniles de *S. lewini*. En otras especies cercanas a los tiburones como los batoideos, se reportan concentraciones de mercurio mucho más bajas en rangos que varían de 0.02 a 0.61 mg/kg de peso (Farrugia, Oliveira, Knue, Seitz, 2015), así mismo la especie *S. lewini* presenta las mayores concentraciones de monometilmercurio, tanto en aletas secas, como en sopa de aletas de tiburón, (Nalluri, Baumann, Albercrombie, Chapman, Hammerschmidt, Fisher, 2014), lo cual reafirma que *S. lewini* es una especie del Pacífico de Guatemala, con altos niveles de mercurio. La alta frecuencia de muestras arriba del LMP, se debe posiblemente al hábito alimenticio depredador de la especie.

En relación a la especie *C. falciformis* se puede observar en la tabla 4, que de un total de 40 sub-muestra, el 91 % no sobrepasa el LMP, con valores de 0.527541 ± 0.145529 mg/kg, muestra que esta especie está menos contaminada de mercurio, siendo un buen indicador, ya que

fue la especie que más se capturó durante el tiempo de la investigación y como consecuencia la que más se consume en el país. El IP ($4.345714286 \times 10^{-5}$), para la especie también establece que no existe ningún riesgo de contaminación por mercurio para la salud de los consumidores potenciales, lo cual coincide con Escribá y colaboradores (2007), quienes reportan que los niveles de mercurio encontrados en muestras de carne de tiburón de las costas de Guatemala, son menores a las concentraciones presentadas por la FAO/WHO-EPA. Las concentraciones de mercurio encontradas *C. falciformis* son más bajas que las reportadas en tiburones azules *Prionace glauca* del sur oeste del Océano Índico, que reportan cantidades de mercurio de 5.3 ± 2.17 mg/kg y en Baja California 1.96 ± 1.48 mg/kg (Maz et al, 2012).

Al observar la figura 2 y 3, se puede concluir que existe una diferencia en la frecuencia de concentración de mercurio en la carne de las dos especies, siendo significativamente mayor en *S. lewini*.

El patrón de distribución de la frecuencia de apareamiento de muestras contaminadas de mercurio en *S. lewini*, en el tiempo, muestra una tendencia irregular, mientras que la especie *C. falciformis* presenta poca variabilidad en función del tiempo de captura (Ver figura 6).

Los datos recabados de peso de los organismos de las dos especies estudiadas versus concentraciones de mercurio, se sometieron a la prueba de Spearman ($\rho=0.292$), indicando que no existe correlación entre las dos variables, lo cual se puede confirmar en la tabla 5.

La falta de correlación entre el tamaño de los organismos y la concentración de mercurio, es ratificada en investigaciones realizadas por Sánchez, (2010).

12. CONCLUSIONES

12.1 La especie *S. lewini* fue la que presentó una mayor concentración de mercurio en el músculo, y un alto porcentaje (73 %) de las frecuencias presentaron valores arriba del LMP de la normativa europea, mientras que la muestra de *C. falciformis* únicamente representaron un 9 % arriba de dicho límite.

12.2 No se presentó una correlación positiva ($\rho=0.29$) entre el tamaño de los organismos y la concentración de mercurio en las dos especies de tiburón evaluadas.

12.3 Las dos especies de tiburón monitoreadas presentaron un Índice de Peligro Sistémico ≤ 1 , lo que indica que no existe ningún riesgo potencial de contaminación por el consumo de dichos organismos. La población consumidora de carne de tiburón de las especies indicadas provenientes del Pacífico de Guatemala, pueden estar seguros de la inocuidad de la misma, en relación al contenido de mercurio.

13. REFERENCIAS

1. Alonzo, A. (2014). Metales pesados. Revisión agosto 2014. Unión Europea. Contenidos máximos en metales pesados en productos alimenticios. CATICE de Valencia.

