

BIOMAGNIFICACIÓN Y BIOACUMLACIÓN DE MERCURIO EN CUATRO  
ESPECIES DE TIBURÓN DE LA PENÍNSULA DE BAJA CALIFORNIA SUR,  
MÉXICO.

CAROLINA LÓPEZ VERA  
ALEJANDRA MAZ COURRAU

UNIVERSIDAD JORGE TADEO LOZANO  
FACULTAD DE BIOLOGÍA MARINA  
TOXICOLOGÍA  
BOGOTÁ D.C.  
2006

BIOMAGNIFICACIÓN Y BIOACUMLACIÓN DE MERCURIO EN CUATRO  
ESPECIES DE TIBURÓN DE LA PENÍNSULA DE BAJA CALIFORNIA SUR,  
MÉXICO.

CAROLINA LÓPEZ VERA  
ALEJANDRA MAZ COURRAU

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE BIÓLOGO MARINO

DIRECTOR FELIPE GÁLVAN MAGAÑA

PhD Ciencias Marinas

ASESORES

ADOLFO SAN JUAN

Biólogo Marino M.Sc.

RENE ROSILES

UNIVERSIDAD JORGE TADEO LOZANO

FACULTAD DE BIOLOGÍA MARINA

TOXICOLOGÍA

BOGOTÁ D.C.

2006

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

Firma del Presidente del Jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

## **DEDICATORIA**

*A las dos personas que siempre  
han estado incondicionalmente  
a mi lado apoyándome  
Mis padres. Y a mi hermano  
del alma*

*A aleja amiga del alma.*

*Carolina López Vera*

*Este pequeño aporte a la ciencia, se la dedico a las  
únicas personas que me han visto crecer intelectual y  
personalmente a lo largo de mi vida y que indiscutiblemente  
sin su ayuda no hubiera sido posible este triunfo. MI FAMILIA.*

*Tía Dora gracias por hacer esto realidad.*

*Alejandra Maz Courrau.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Felipe Galván, por brindarnos esta oportunidad de trabajar con un tema de gran interés y preocupación a nivel mundial, por dejarnos ser las autoras de este estudio, por brindarnos todo su apoyo y confiar en nuestro trabajo.

Al doctor Rene Rosiles, por su valiosa enseñanza, ayuda y gran hospitalidad en su laboratorio de Veterinaria y Toxicología en México, así como a toda la gente de este laboratorio por su gran colaboración. También al doctor Carlos Vásquez, por tenernos tanta paciencia, disponer siempre de tiempo para atendernos en horarios de trabajo.

Mil gracias a Adolfo Sanjuán, por siempre estar dispuesto a corregir nuestros errores, aun estando cansado de sus salidas de campo.

A todos nuestros amigos en México, por brindarnos su amistad, tequila y gratos momentos, a Henry por no desampararnos en el aeropuerto y en ese monstruo de ciudad.

Finalmente, queremos dar infinitas gracias a nuestros padres, quienes hicieron posible la realización de este estudio, por estar siempre hay, esperamos que este trabajo sea un motivo más de orgullo para ustedes.

## TABLA DE CONTENIDO

	pág
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>1. ÁREA DE ESTUDIO</b>	11
<b>2. METODOLOGÍA</b>	15
2.1 <i>FASE DE CAMPO</i>	15
2.1.1 Colecta de Tiburones	15
2.1.2 Colecta de Calamares ( <i>Dosidicus gigas</i> )	16
2.1.3 Colecta de mictófidios ( <i>Symbolophorus evermanni</i> )	16
2.1.4 Colecta de Macarela ( <i>Scomber japonicus</i> )	17
2.1.5 Colecta de langostilla ( <i>Pleurocodes planipes</i> )	17
2.2 <i>FASE DE LABORATORIO</i>	17
2.2.1 Análisis (Digestión) de las muestras	18
2.2.2 Lectura de las muestras por el método de espectrofotometría de absorción atómica por generador de hidruros	19
2.3 <i>FASE DE GABINETE</i>	21
<b>3. RESULTADOS</b>	23
3.1 <i>BIOACUMULACIÓN</i>	24
3.1.1 Bioacumulación de Mercurio en las presas de los tiburones	31
3.2 <i>BIOMAGNIFICACIÓN</i>	32
<b>4. DISCUSIÓN</b>	36
4.1 <i>BIOACUMULACIÓN</i>	36
4.2 <i>BIOMAGNIFICACIÓN</i>	44
<b>5. CONCLUSIONES</b>	47
<b>6. RECOMENDACIONES</b>	49
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	52
<b>ANEXOS</b>	63

## RESUMEN

En el medio acuático el Mercurio está en forma orgánica e inorgánica, por permanecer largos periodos de vida en el ambiente, tiene la capacidad de acumularse en los tejidos y órganos de los animales concentrándose en altos niveles en individuos longevos como el tiburón. El consumo diario de altas concentraciones de Mercurio para el hombre es altamente tóxico causando daños en el sistema nervioso, cardiovascular y gastrointestinal, generando consecuencias de tipo genético. El presente estudio determinó la bioacumulación promedio de Mercurio total en el tejido muscular de cuatro especies de tiburón, *Carcharhinus falciformis*, *Prionace glauca*, *Sphyrna zygaena* e *Isurus oxyrinchus* capturados en la costa occidental de Baja California Sur y el Golfo de California, México. El análisis de este metal se realizó por medio de espectrofotometría de absorción atómica. Asimismo se evaluó el grado de biomagnificación de algunas de las presas consumidas por los tiburones, como son el calamar (*Dosidicus gigas*), la macarela (*Scomber japonicus*), la langostilla (*Pleurocodes planipes*), y el mictófido (*Symbolophorus evermanni*); la mayor transferencia del metal a los tiburones lo presentó en el calamar (FB= 22). Se estableció la relación entre la bioacumulación del Mercurio con la longitud y sexo de los individuos capturados, la especie *P. glauca* no presentó una correlación significativa ( $r=0,09837$   $p = 0,7610$ ), de igual forma no hubo diferencias significativas entre el sexo y la concentración de Mercurio ( $p=0,4438$ ) para las especies analizadas. Finalmente se concluye que todas las especies de tiburones a excepción de *P. glauca*, tienen niveles de Mercurio por encima la Norma Oficial Mexicana (NOM-027-SSA1, 1993) para el consumo humano de especies acuáticas.

Palabras claves: Mercurio total, Bioacumulación, Biomagnificación.

## INTRODUCCIÓN

A lo largo del tiempo se ha visto el incremento de contaminantes tóxicos al medio ambiente, causando grandes impactos a la naturaleza. La zona costera es una de las más afectadas, perjudicando aquellas especies que habitan y recorren dichas áreas (Moreno *et al.*, 1984), debido principalmente a la actividad industrial y minera artesanal de metales preciosos por parte del hombre a través de la historia (Jones y Slotton, 1996 En: Miller, 2002). Dentro de estos contaminantes se encuentra el Mercurio, considerado como un elemento metálico no esencial para la vida (Núñez *et al.*, 1998); sin embargo también se encuentra presente en forma natural en el ambiente, debido a diferentes fenómenos geológicos como la erosión, las emisiones volcánicas y desgasificación de la corteza terrestre; de los cuales se obtiene un ciclo que involucra componentes atmosféricos, acuáticos y terrestres (Miller, 2002), siendo los ríos y vientos una vía importante en el transporte de este elemento hasta las áreas costeras (Campos, 1987; Pinho, 1998 En: Gomes *et al.*, 2004).

La alta toxicidad del Mercurio depende de la forma química en que se encuentre, puede estar en Mercurio elemental ( $\text{Hg}^0$ ), Mercurio iónico ( $\text{Hg}^{+2}$ ,  $\text{Hg}^{+1}$ ) y por último como Mercurio orgánico metálico ( $\text{HgCH}_3$ ) (Miller, 2002), el cual es considerado como la forma química más nociva para los animales y el hombre.

En el medio acuático se encuentra el Mercurio en dos formas esenciales: inorgánica y orgánica; esta última como metilmercurio, resultado de las reacciones de biometilación de los sistemas biológicos, donde se conoce la



participación de la coenzima metil-B12 capaz de realizar la transformación de las sales del Mercurio inorgánico a metilmercurio y dimetilmercurio, dichas reacciones ocurren bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas (Wood *et al.*, 1996; Hill *et al.*, 1970; Adin y Espenson, 1971; Neujahr y Bertilsson, 1971; Schrauzer *et al.*, 1971; 1973; Wood, 1971 En: PMCCSTAEP-ESBCNRNRC, 1978);

El proceso por medio del cual un organismo toma un químico a través del medio ambiente biótico y abiótico, concentrándolo en sus tejidos u órganos, es lo que se denomina bioacumulación, (Rand *et al.*, 1995); uno de los elementos que se puede bioacumular en los individuos acuáticos es el Mercurio orgánico e inorgánico persistiendo por largos periodos de tiempo en los organismos. Esta bioacumulación puede transferirse de un nivel trófico a otro incrementando su concentración lo cual se define como biomagnificación (Campos, 1987; Regnell y Ewald, 1997; Gray, 2002).

Muchas investigaciones han demostrado, que la bioacumulación sucede principalmente en el tejido muscular de los peces y grandes depredadores longevos como es el caso del tiburón, por medio de la unión del metal a las proteínas (Gomes *et al.*, 2004; Storelli *et al.*, 2003); también se ha visto la acumulación en el hígado, riñón, páncreas, branquias, sangre entre otros (Núñez *et al.*, 1998; Adams y McMichel, 1999; Berntssen *et al.*, 2004).