Secretaría de Estado del Comercio. España. Recuperada de <http://plaguicidas.comercio.es/MetalPesa.pdf>

2. Anislado, V. (2000). Ecología pesquera del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith Y Smith, 1834) en el Litoral del Estado de Michoacán, México. Tesis de Maestría. México. 145 p. Recuperada de <http://www.raulmarinosorno.com/docsvirtuales/anislado-maestria.pdf>
3. Capbell L.M., Osano O., Hechey R.E., Dixon D.G. (2003). Mercury in fish from three rift valley lakes (Turkana, Naivasha and Baringo), Kenya, East Africa. Environmental Pollution. Recuperada de: www.sciencedirect.com
4. Castro J. (1983). Th sharks of north american waters. United States, Texas A&M University Press. College Station, Texas. USA. 179 p.
5. De Gregori D. (1995). Tratamiento de muestras de origen marino para el análisis de metales traza, Chile.
6. Elías, G. (2008). Metales pesados en músculo de tilapia *Oreochromis niloticus* para su consumo humano en el Lago de Amatitlán. Guatemala. DIGI.
7. Elías, G., González, P. (2011). Cuantificación de la contaminación por plomo y mercurio en el músculo del género *Arius sp*, para consumo humano, en el litoral pacífico de Guatemala. Centro de Estudios del Mar y Acuicultura y Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. FODECYT No. 018-2009. Guatemala. 96 pp. Recuperada de: <http://glifos.concyt.gob.gt/digital/fodecyt/fodecyt%202009.18.pdf>
8. Escriba, C. Soto, M. y García, J. (2007). Cuantificación de mercurio (Hg), por la técnica de espectrometría de absorción atómica con celda de vapor frío (FIAS), en muestras de carne de tiburón provenientes de las Costas del Atlántico y Pacífico de la República de Guatemala. Facultad de Ciencias Química y Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 104 pp. Recuperada de: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_2503.pdf
9. Farrugia, T., Oliveira, A., Knue, J., & Seitz, (2015). Nutritional content mercury, an trace element analysis of two skate (Rajidae) species in the Gulf of Alaska. Journal of Food Composition and Analysis. 158 p.

10. FAO. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación, (Italia). (2009). Gobernanza del agua en Mesoamérica: discusión ambiental. Recuperada de: www.fao.org/Regional/LAmerica/paises/h2o/guatemala.html
11. Fischer, W. et al. (1995). Guía para la clasificación de especies de peces tropicales. Italia, FAO.U2, 665-1200
12. Galván, F., Polo, C., Barrera, A., Escobar, O., & Torres Y. (2015). Los tiburones como bioindicadores de contaminantes y cambios tróficos en los ecosistemas marinos. México Recuperado de <http://www.researchgate.net/publication/279205444>
13. García, G. (1977). Determinación y cuantificación de metales pesados (Pb, As, Cd y Cr VI) y sustancias tóxicas (P04, NO2 y CN) por métodos espectrofotométricos en tejido muscular de *Cichlasoma managuense* (Gunter) Guapote o pez tigre en el lago de Amatitlán. Tesis para optar al grado de Licenciatura en Biología. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. 62 p.
14. Green Facts, (2004). Scientific Facts on Mercury. Recuperada de: www.greenfacts.org/en/mercury.
15. Holmes, P., James, K., & Levy, I. (2009). Is low-level environmental mercury exposure of concern to human health?. *Journal Science of the Total Environment*. Pag 171-182
16. Hurtado, R. (2010). Determinación de mercurio total en hígado y músculo de tiburones provenientes de las pesquerías de Sonora y Sinaloa, México. (Tesis de Maestría) Universidad de Sonora. 67 p. Recuperado de: http://www.posgradoenbiociencias.uson.mx/produccion/docs/Tesis_Rocio_Hurtado.pdf.
17. Kestler, D. (1977). Determinación cuantitativa de metales pesados en peces comestibles del lago de Amatitlán por reflexión total de rayos X. Tesis para optar al título de Ingeniero Químico). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. 49 p.
18. Kiszka, J., Aubail, A., Hussey, N., Heithanus, M., Caurant, F., & Bustamante, P. (2015) Plasticity or trophic interactions among sharks from the oceanic south-western Indian Ocean revealed by stable isotope and mercury analyses. USA. Pag 49-58