Estudios como el de Berntssen *et al.* (2004) demuestran que el Mercurio inorgánico afecta el intestino en los peces reduciendo la actividad de absorción de los aminoácidos y azúcares, e inhibiendo las enzimas intestinales; se genera una reducción en la longitud e hinchazón del órgano cuando el consumo es de 10 ppm.

El efecto del metilmercurio en la sangre afecta la permeabilidad de los eritrocitos produciendo hemólisis como consecuencia, también puede pasar por vía sanguínea al cerebro inhibiendo enzimas neurológicas esenciales. Por intoxicación del Mercurio se presenta la ausencia de enzimas específicas como la aspartato aminotransferasa y alanina aminotransferasa produciendo daños en los tejidos del hígado y riñón; sin embargo los peces han desarrollado mecanismos de eliminación del Mercurio, bien sea por las branquias, excreción (Storelli *et al.*, 2002) o aumento de proteínas homeostáticas (Núñez *et al.*, 1998), siempre y cuando las concentraciones del medio no excedan el equilibrio del ecosistema. Se cree que esta acumulación en los tejidos de los tiburones, puede provenir de las presas que consume, debido a que muchos tiburones se alimentan de calamares, mamíferos marinos pequeños, tortugas, atún, pez espada, entre otros (Galván–Magaña *et al.*, 1989; Smale y Cliff, 1998) los cuales también acumulan Mercurio en sus tejidos musculares (Ruelas *et al.*, 2003; Storelli *et al.*, 1998), siendo un eslabón de transferencia de este metal en los diferentes niveles de la red trófica.

El Selenio juega un papel importante, en la reducción o aumento de la bioacumulación del Mercurio en los diferentes órganos y tejidos de los animales, debido a que estos dos elementos son antagónicos. Su antagonismo toxicológico es explicado en parte a la competencia entre ambos por los mismos receptores de unión a las proteínas celulares, estos sitios de unión pueden ser ocupados según la biodisponibilidad de cada metal en el medio; por su competencia también se puede explicar la variabilidad en los rangos de acumulación de estos metales en los tejidos, así como el rango de eliminación de los mismos (Leonzio *et al.*, 1982 En: Cuvin-Alarar y Furness, 1991).

En estudios realizados con mamíferos marinos, como el caso de la foca *Phoca hispida*, se encontraron niveles altos de Mercurio (510 ppm) y Selenio (270 ppm) en el hígado, a pesar de los valores altos los animales no presentaron algún síntoma de intoxicación, lo cual sugiere que la presencia de los dos elementos en conjunto, puede proveer protección al individuo por virtud de su efecto de protección mutuo contra la toxicidad del otro (Wageman y Muir, 1984 En: Cuvin-Alarar y Furness, 1991).

El consumo de peces con una concentración de 1 ppm Mercurio es perjudicial para la salud humana, debido a que genera problemas en el sistema nervioso tales como trastornos psíquicos: pérdida de memoria, debilidad muscular, sueño agitado, tristeza, hiperexcitabilidad, depresión y debilidad, esto proviene de perturbaciones de los centros corticales del sistema nervioso central; también causa síntomas a nivel cardiológico como taquicardia, hipertensión, palpitaciones e hipertensión arterial; así como daños en el sistema gastrointestinal produciendo náuseas, diarrea o úlceras severas (Monteagudo,2002). En México la Norma Oficial Mexicana (NOM) establece que los peces que contengan valores mayores o iguales a 1,0 ppm de metales pesados no deben ser consumidos (NOM-SSA1 027, 1993), puesto que concentraciones altas pueden traer consecuencias de tipo genético (Keckes y Miettinen, 1972).

Hasta el momento en las costas occidentales de Baja California, no se cuenta con investigaciones que determinen las concentraciones y las relaciones de biomagnificación del Mercurio en tiburones, por lo tanto el presente estudio es el primer reporte para la costa occidental de Baja California Sur; lo mas cercano que se tiene en la zona es el trabajo realizado por Ruelas *et al.* (2003) en mamíferos marinos, quienes analizaron el Mercurio en músculo,

riñón e hígado de cuatro ballenas grises varadas (*Eschrichtius robustus*) y 11 delfines tornillo (*Stenella longirostris*), encontrando que no hay diferencias entre los distintos tejidos de las dos especies con respecto a los valores de metilmercurio, sugiriendo que estos no juegan un rol importante en el varamiento de los individuos.

En el Golfo de California solo se cuenta hasta el momento con el trabajo de Cadena (2004), quien determinó el Mercurio en tiburones, rayas y bayas; los tiburones los dividió en dos grupos según su talla, en los de talla grande se incluyen las especies *Carcharhinus limbatus*, *Carcharhinus falciformis*, *Prionace glauca* y *Sphyrna zygaena*; la concentración media de este grupo fue de 2,0 ppm Hg total; los géneros *Mustelos*, *Rhizoprionodon* y *Nasolamia* se catalogaron como el grupo de talla media con un promedio de 0,56 ppm Hg total. Una de sus conclusiones permite catalogar a los tiburones como el grupo que presentó los niveles más altos de Mercurio con respecto a los demás grupos, inclusive de otros elasmobranquios como las rayas.

En el Golfo de México, se tiene el trabajo realizado por Núñez *et al.* (1998), quienes determinaron las concentraciones y correlaciones del Mercurio en el cerebro, branquias, hígado, músculo, páncreas y riñón de 44 cazones (*Rhizoprionodon terranovae*). Los resultados de su estudio indican el riesgo de consumo de carne de tiburón, determinando que son necesarios 280 g diarios para afectar la salud humana.

A nivel mundial se han realizado diversos estudios que conciernen a concentraciones de metales pesados acumulados en los tejidos de mamíferos marinos, peces, moluscos y tiburones como es el estudio de Adams y Mc Michel (1999), en el estado de Florida, quienes analizaron los valores de Mercurio en el tejido muscular de cuatro especies de tiburón: el tiburón toro

(*Carcharhinus leucas*), tiburón de puntas negras (*Carcharhinus limbatus*), el tiburón cazón (*Rhizoprionodon terranova*) y finalmente el tiburón martillo (*Sphyrna tiburo*), por medio de espectrofotometría de absorción atómica, en los cuales se encontró que el 60% de los juveniles y adultos de los tiburones analizados tuvieron concentraciones de Mercurio iguales o mayores a 0,5 ppm y el 12% restante presentaron valores mayores a 1,5 ppm.

Ehrlich *et al.* (1979), valoraron las concentraciones de Mercurio en tejidos musculares y en el hígado del marlín azul (*Makairans nigricans*) en las islas de Hawai y reportan una pequeña porción del Mercurio total encontrado como Mercurio orgánico. En Colombia Alonso y Pineda (1997) determinaron y compararon los procesos de bioacumulación y biomagnificación de Mercurio total entre la bahía de Cartagena y la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM), contempla los suelos, la columna de agua, y especies endémicas de cada zona, la lisa (*Mugil incilis*) presentó una concentración promedio de 0,014 ppm y la mojarra (*Eugerres plumieri*) 0,021 ppm en CGSM, mientras que para la Bahía de Cartagena 0,044 ppm y 0,020 ppm respectivamente.

Penedo *et al.* (2002) en las costas de Brazil evalúan los niveles de Mercurio total en cinco especies de tiburón con diferentes hábitos alimenticios, encontrando diferencias en las concentraciones de machos y hembras; donde los machos presentaron una concentración mayor de Mercurio, atribuyéndoselo a factores como los requerimientos energéticos, condición de maduración, depositación del Mercurio en los tejidos y la transferencia a los huevos y fetos.

Gomes *et al.* (2004) a lo largo del Océano Atlántico Ecuatorial midieron el Mercurio total en el tejido muscular de *Carcharhinus signatus*, obteniendo

que el promedio de las concentraciones del Mercurio, fue mayor que el límite máximo para el consumo humano establecido por el Ministerio de Salud de Brasil para peces carnívoros (1000  $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}\text{w.w}$ ).

Branco *et al.* (2004) reportan las concentraciones de Mercurio total y orgánico en el tejido muscular, y contenidos estomacales de 50 especímenes de tiburón azul, capturados cerca de las Islas Azores y Canarias, encontrando que las concentraciones de Mercurio orgánico varían entre 0,15 y 1,02  $\mu\text{g/g}$  peso húmedo en las Azores y entre 0,10 y 1,23  $\mu\text{g/g}$  peso húmedo en los tiburones azules en las Canarias incrementándose la concentración conforme los individuos eran más grandes, así mismo no encuentran diferencias significativas entre sexos para las concentraciones de Mercurio orgánico.

Storelli *et al.* (2003) en Italia reportan datos de metales (Hg, Cd, Pb, Cr, Se, As, Cu y Zn), metilmercurio y PCB (bifenil policlorinado) en el músculo e hígado del tiburón martillo *Sphyrna zygaena*, obteniendo como resultado una mayor concentración de estos metales en el hígado comparado con el tejido muscular; encontraron una media de  $12,15 \pm 4,60 \mu\text{g/g}$  peso húmedo de Mercurio.

Watling *et al.* (1981) en las costas de Sur África y Mozambique, miden las concentraciones de Mercurio en el tiburón mako (*Isurus oxyrinchus*). Ellos obtuvieron valores 0,55-5,67  $\mu\text{g/g}$  de Mercurio en el tejido muscular y una correlación positiva entre la talla de los individuos y las concentraciones de Mercurio.

El estudio de la bioacumulación y biomagnificación del Mercurio en tiburones es importante ya que permite determinar las posibles causas de estos

procesos, así como ayudar a explicar en un futuro las diferencias fisiológicas entre las especies, a partir de los distintos mecanismos de eliminación y acumulación del metal en cada una de ellas.

Por otra parte México es una nación con un elevado potencial de explotación de recursos pesqueros, donde las cuatro especies de tiburón estudiadas son las más abundantes y el principal recurso que sostiene la economía pesquera en la costa occidental de Baja California Sur y el Golfo de California, sirviendo de alimento a un sin número de comunidades costeras (Garayzar *et al.*, 1997; Núñez *et al.*, 1998), sumado a esto se encuentra la gran demanda de comercialización de su carne, aletas, cartílago y piel principalmente en los países asiáticos. A través de la biomagnificación el Mercurio llega al hombre, afectando su salud por el consumo de organismos contaminados sería de gran ayuda realizar controles toxicológicos periódicos en las diferentes partes comerciales del tiburón, los cuales alertarían a la población y auxiliarían al manejo integral de los recursos pesqueros.

Teniendo en cuenta que las cuatro especies de tiburones que se analizan en el presente estudio son individuos longevos y por lo tanto se encuentran expuestos por largos periodos de tiempo al Mercurio en el medio que los rodea, se esperaría encontrar altos niveles de Mercurio en el tejido muscular; adicionalmente estudios han demostrado que los juveniles por tener longitudes menores acumulan en sus tejidos y órganos menores concentración de Mercurio , a partir de esto se esperaría encontrar una relación entre la longitud y la concentración de Mercurio presente en los tiburones. Debido a las diferencias fisiológicas entre machos - hembras y especies se espera hallar diferencias significativas en sus concentraciones y

finalmente que dichas concentraciones de Mercurio se encuentren por encima de la Norma Oficial Mexicana para el consumo de peces carnívoros.

Por ello el presente estudio aporta información sobre la bioacumulación de Mercurio, en el tejido muscular de cuatro especies de tiburón capturadas en la costa occidental de Baja California Sur y del Golfo de California, México. Las especies analizadas fueron: el tiburón martillo (*Sphyrna zygaena*), tiburón azul (*Prionace glauca*), tiburón mako (*Isurus oxyrinchus*) y finalmente el tiburón piloto (*Carcharhinus falciformis*). Así mismo se determina la biomagnificación de este metal a través de sus principales presas. Todo esto con el fin de conservar los tiburones y obtener un manejo racional del recurso, pues dichos organismos cumplen un papel muy importante en las redes tróficas debido a su alta posición que puede afectar a la estructura y función de la comunidad a la cual hacen parte (Bowen, 1977 En: Cortes, 1999).

Los objetivos de esta investigación fueron determinar las concentraciones de Mercurio total en muestras de cuatro especies de tiburones anteriormente mencionados y sus respectivas presas capturadas en siete localidades que contemplan la costa occidental de Baja California Sur y el Golfo de California (México); evaluar el grado de biomagnificación a través de las presas consumidas (calamar, langostilla, macarela y mictófidios) por los tiburones; establecer la relación entre la bioacumulación del Mercurio con la longitud y sexo de los individuos capturados, finalmente determinar si las concentraciones de Mercurio en el músculo de los tiburones se encuentran dentro de los estándares establecidos para el consumo humano por las leyes mexicanas.

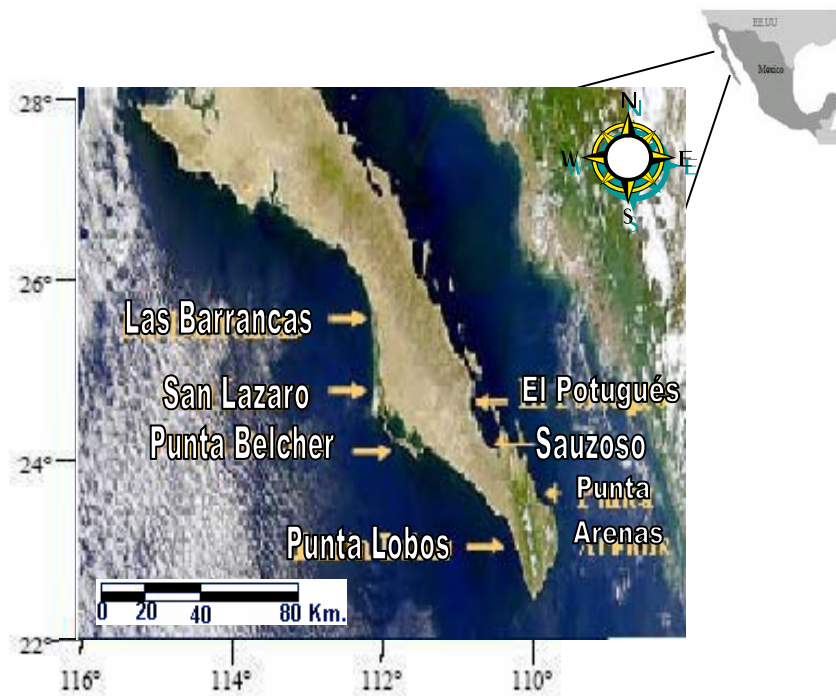


El presente estudio se encuentra dentro del proyecto Institucional del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) "Ecología de tiburones en el Golfo de California" en la ciudad de la Paz, Baja California Sur, México; con la ayuda logística del Departamento de Veterinaria-Toxicología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Con el fin de fomentar estrategias en el manejo sustentable de la pesca del tiburón y la conservación de las especies, que se han visto perjudicadas por la sobreexplotación del hombre a nivel mundial por diversos fines; el CICIMAR ha pretendido aportar información al realizar investigaciones a nivel biológico, hábitos tróficos por medio de isótopos de Carbono - Nitrógeno y estudios de reproducción en las especies de tiburón de Baja California Sur, México.

## 1. ÁREA DE ESTUDIO

La investigación se realizó con material biológico procedente de siete (7) localidades de Baja California Sur, de las cuales cuatro (4) se encuentran en la costa occidental de la Península de Baja California Sur (Las Barrancas,  $25^{\circ} 59' 52''$  N;  $112^{\circ} 11' 42''$  W; San Lázaro  $25^{\circ} 12'$  N;  $112^{\circ} 07'$  W., Punta Belcher,  $24^{\circ} 34'$  N y  $112^{\circ} 05'$  W y Punta Lobos,  $23^{\circ} 25'$  N y  $110^{\circ} 14'$  W), así como en tres (3) localidades del Golfo de California (El Portugués,  $24^{\circ} 47' 38''$  N y  $110^{\circ} 39' 39''$  W; El Sauzoso,  $24^{\circ} 18' 26''$  N y  $110^{\circ} 38' 17''$  W y Punta Arenas  $24^{\circ} 12'$  N,  $109^{\circ} 48'$  W) (Figura 1).

La costa occidental de Baja California Sur, se encuentra influenciada la Corriente de California la cual sigue una dirección sur paralela a la costa; la Contracorriente de Davidson en dirección norte y la por la corriente Norecuatorial (Gómez y Velez, 1982 En: Ribot, 2003). Paralelo a la costa la Corriente de California se mezcla con aguas del Océano Pacifico Ecuatorial, la cual entra a ser parte de la Corriente profunda de California a 200 m de profundidad (Wyrtsky, 1965).



**Figura 1. Localización geográfica del área de muestreo en la Península de Baja California Sur, México**

En primavera se reduce la Contracorriente de Davidson y la Corriente de California fluye cercana a la costa originando surgencias a lo largo de esta (López y Schimert, 1995), dichos eventos consisten en movimientos de masas de aguas profundas a la superficie, por lo tanto frías y ricas en nutrientes (Gómez y Vélez, 1982 En: Ribot, 2003).

Las surgencias son una característica prominente de la costa occidental de la Península y se encuentran durante todo el año, se intensifican en el periodo de febrero a junio debido a que predominan los vientos del noroeste (Norton *et al.* 1985), se observan con mayor frecuencia al sur de Punta Concepción y al sur de Bahía Magdalena; estas surgencias se extienden 50 km fuera de la costa (Simpson, 1987), a su vez permiten condiciones óptimas para el abastecimiento de nutrientes provenientes del transporte vertical de las masas de agua que ascienden a la zona eufótica, donde se realiza la

fotosíntesis, favoreciendo así a los primeros eslabones de las redes tróficas a la comunidad zooplanctónica reflejada en una buena pesca (Longurts, 1967).

El Golfo de California se encuentra situado entre la Península de Baja California en el oeste y los estados de Sonora y Nayarit hacia el este, abriendo su porción sur al Océano Pacífico; cuenta con aproximadamente 1.000 km de longitud y 150 km de ancho y es considerado como un mar marginal (Álvarez-Borrego, 1983). Debido a que se encuentra protegido por la cadena montañosa de 1 a 3 km de alto de la Península de Baja California, posee características más continentales que oceánicas; se caracteriza por ser una zona geográfica completamente de transición y cualidades hidrodinámicas singulares; (Bray, 1988b En: Brito-Castillo *et al.*, 2000).

El sur del Golfo del California esta influenciado principalmente por la masa de agua caliente del Golfo de California, así como por la Corriente de California y por último por masas de agua del Pacífico Ecuatorial. Estas masas de agua acompañadas de los sistemas de frentes oceánicos tienen un impacto biológico significativo en las poblaciones (alta productividad), reflejado en los florecimientos de fitoplancton y algunas pesquerías (Griffiths, 1965); gracias a las características topográficas y batimétricas, el Golfo de California presenta gran variedad de hábitats para peces y otros organismos marinos (Thompson *et al.*, 2000).