19. Lenntech. (2008). Mercurio Hg. Recuperada de: <http://www.lenntech.com/español/tabla> Periódica/cr.
20. Maz, A., Lopez, C., Galvan, F., Escobar, O., Rosiles, R., Sanjuan, A. (2012). Bioaccumulation and biomagnification of total mercury in four exploited shark species in the Baja California península, México. Bull. Environmental contamination . Toxico p 129-134
Montaño C, Figueroa L, Magaña F (2009). Hábitos alimentarios del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith & Smith, 1834) (Chocondrichtyes) en el Pacífico ecuatoriano. Revista de Biología Marina y Oceanografía, 379-386 p, agosto.
21. Nalluri, D., Baumann, Z., Albercrombie, D., Chapman, D., Hammerschmidt, Ch., & Fisher N. (2014). Methylmercury in dried shark fins and shark finsoup from American restaurants. Journal science of the Total Environment. USA. Pag 644-648
22. Naturalista, s.f. Tiburón piloto. Recuperada de: [naturalista, conabio.gob.mx/taxa/96754-Carcharhinus falciformis](http://naturalista.conabio.gob.mx/taxa/96754-Carcharhinus_falciformis).
23. LTA. (2008). Mercurio en peces y algas. Recuperada de: <http://lic-tecnologiambiental.blogspot.com/2008/04/mercurio-en-peces-y-algas.html>
24. PNUMA Productos químicos. (2002). Evaluación Mundial sobre el Mercurio. Ginebra, Suiza. 133 p. Recuperada de: www.chem.unep.ch/mercury/GMAflyer-sp.pdf
25. Ruíz C. y López M. (1998). Estudio sobre la pesquería del tiburón en Guatemala. Recuperada de: www.fao.org/docrep/003/x20978e/x2097E08.htm
26. Sánchez, O. (2010). Bioacumulación y biomagnificación de mercurio y selenio en peces pelágicos, mayores de la costa occidental de Baja California Sur. (Tesis doctoral). Instituto Politécnico Nacional. México. Recuperada de: www.repositoriodigital.ipn.mx
27. Sadiq, M. (1992). Toxic metal chemistry in marine environments. New York: Marcel Dekker. 390 p.
28. Tejeda, C. (2008). Bioacumulación de mercurio en hígado de tiburón blanco *Carcharhinus falciformis*. Trabajo de graduación Lic. Acuicultura. Guatemala, USAC. 46 p.
29. Torija, M. (2011). Emperador, Atún Rojo y Mercurio. Artículo de revista Salud Pasión, tu

- cuerpo como fuente de energía. España. Recuperado de:
<http://saludpasion.com/emperador-atun-rojo-y-mercurio/>
30. URL (Universidad Rafael Landívar, GT). (2004). Perfil ambiental de Guatemala: informe sobre el estado del ambiente y bases para su evaluación sistemática. Guatemala. URL. Recuperado de: <http://www.perfilambiental.org.gt>
31. USEPA 1989. Risk Assessment Guidance for superfund Volume I. Human Health. Evaluación Manual (Part A) EPA/540/1-89/002. United States Environmental protection. Agency. Office Emergency and Remedial reponse. Washington, D.C.
32. Valiente, L.; Iribarren, L.; Piccinna, M.; Romero Ale, E. (2002). Optimización de parámetros para la determinación de mercurio total en pescado, usando MW-CV-FI-AAS. Centro de Investigación y Desarrollo en Química y Petroquímica (CEQUIPE). 4º Jornadas de Desarrollo e Innovación, Noviembre 2002. Argentina.
33. Velasco, O., Echavarría, S., Pérez, M., & Villanueva, I. (2001). Contenido de Mercurio y Arsénico en atún y sardinas enlatadas mexicanas. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional. Unidad Durango. Sinaloa, México. S/N. DGO 34220. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 17 (1) 31-35.
34. Villarejo, A. (2003). Ecotoxicología y Acción toxicología de Mercurio. Académico de Número Real Academia de Farmacia. Recuperada de:
<http://www.ranf.com/pdf/arti/mercurio.pdf>
35. WHO WMEHC 118 (World Health Organization Who Mercury Environmental Health Criteria 118). Ginebra. (1991). 116

14. APENDICE

Tabla 1A. Base de datos de los resultados para mercurio y su comparación con los límites máximos permisibles de la norma europea (1 mg/kg), para *S. lewini* y *C. falciformis*.