La costa occidental de Baja California Sur, no se encuentra influenciada por fuentes contaminantes antropogénicas debido a que no existen industrias en toda su costa, por lo cual existen pocos trabajos relacionados con metales pesados en la columna de agua y el sedimento; sin embargo en el Golfo de California, se han realizado estudios en diferentes áreas (Bahía de la Paz,

Santa Rosalía, Loreto, El Coyote, San Juan de la Costa), indicando que hay contaminantes tales como Cobre, Zinc, Selenio, Hierro y Magnesio entre otros, provenientes de industrias y de la actividad agrícola (Méndez *et al.*, 1998; Shumilin *et al.*, 2000). En la **localidad de Teacapan** (Golfo de California) se da una actividad minera en la zona, la Secretaria de Economía (2000) menciona que este sector registró una producción de 9.000 Ton anuales de metales preciosos como el oro en el cual se utiliza el Mercurio para su amalgamación. En los últimos años la región ha duplicado la producción, afectando el ecosistema con sus descargas de agua de lavado.

En el Golfo se presenta una gran diversidad de especies de tiburón que habitan de manera permanente o temporal, encontrándose 37 especies que son aprovechadas comercialmente por los pescadores, debido a esta diversidad de los tiburones la composición específica de las capturas cambia según la región y la estación del año; esta actividad es relativamente importante representando el 2,4% de la captura nacional de México. Se comercializa la carne, aletas, cartílago, piel y mandíbulas como adornos y artesanías; además el aceite se utiliza como lubricante en equipos de alta precisión y extracción de vitamina A; las vértebras son usadas con fines medicinales para la prevención de cáncer (Garayzar *et al.*, 1997). La mejor época de pesca es en primavera y verano debido a que estas especies se aproximan a la zona costera con fines reproductivos, gestación, crianza y copula, esto se atribuye también a que es una época de condiciones oceanográficas menos extremas y permiten el manejo de las embarcaciones lejos de las áreas protegidas del Pacífico y Golfo de California (Garayzar, 1996).

## **2. METODOLOGÍA**

### **2.1 FASE DE CAMPO**

#### **2.1.1 Colecta de Tiburones**

La colecta de los tiburones durante el período del 2001 al 2004, fue realizada por el proyecto "Ecología de Tiburones en el Golfo de California" del CICIMAR; el muestreo del año 2005 fue ejecutado por las integrantes de la presente investigación. Las colectas de los individuos se efectuaron en siete (7) localidades de la Península de Baja California Sur. En Las Barrancas se utilizó una red agallera con luz de malla de 15 a 20 cm, a una distancia de 5-6 millas de la costa y a una profundidad de 70 a 110 m; así mismo se empleó cimbra con carnada (Figura 2). En Punta Arenas, Punta Belcher y Punta Lobos, se utilizaron palangres de media agua y cimbra a 5, 6 y 7 millas de la costa respectivamente. En el Sauzoso y El Portugués, se emplearon redes agalleras con luz de malla 5-6 cm a 80 m de profundidad y en San Lázaro se utilizó palangre de media agua a 15 millas de la costa.

Una vez colectados los individuos se procedió al registro e identificación de la especie con claves taxonómicas de Compagno *et al.* (1995), así mismo se anotó el sexo y se midió la longitud total (LT). Posteriormente se colectó tejido muscular de la parte dorsal-anterior de los tiburones, las muestras se cubrieron en papel aluminio previamente etiquetado y se almacenaron en neveras con hielo a una temperatura de 4 °C para su posterior análisis en el Laboratorio de Toxicología del Departamento de Veterinaria de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).



**Figura 2. Colecta de tiburones en la localidad de Las Barrancas en la costa occidental de la Península de Baja California Sur, México.**

### **2.1.2 Colecta de calamares (*Dosidicus gigas*)**

Los calamares se colectaron por medio del arte de pesca "poteras" en lanchas con motor fuera de borda durante 5 horas en la noche, utilizando sistemas de luz (focos caseros de pocos wats), en el Golfo de Santa Rosalía durante el año 2005. Las muestras se almacenaron en bolsas y se transportaron al laboratorio en neveras a una temperatura de 4 °C para su análisis.

### **2.1.3 Colecta de mictófidos (*Symbolophorus evermanni*)**

Los datos de los mictófidos se obtuvieron en cruceros oceanográficos y de investigaciones de mamíferos marinos en el Océano Pacífico Oriental. Los barcos de investigaciones en los cuales se colectaron los mictófidos fueron

David Star Jordan y MacArthur II. Los mictófidios se colectaron durante la noche, por medio de una red de cuchara (dipnet) en la superficie.

#### **2.1.4 Colecta de macarela (*Scomber japonicus*)**

Las muestras de macarelas fueron donadas por el laboratorio de Edad y Crecimiento del CICIMAR, estas se colectaron junto con la sardina de monterrey (*Sardinops careuleus*) en la Bahía Magdalena, se utilizaron barcos sardineros usando encierros con redes durante la noche en el año 2005.

#### **2.1.5. Colecta de langostilla (*Pleurocodes planipes*)**

Las muestras de langostilla fueron colectadas de los contenidos estomacales de atunes capturados por medio de red de cerco en la costa occidental de Baja California Sur.

Se realizó una disección ventral de los atunes, donde se extrajo el estómago y por medio de un colador se retuvo el contenido estomacal de cada individuo; posteriormente se separó la langostilla del resto de la muestra para el análisis de Mercurio.

### **2.2 FASE DE LABORATORIO**

Las muestras se procesaron en el Laboratorio de Toxicología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM.

Para el caso de los mictófidios y la langostilla se separaron por grupos, debido a su pequeño tamaño; los mictófidios se dividieron en tres para determinar la concentración de Mercurio, el primer grupo conformado por 25 individuos con un peso seco de 1,55 g, el segundo por 26 mictófidios con 1,29 g de peso y el último por 8 ejemplares con 0,80 g, para un total de 79 individuos analizados.



La langostilla se procedió a separarla en cinco (5) grupos donde el peso seco de cada uno fue de 0,79 g.

Para determinar el Mercurio total se pesaron 5 g aproximados de tejido muscular de cada una de las especies de tiburón, así como de las diferentes presas, calamar, langostilla y macarela. Las muestras se llevaron a una estufa a 60 °C durante 24 h con el fin de deshidratarlas hasta peso seco. Posteriormente se maceraron con la ayuda de un mortero y se almacenaron en bolsas plásticas previamente etiquetadas.

### **2.2.1 Análisis (Digestión) de las muestras**

Se tomaron 0,5 g de cada una de las muestras pulverizadas, se llevaron a los respectivos vasos del digestor electromagnético en sistema cerrado (MARS 5, CERM Corporation, Falcon USA, 1997) (Figura 3), el cual permite que elementos que son volátiles como el Mercurio, Arsénico y Selenio no se pierdan. A los vasos se les añadió 2ml de agua destilada, 3ml de ácido nítrico y 1ml de peróxido de hidrógeno, con el fin de eliminar la materia orgánica y llevar el Mercurio inorgánico a su estado elemental.

Posteriormente las muestras se dejaron en reposo durante media hora, con el fin de hacer reaccionar las muestras, puesto que muchas de ellas presentan carbonatos y generan gases que pueden ejercer una presión muy alta dañando así el digestor de microondas. Los vasos se colocaron en el digestor durante 1 hora. Este proceso involucra cuatro fases: la primera somete a las muestras hasta alcanzar gradualmente en 6 min una temperatura de 100 °C, una vez llega a esta temperatura, se mantiene por 5 min, posteriormente en 4 min se incrementa hasta 140 °C y se conserva por 6 min, finalmente

desciende hasta llegar a la fase de enfriamiento de las muestras. Enfriadas las muestras se aforaron hasta 25 ml con agua desionizada y se almacenaron en frascos plásticos para su posterior lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica con generador de hidruros.



**Figura 3. Digestor electromagnético MARS 5, CERM Corporation, Falcon USA.**

### **2.2.2 Lectura de las muestras por el método de espectrofotetría de absorción atómica por generador de hidruros.**

Los reactivos que se usaron fueron los siguientes: solución acuosa de borohidruro de Sodio al 3% diluido en 1% de hidróxido de Sodio, solución acuosa de ácido clorhídrico al 1,5% y solución acuosa de permanganato de Potasio al 5%.

La lectura se realizó en un espectrofotómetro de absorción atómica con generador de hidruros de marca Perkin Elmer AAnalyst 100. Se establecieron las condiciones de operación del espectro de acuerdo al manual de operación del fabricante del equipo como son: lámpara específica de cátodo hueco, longitud de onda, abertura espectral, tiempo de lectura y repeticiones. La

curva estándar se hizo con la adición de 25, 50, 100 ug a partir de una solución de Mercurio de 1000 ng/ml. La lectura se practicó identificando la absorbancia de cada concentración. Esta lectura se realizó al accionar el sistema neumático (gas-nitrógeno) que inyecta la solución de boro hidruro en el frasco de reacción donde esta la muestra en solución ácida y tres gotas de permanganato de Potasio. En este frasco de reacción se forma el hidruro de Mercurio al poner en contacto el borohidruro con la muestra y es acarreado hasta la celda de cuarzo (Figura 4).



**Figura 4. Espectrofotómetro de absorción atómica con generador de hidruros Perkin Elmer AAnalyst 100.**

El cálculo se obtiene al transformar la absorbancia a concentración por medio de una regresión. Esta concentración es equivalente al volumen de la alícuota, dicha alícuota se refiere con el volumen de suspensión de la muestra para llegar al factor de dilución. El cálculo final se obtiene al multiplicar la cantidad de Mercurio obtenida en la alícuota con el factor de dilución con respecto al volumen total de la muestra, que al dividirse por los gramos de la

muestra se obtiene el número de nanogramos de Mercurio en cada gramo de muestra (Perkin Elmer, 1994).

### **2.3 FASE DE GABINETE**

Los datos obtenidos del músculo de los tiburones se agruparon por especie, sexo, longitud, lugar de captura. Los lugares de captura se organizaron por áreas, donde las localidades de Las Barrancas, San Lázaro, Punta Belcher y Punta Lobos se encuentran en el Océano Pacífico; mientras que en Punta Arenas, Sauzoso y Portugués se localizan en el Golfo de California, siendo la variable de respuesta la concentración de Mercurio (ng/g). Con objeto de cumplir con los supuestos de normalidad, independencia se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov, donde los datos fueron normales, de igual forma lo hizo la prueba de Burr–Foster (Q-test) para la homogeneidad de varianzas.

Con objeto de estimar el efecto de especie y el sexo con relación a la variable de la concentración de Mercurio se usó ANOVA, representado como:

$$Y_{ijk} = \mu + E_i + S_j + ES_{ij} + \beta_1(x-\mu) + \beta_{11} (x- \mu )^2 + \varepsilon_{(ij)k}$$

Donde:  $Y_{ijk}$  representa la k-ésima observación aleatoria de la concentración de Mercurio (ng/Hg/g),  $\mu$  es la media poblacional,  $E_i$  es el efecto de la i-ésima especie (sp1, sp2, sp3 y sp4),  $S_j$  es el efecto del j-ésimo sexo (macho y hembra),  $ES_{ij}$  es el efecto de la p-ésima especie con el j-ésimo sexo,  $\beta_1$   $\beta_{11}$  es la covariable longitud (x) en sus efectos lineal y cuadrático y  $\varepsilon_{(ij)k}$  es el error aleatorio NID (0,  $\sigma^2$ ) ( PROC GLM, SAS, 2004), posteriormente se realizó la prueba de tukey para determinar cual especie es diferente de las demás.

Para el efecto de longitud sobre concentración de Mercurio para cada especie (ng/g), se utilizó un modelo de regresión, así mismo se estimó la correlación lineal de Pearson para estas variables (PROC REG Y PROC CORR. SAS, 2004). Para poder comparar los resultados con estudios relacionados al tema, se convirtió los ng/g de Mercurio (ppb) a  $\mu\text{g/g}$  (ppm).

Para el análisis de biomagnificación se midió la relación en partes por millón de Mercurio (ppm) utilizando la siguiente fórmula, basada en la definición de Gray (2002), donde establece el incremento de la concentración entre los niveles tróficos siempre y cuando el factor de biomagnificación sea  $> 1$ :

**Factor de biomagnificación:** nivel trófico secundario/ nivel trófico primario

### 3. RESULTADOS

Durante los cinco años de muestreo, se seleccionaron un total de 91 músculos pertenecientes a las cuatro especies de tiburón, de los cuales solo de 70 se tiene el registro de la localidad donde fueron capturados, la longitud y el sexo (Tabla 1). En la localidad de Las Barrancas se capturaron 8 individuos de *Isurus oxyrinchus*, 2 de *Sphyrna zygaena*; en Punta Arenas se obtuvieron 7 tiburones de la especie *Prionace glauca*; en la localidad de Punta Lobos se colectaron 5 individuos de *Isurus oxyrinchus*, 5 de *Sphyrna zygaena* y 1 individuo de *Carcharhinus falciformis*. Se apresaron 5 individuos de *Sphyrna zygaena* en la localidad de Sauzoso y 10 en la localidad de Portugués. En Punta Belcher se colectaron 7 individuos de *Isurus oxyrinchus*, 5 de *Prionace glauca* y 14 de *Carcharhinus falciformis*. Finalmente 8 de *Prionace glauca* en San Lázaro, para los cuales no se tienen datos de sexo y longitud.

**Tabla 1. Muestreo de tejido muscular de las cuatro (4) especies de tiburones en la costa occidental de Baja California Sur y Golfo de California, México.**

<b>Especie</b>				
<b>Localidad</b>	<i>Isurus oxyrinchus</i>	<i>Sphyrna zygaena</i>	<i>Prionace glauca</i>	<i>Carcharhinus falciformis</i>
<b>O. Pacífico</b>				
La Barrancas	8	2		
Punta Belcher	7		5	14
San Lázaro			8	
Punta Lobos	5	5		1
<b>G. California</b>				
Punta Arenas			7	
El Sauzoso		5		
Portugués		10		

### 3.1 BIOACUMULACIÓN

De los 91 músculos pertenecientes a las cuatro (4) especies de tiburón, 17 individuos correspondientes a *C. falciformis* obtuvieron un valor promedio de Mercurio de  $2,64 \pm 0,28$  ppm,  $0,82 \pm 0,34$  ppm Hg fue el valor para 20 tejidos musculares de la especie *P. glauca*, *I. oxyrinchus* presentó una media de  $1,50 \pm 0,20$  ppm Hg en 24 muestras, finalmente *S. zygaena* registró un promedio de  $1,33 \pm 0,22$  ppm Hg en 30 ejemplares muestreados. (Tabla 2).

**Tabla 2. Promedios de la concentración de Mercurio en el músculo y longitud total de acuerdo a la especie y al sexo del tiburón (n= numero de muestras).**

Especie	n	Concentración de Mercurio en ppm	n	Longitud (cm)
<i>Carcharhinus falciformis</i>	17	$2,64 \pm 0,28$	15	$197,02 \pm 80,7$
<i>Prionace Glauca</i>	20	$0,82 \pm 0,34$	12	$184,90 \pm 12,08$
<i>Isurus oxyrinchus</i>	24	$1,50 \pm 0,20$	20	$126,64 \pm 6,81$
<i>Sphyrna zygaena</i>	30	$1,33 \pm 0,22$	22	$115,18 \pm 6,88$
Sexo				
Machos	39	$1,48 \pm 0,14$	39	$159,88 \pm 5,09$
Hembras	31	$1,66 \pm 0,19$	31	$151,99 \pm 7,09$
Promedio	91	$1,61 \pm 1,35$	91	$151,78 \pm 51,49$

Con respecto a las cuatro especies de tiburones los valores mínimos y máximos para *C. falciformis* oscilan entre  $1,05 - 5,34$  ppm Hg, *P. glauca* entre  $0,75 - 3,43$  ppm Hg, *I. oxyrinchus*  $0,43 - 4,21$  ppm Hg y *S. zygaena*  $0,23 - 2,77$  ppm Hg. Se observó la mayor concentración de Mercurio en la especie *C. falciformis* superior en un 116% con respecto a las otras tres especies *S. zygaena*, *P. glauca* y *I. oxyrinchus* que no mostraron diferencias estadísticas entre ellas (Figura 5 a y Tabla 3).

**Tabla 3. Valores de significancia por la prueba de Tukey que muestra los grupos conformados para la concentración de Mercurio (ppm) de las especies de tiburón.**

<i>i/j</i>	<i>C. falciformis</i>	<i>P. glauca</i>	<i>I. oxyrinchus</i>	<i>S. zygaena</i>
<i>C. falciformis</i>		$p=.0001$	$p= 0.0042$	$p= 0.0025$
<i>P. glauca</i>	$p= .0001$		$p= 0.1071$	$p= 0.2408$
<i>I. oxyrinchus</i>	$p= 0.0042$	$p= 0.1071$		$p= 0.5297$
<i>S. zygaena</i>	$p= 0.0025$	$p= 0.2408$	$p= 0.5297$	

$P < 0.05$  es estadísticamente significativo

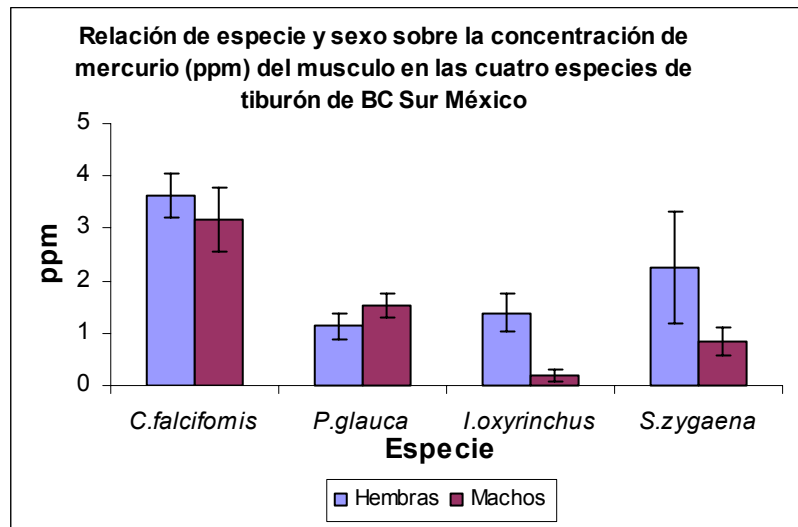
Para la longitud se evidenciaron dos grupos según la prueba de Tukey, el primero conformado por *C. falciformis* y *P. glauca* con longitudes mayores; el segundo por *I. oxyrinchus* y *S. zygaena*, con longitudes menores (Figura 5b y tabla 4). Con relación al sexo, el promedio de la concentración de mercurio en (39) machos y (31) hembras fue de  $1,48 \pm 0,14$  ppm Hg y  $1,66 \pm 0,19$  ppm Hg respectivamente (Tabla 2).