No.	Mes de colecta	Talla (cm)	Peso (lb)	Sexo	Especie	Concentración Hg en µg/Kg (Límite de detección 25 µg/kg)	Concentración Hg mg/Kg
1	Abril	58	-----	H	<i>Sphyrna lewini</i>	5981.37	5.98137
2	Mayo	-----	-----	M	<i>Sphyrna lewini</i>	7812.52	7.81252
3	Mayo	-----	-----	I	<i>Sphyrna lewini</i>	280.12	0.28012
4	Mayo	-----	-----	I	<i>Sphyrna lewini</i>	238.25	0.23825
5	Mayo	221	176	H	<i>Sphyrna lewini</i>	1298.33	1.29833
6	Julio	215	110	M	<i>Sphyrna lewini</i>	1229.66	1.22966
7	Julio	228	118	M	<i>Sphyrna lewini</i>	1343.99	1.34399
8	Julio	235	123	H	<i>Sphyrna lewini</i>	1209.83	1.20983
9	Julio	200	180	H	<i>Sphyrna lewini</i>	1490.18	1.49018
10	Julio	-----	-----	I	<i>Sphyrna lewini</i>	1561.35	1.56135
11	Julio	124	76	M	<i>Sphyrna lewini</i>	528.01	0.52801
12	Agosto	-----	95	I	<i>Sphyrna lewini</i>	1305.78	1.30578
13	Agosto	75	24	H	<i>Sphyrna lewini</i>	1347.59	1.34759
14	Agosto	207	98	H	<i>Sphyrna lewini</i>	509.94	0.50994
15	Agosto	-----	-----	I	<i>Sphyrna lewini</i>	432.33	0.43233
16	Agosto	134	73	M	<i>Sphyrna lewini</i>	697.87	0.69787
17	Agosto	89	35	M	<i>Sphyrna lewini</i>	3147.56	3.14756
18	Agosto	-----	90	M	<i>Sphyrna lewini</i>	2909.03	2.90903
19	Agosto	-----	80	M	<i>Sphyrna lewini</i>	1874.42	1.87442
20	Agosto	-----	-----	I	<i>Sphyrna lewini</i>	2960.74	2.96074
21	Agosto	56	5	M	<i>Sphyrna lewini</i>	2268.75	2.26875
22	Agosto	276	212	H	<i>Sphyrna lewini</i>	2356.05	2.35605
23	Septiembre	130	-----	H	<i>Cacharhinus falciformis</i>	866.4	0.86640
24	Septiembre	122	-----	M	<i>Cacharhinus falciformis</i>	177.73	1.77730
25	Septiembre	143	-----	H	<i>Cacharhinus falciformis</i>	768.9	0.76890

26	Septiembre	134	-----	H	<i>Cacharhinus falciiformis</i>	1071.2	1.07120
27	Septiembre	123	-----	H	<i>Cacharhinus falciiformis</i>	334.92	0.33492
28	Septiembre	147	-----	M	<i>Cacharhinus falciiformis</i>	425.85	0.42585
29	Septiembre	127	-----	M	<i>Cacharhinus falciiformis</i>	970.37	0.97037
30	Septiembre	142	-----	H	<i>Cacharhinus falciiformis</i>	1310.38	1.31038
31	Septiembre	130	-----	H	<i>Cacharhinus falciiformis</i>	808.52	0.80852
32	Septiembre	150	-----	H	<i>Cacharhinus falciiformis</i>	667.46	0.66746
33	Septiembre	194	-----	H	<i>Cacharhinus falciiformis</i>	1800.53	1.80053
34	Septiembre	145	-----	M	<i>Cacharhinus falciiformis</i>	342.38	0.34238
35	Septiembre	142	-----	H	<i>Cacharhinus falciiformis</i>	311.21	0.31121
36	Septiembre	154	-----	H	<i>Cacharhinus falciiformis</i>	367.16	0.36716
37	Septiembre	114	-----	M	<i>Cacharhinus falciiformis</i>	669.44	0.66944
38	Septiembre	110	-----	H	<i>Cacharhinus falciiformis</i>	487.13	0.48713
39	Septiembre	121	-----	H	<i>Cacharhinus falciiformis</i>	338.38	0.33838
40	Septiembre	123	-----	M	<i>Cacharhinus falciiformis</i>	782.04	0.78204
41	Septiembre	136	-----	M	<i>Cacharhinus falciiformis</i>	746.56	0.74656
42	Septiembre	139	-----	H	<i>Cacharhinus falciiformis</i>	721.54	0.72154
43	junio	-----	-----	-----	<i>Cacharhinus falciiformis</i>	115.84	0.11584
44	junio	-----	-----	-----	<i>Cacharhinus falciiformis</i>	136.24	0.13624
45	junio	-----	-----	-----	<i>Cacharhinus falciiformis</i>	194.28	0.19428
46	Octubre	-----	-----	-----	<i>Cacharhinus falciiformis</i>	218.07	0.21807
47	Octubre	-----	-----	-----	<i>Cacharhinus</i>	128.9	0.12890