**Tabla 4. Valores de significancia por la prueba de Tukey que muestra los grupos conformados para la longitud (cm) de las especies de tiburón.**

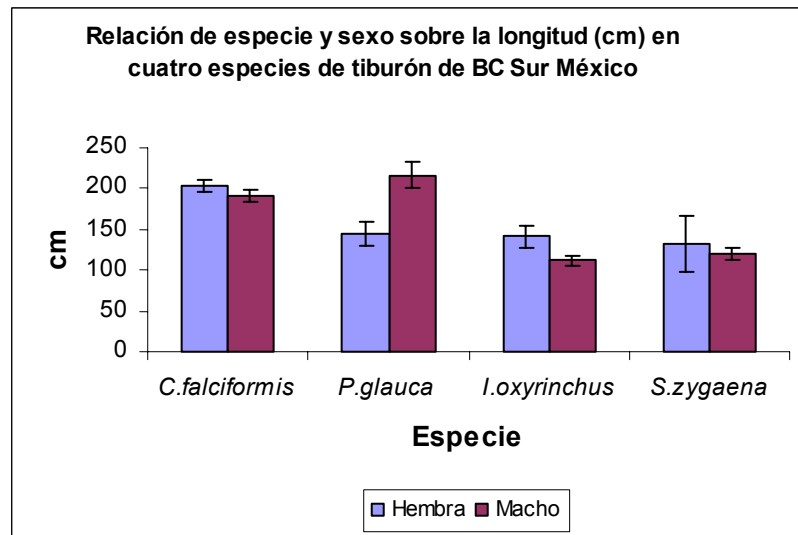
<i>i/j</i>	<i>C. falciformis</i>	<i>P. glauca</i>	<i>I. oxyrinchus</i>	<i>S. zygaena</i>
<i>C. falciformis</i>		$p= 0.4075$	$p= .0001$	$p= .0001$
<i>P. glauca</i>	$p= 0.4075$		$p= .0001$	$p= .0001$
<i>I. oxyrinchus</i>	$p= .0001$	$p= .0001$		$p= 0.2411$
<i>S. zygaena</i>	$p= .0001$	$p= .0001$	$p= 0.2411$	

$P < 0.05$  es estadísticamente significativo





5a



5b

**Figuras 5. Relación de machos y hembras de las cuatro especies de Tiburón con respecto a: a) las concentraciones de Mercurio encontradas en el tejido muscular, b) la longitud de los individuos.**

En la Tabla 5, se presenta el efecto por especie de tiburón y sexo sobre la longitud y concentración de Mercurio. Estos resultados muestran diferencias significativas entre especies para longitud ( $p=0,0001$ ) y concentración de

Mercurio; sin embargo no se observó un efecto de sexo con respecto a la longitud y a las concentraciones de Mercurio ( $p=0,3699$  y  $p=0,4438$ ). No se encontró diferencias entre el sexo para cada una de las especies estudiadas con respecto a las concentraciones de Mercurio ( $p= 0,9585$ ).

Respecto a la longitud, se encontró una relación positiva ( $r=0.65$   $p=0,001$ ) con la concentración de Mercurio para las cuatro especies; se observó una relación directa entre las concentraciones de Mercurio y la longitud de los tiburones, a excepción del tiburón *P. glauca* el cual no presentó ninguna correlación significativa ( $r=0,09837$   $p=0,7610$ ) (Tabla 6 y figuras 6d). *I. oxyrinchus* ( $r=0,82665$  y  $p=0,0001$ ) fue el que exhibió el mejor comportamiento cuadrático de la concentración de Mercurio con respecto a la longitud (Figura 6c), seguido de *S. zygaena* y *C. falciformis* en los cuales también se observa una relación positiva del incremento de Mercurio a medida que el individuo aumenta su tamaño ( $r=0,71711$ ;  $p=0,0003$  y  $r=0,66223$ ;  $p=0,0072$  respectivamente) (Figuras 6 a y b).

**Tabla 5. Cuadrados medios de concentración de Mercurio del músculo de tiburón. Efecto por especie de tiburón y sexo sobre la longitud y concentración de Mercurio capturados en la Península de Baja California Sur, México (ANOVA). (GI = grados de libertad, n-1).**

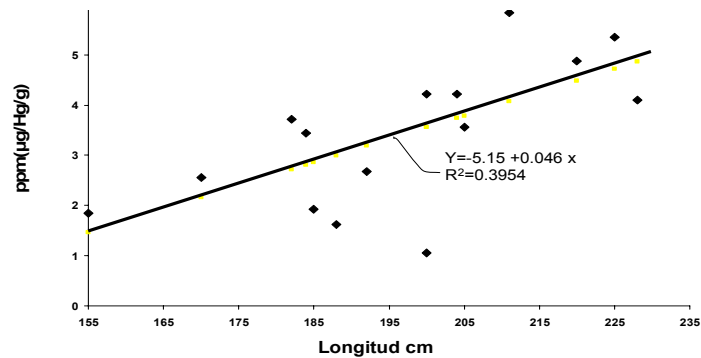
Origen de Variación	GI	Longitud (cm)	P	F	GI	Concentración de Mercurio (ppm)	P	F
Especies sp	3	25447,81	0,0001	26,16	3	5,3386	0,0001	8,05
Sexo (S)	1	793,80	0,3699	0,82	1	0,3944	0,4438	0,59
E*S	-	-	-	-	3	0,0677	0,9585	0,10
$\beta_1(x-\mu)$	-	-	-	-	1	3,9248	0,0181	-
$\beta_{11}(x-\mu)^2$	-	-	-	-	1	1,3197	0,1637	-
Error	61	972,74	-	-	59	0,6635578	-	-

**Tabla 6. Correlaciones con respecto a la longitud y sus respectivas ppm de Mercurio (en músculo) para las cuatro especies de tiburón capturadas en la costa occidental de Baja California Sur y Golfo de California, México.**

<b>Especie</b>	<b>R</b>	<b>p</b>
<i>Carcharhinus falciformis</i>	0,66223	0,0072
<i>Prionace glauca</i>	0,09837	0,7610
<i>Isurus oxyrinchus</i>	0,82665	0,0001
<i>Sphyrna zygaena</i>	0,71711	0,0003

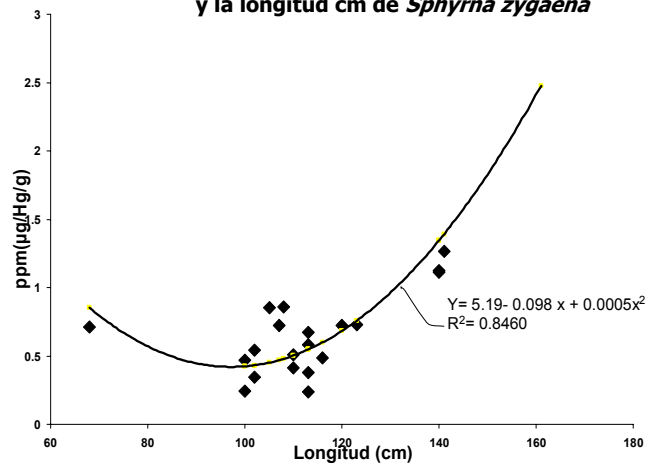
La correlación en general para las cuatro especies fue de 0.65  $p=0,0001$

**Relación entre la concentración de Mercurio ppm y la longitud cm de *Carcharhinus falciformis***



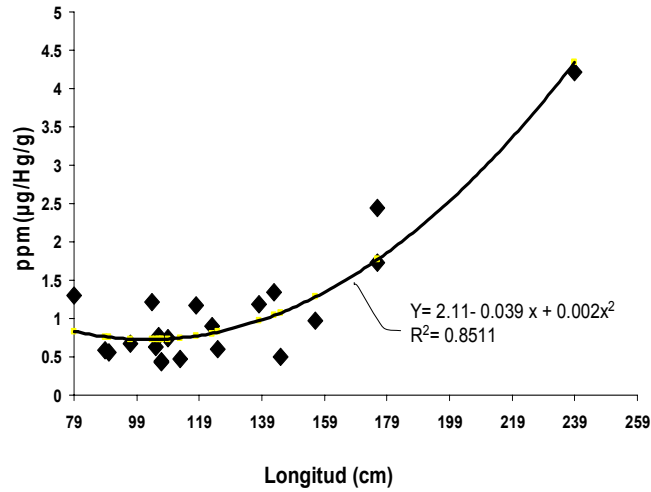
6a

**Relación entre la concentración de Mercurio ppm y la longitud cm de *Sphyrna zygaena***



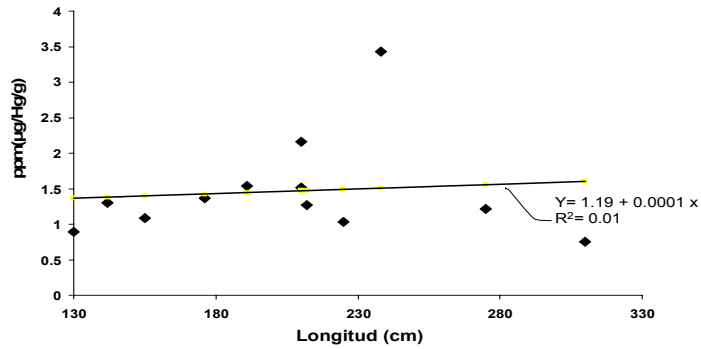
6b

Relación entre la concentración de Mercurio ppm y la longitud cm de *Isurus oxyrinchus*



6c

Relación entre la concentración de Mercurio ppm y la longitud cm de *Prionace glauca*



6d.

Figura 6. Concentraciones de Mercurio en ( $\mu\text{g}/\text{g}$ ) con respecto a la longitud de las cuatro especies de tiburón en la Península de Baja California Sur, México. a) *Carcharhinus falciformis* (n=15); b) *Sphyrna zygaena* (n=21); c) *Isurus oxyrinchus* (n=21); d) *Prionace glauca* (n=12).

A pesar que la investigación no se centro en determinar diferencias entre años, areas y épocas climáticas, al realizar el análisis estadístico (ANOVA) se encontró diferencias significativas entre las variables (año, época y área), las cuales deben tenerse en cuenta para futuros estudios que puedan determinar las posibles causas bióticas y abióticas de cada una de las áreas de muestreo. Por esta razón a continuación se describen los resultados obtenidos de dicho análisis.

El valor promedio de Mercurio para los cinco (5) años de muestreo fue 0,2801 ppm y no hubo diferencias significativas ( $p=0,8709$ ). Para las áreas del Océano Pacífico y el Golfo de California el promedio fue de 0,1935 ppm Hg,  $p=0,6459$ , el Océano Pacifico presentó las mayores concentraciones de Mercurio en los tiburones muestreados, donde Punta Belcher reflejo el valor máximo ( $2,54 \pm 0,31$ ppm Hg) y en mínimo se observó en Las Barrancas ( $0,69 \pm 0,07$ ppm Hg), mientras que las menores concentraciones se encontraron en el Golfo de Baja California siendo la localidad del Portugués ( $0,52 \pm 0,06$ ppm Hg) el mínimo valor obtenido y el máximo valor se encontró en Punta Arenas ( $1,70 \pm 0,33$ ppm Hg) (Tabla 7).

Finalmente para las dos épocas climáticas (cálido y frío) se obtuvo un promedio de 10,9623 ppm Hg encontrando diferencias significativas entre las dos épocas ( $p=0,0010$ ), el máximo valor encontrado en la época cálida se presentó en el mes de junio ( $3,54 \pm 0,39$  ppm Hg) y el mínimo en noviembre ( $1,10 \pm 0,17$ ppm Hg) con respecto a la época fría el valor máximo fue  $1,38 \pm 0,12$ ppm Hg en mayo y el mínimo fue de  $0,59 \pm 0,10$  ppm Hg en el mes de marzo (Tabla 7 y Anexo A).

### 3.1.1 Bioacumulación de Mercurio en las presas de los tiburones.

El promedio de las concentraciones de Mercurio para la macarela (*Scomber japonicus*) fue de  $0,57 \pm 0,0202$  ppm Hg, el cual presentó la mayor concentración con respecto a las otras especies, seguida de los mictófidios (*Simbolophorus evermanni*), los cuales exhibieron  $0,3396 \pm 0,1324$  ppm Hg. Las concentraciones más bajas se encontraron en la langostilla (*Pleurocodes planipes*) la cual exhibió un promedio de  $0,1303 \pm 0,0090$  ppm y en los calamares (*Dosidicus gigas*)  $0,1158 \pm 0,0527$  ppm Hg, siendo el que menos acumula Mercurio de las cuatro especies de presas analizadas, lo cual puede ser debido al rápido metabolismo (tabla 8).

**Tabla 7. Concentraciones promedio de Mercurio (ppm) en el músculo de las cuatro (4) especies de tiburón en las siete (7) localidades muestreadas. (n es el número de observaciones,  $X \pm EE$  el promedio con su desviación estándar, IC: índice de confiabilidad).**

Área de estudio	N	$X \pm EE$	IC < 0.05	IC > 0.05
<b>Golfo de California</b>				
Portugués	10	$0,52 \pm 0,06$	0,37	0,67
Sauzoso	5	$0,72 \pm 0,16$	0,27	1,17
Punta Arenas	7	$1,70 \pm 0,33$	0,89	2,51
<b>Total</b>	<b>22</b>	<b><math>0,94 \pm 0,16</math></b>	<b>0,61</b>	<b>1,27</b>
<b>Costa Occidental de Baja California Sur</b>				
Las Barrancas	10	$0,69 \pm 0,07$	0,53	0,84
San Lázaro	8	$2,12 \pm 0,50$	0,94	3,31
Punta Belcher	26	$2,54 \pm 0,31$	1,89	3,19
Punta Lobos	11	$1,23 \pm 0,23$	0,71	1,75
<b>Total</b>	<b>55</b>	<b><math>1,88 \pm 0,20</math></b>	<b>1,49</b>	<b>2,28</b>

### 3.2 BIOMAGNIFICACIÓN

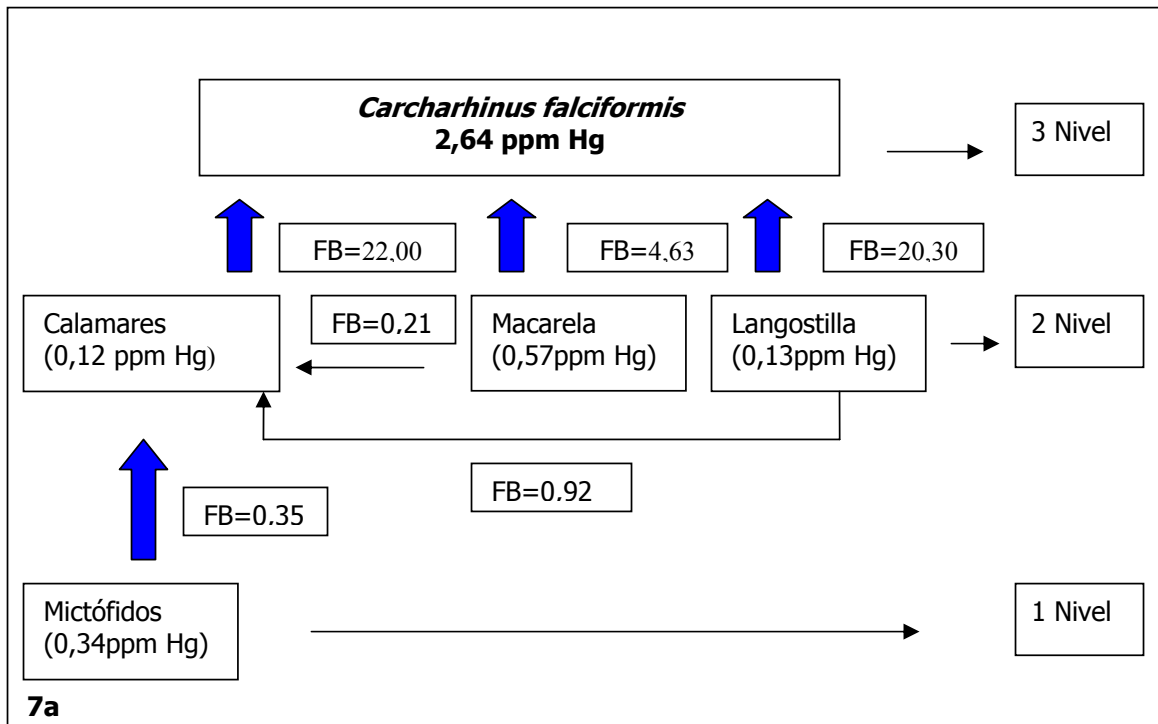
#### Factor de Biomagnificación (FB)

Se observó una biomagnificación del Mercurio a través de la red trófica de las cuatro (4) especies de tiburón, donde el mayor incremento de la concentración de Mercurio proviene de los calamares (*D. gigas*) al siguiente nivel trófico (tercer nivel), el menor incremento se da por parte de la macarela (*S. japonicus*). En *C. falciformis* el factor de biomagnificación por parte de los calamares fue de 22,00, seguido de la langostilla (*P. planipes*) con 20,30 y por último la macarela con 4,63 (Figura 7a). Para *I. oxyrinchus* el FB de los calamares fue de 12,50; de la langostilla fue de 11,54 y la macarela 2,63 (Figura 7b). La especie *S.zygaena* presentó un FB proveniente de los calamares de 11,08; la langostilla de 10,23 y la macarela de 2,33 (Figura 7c); finalmente el FB dado por los calamares a el individuo *P. glauca* fue de 6,83; de la langostilla 6,30 y la macarela 1,44 (Figura 7d).