					<i>falciformis</i>		
48	Noviembre	-----	-----	-----	<i>Cacharhinus falciformis</i>	251.97	0.25197
49	Noviembre	-----	-----	-----	<i>Cacharhinus falciformis</i>	277.77	0.27777
50	Noviembre	-----	-----	-----	<i>Cacharhinus falciformis</i>	293.5	0.29350
51	Noviembre	-----	-----	-----	<i>Cacharhinus falciformis</i>	491.84	0.49184
52	Noviembre	-----	-----	-----	<i>Cacharhinus falciformis</i>	534.66	0.53466
53	Noviembre	-----	-----	-----	<i>Cacharhinus falciformis</i>	242.71	0.24271
54	Noviembre	-----	-----	-----	<i>Cacharhinus falciformis</i>	565.71	0.56571
55	Noviembre	-----	-----	-----	<i>Cacharhinus falciformis</i>	273.66	0.27366
56	Noviembre	-----	-----	-----	<i>Cacharhinus falciformis</i>	179.84	0.17984
57	Noviembre	-----	-----	-----	<i>Cacharhinus falciformis</i>	365.61	0.36561
58	Noviembre	-----	-----	-----	<i>Cacharhinus falciformis</i>	511.45	0.51145
59	Noviembre	-----	-----	-----	<i>Cacharhinus falciformis</i>	364.73	0.36473
60	Noviembre	-----	-----	-----	<i>Cacharhinus falciformis</i>	587.62	0.58762
61	Noviembre	-----	-----	-----	<i>Cacharhinus falciformis</i>	349.02	0.34902
62	Noviembre	-----	-----	-----	<i>Cacharhinus falciformis</i>	304.03	0.30403
63	Noviembre	-----	-----	-----	<i>Cacharhinus falciformis</i>	235.73	0.23573
64	Noviembre	-----	-----	-----	<i>Cacharhinus falciformis</i>	309.2	0.30920
65	Noviembre	-----	-----	-----	<i>Cacharhinus falciformis</i>	326.69	0.32669
66	Noviembre	-----	-----	-----	<i>Cacharhinus falciformis</i>	385.08	0.38508

Datos de campo.



Anexo No. 1 Medición de ejemplar de *C. falciformis* en Buena Vista, Escuintla.



Anexo No. 2. Ejemplar de neonato de *S. lewini*.



Anexo No. 3. Identificación de especies de interés durante muestreo.



Anexo No. 4. Colecta y preservación de muestras de musculatura de tiburón obtenidas durante muestreos.



Anexo No. 5. Entrega de muestras de musculatura de tiburón obtenidas a representante de laboratorio INLASA, para su respectivo análisis.



Anexo No. 6. Ejemplar macho, de *S. lewini* durante toma de muestras.



Anexo No. 7. Selección de la musculatura para extraer muestra, según metodología.



Anexo No. 8. Muestras de musculatura listas para su envío al laboratorio.



Anexo No. 9. Toma de muestras, en el “Ranchón”. Puerto de San José.

15. ACTIVIDADES DE GESTIÓN, VINCULACIÓN Y DIVULGACIÓN

Se realizaron jornadas de divulgación y promoción del proyecto con pescadores artesanales, tanto en Puerto San José como en Puerto de Iztapa, donde se dio a conocer el proyecto y sus avances. Además, se participó activamente en la divulgación de los resultados del proyecto ante autoridades de DIGI e investigadores, en la presentación de avances de los proyectos DIGI que se ejecutaron en el 2014.

Además, se redactó un artículo científico, como parte del curso “Como preparar artículos científicos para una revista indexada”, Realizado del 05 al 07 de noviembre del 2014. Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la Dirección General de Investigación – DIGI- y Universidad de Cienfuegos, Cuba. Dicho artículo fue revisado por los especialistas internacionales invitados, y fue presentado ante los asistentes al curso.

16. LISTADO DE TODOS LOS INTEGRANTES DEL EQUIPO DE INVESTIGACIÓN

Contratados por contraparte y colaboradores	
Ing. Agr. Gustavo Adolfo Elías Ogáldez	Coordinador
Br. Alva Judith Montiel Montenegro	Auxiliar de Investigación
Lic. Eduardo Emanuele Chacón Osorio	Investigador Asociado

CONTRATADOS POR LA DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN

Nombre	Categoría	Registro de Personal	Pago	
			SI	NO
M.Sc. Adrian Mauricio Castro López	Investigador	20011069	X	
T.A. Juan Carlos Tejeda Mazariegos	Auxiliar de Investigación I	20130689	X	

Nombre	Firma
M.Sc. Adrian Mauricio Castro López	
T.A. Juan Carlos Tejeda Mazariegos	

Ing. Agr. Gustavo Adolfo Elías Ogáldez
Coordinador proyecto de investigación

Ing. Agr. Saúl Guerra
Coordinador Programa Universitario de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador General de Programas