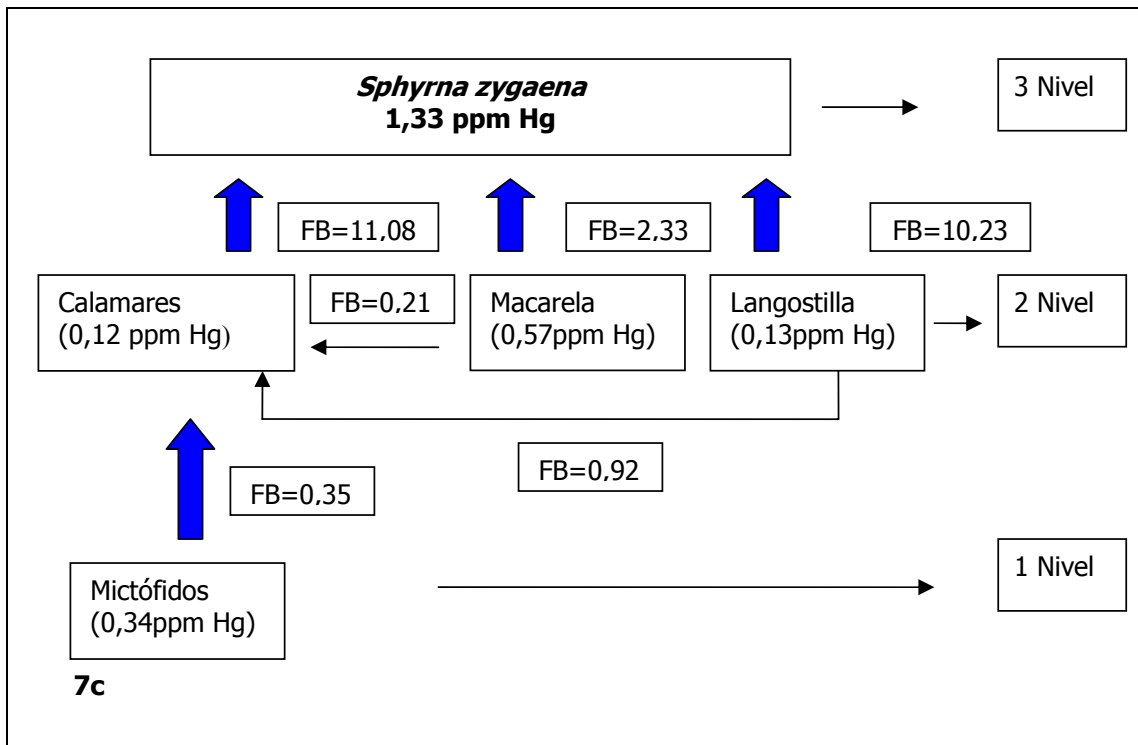
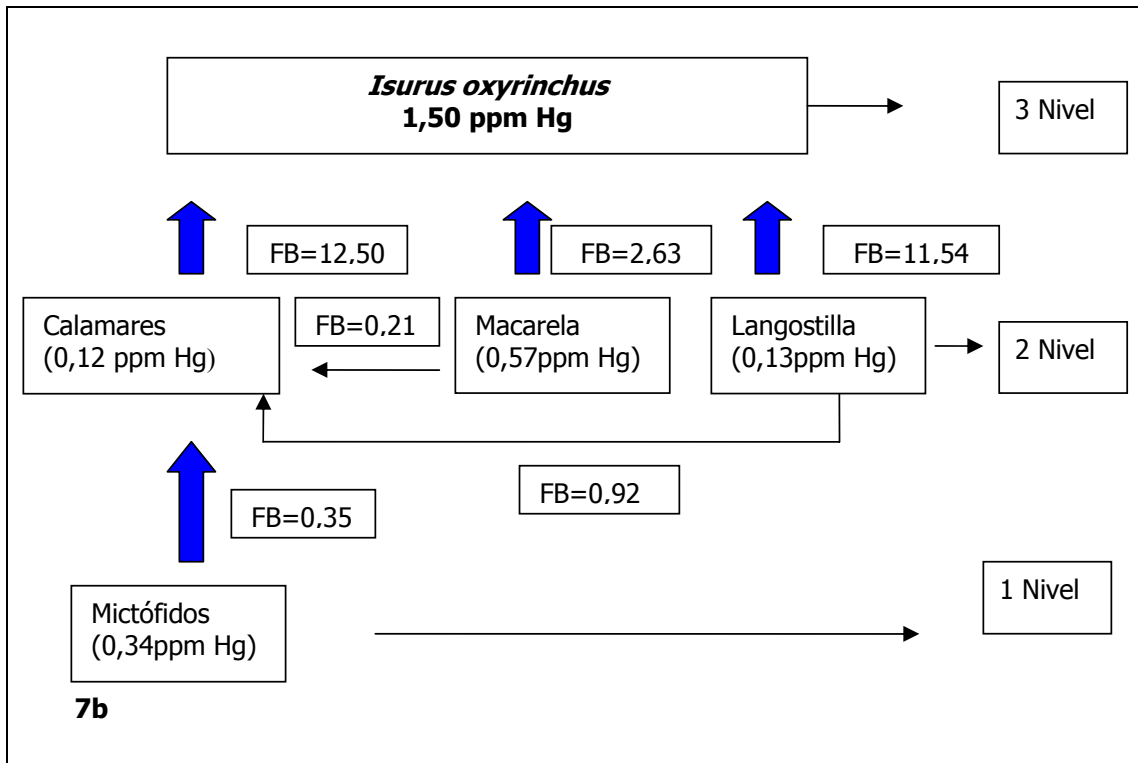
**Tabla 8. Promedios de las concentraciones de Mercurio (ppm) en las presas de los tiburones analizados, IC es el intervalo de confianza .**

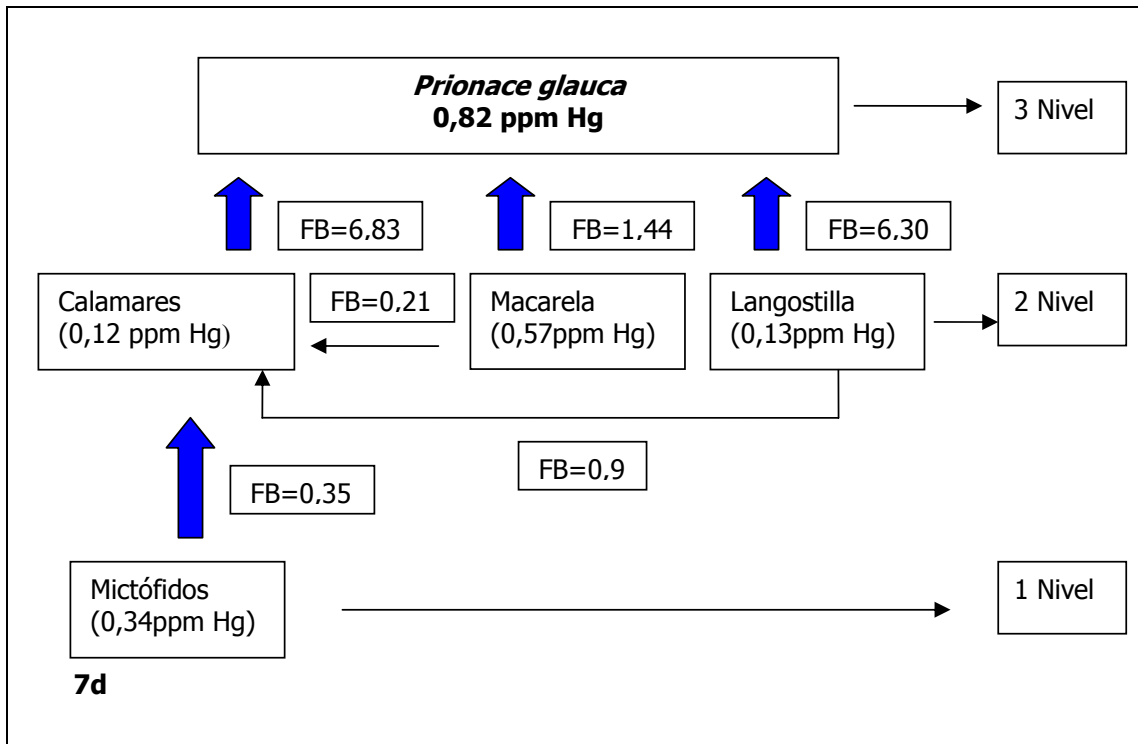
<b>Individuos</b>	<b>Promedio ± EE</b>	<b>IC &lt; 0.05</b>	<b>IC &gt; 0.05</b>
Calamares ( <i>D. gigas</i> )	0,1158 ± 0,0527	0,0034	0,2282
Langostilla ( <i>Pleurocodes planipes</i> )	0,1303 ± 0,0090	0,1054	0,1552
Macarela ( <i>Scomber japonicus</i> )	0,570 ± 0,0202	0,0009	0,1131
Mictofidos ( <i>Simbolophorus evermanni</i> )	0,3396 ± 0,1324	-0,0279	0,7072

En cuanto a la red trófica de los calamares no se observó una biomagnificación importante proveniente de sus presas (mictófidios, langostilla y macarela), siendo el FB de la langostilla el que más se acerca a 1 (0,92), contrario al FB de la macarela que se aleja de 1 (0,21) (Figura 7).









**Figura 7. Promedio de las concentraciones de Mercurio de las presas y el factor de biomagnificación del Mercurio (nivel trófico secundario ppm / nivel trófico primario ppm) para cada especie de tiburón en su cadena alimenticia en la costa occidental de Baja California Sur y Golfo de California, México. a) *Carcharhinus falciformis*; b) *Isurus oxyrinchus*; c) *Sphyrna zygaena*; d) *Prionace glauca*.**

## DISCUSIÓN

### 4.1 BIOACUMULACIÓN

Los resultados de este estudio indican que las concentraciones de Mercurio en el músculo de *Carcharhinus falciformis*, *Isurus oxyrinchus* y *Sphyrna zygaena* están por encima de 1,0 ppm, límite establecido por la Norma Oficial Mexicana para el consumo humano de peces carnívoros; a diferencia de *Prionace glauca* el cual presentó valores por debajo de este límite (Tabla 2). Esta acumulación encontrada en los tiburones está asociada al hecho de que son organismos longevos, presentan un crecimiento lento, una baja reproducción y un alto nivel trófico en la cadena alimenticia, características que contribuyen a una acumulación substancial de Mercurio en sus tejidos (Lyle, 1981).

Una vez entra el Mercurio al individuo se distribuye por todos sus tejidos concentrándose principalmente en el músculo en altos niveles como se observó en los resultados del presente estudio, sin embargo en otras investigaciones se ha demostrado que el hígado y el riñón también son importantes órganos receptores de este metal (Núñez *et al.*, 1998).

Al comparar las cuatro especies de tiburón, se determinaron diferencias significativas en las concentraciones de Mercurio ( $p=0,0001$ ). La mayor concentración de Mercurio se presentó en la especie *C. falciformis* ( $2,64 \pm 0,28$  ppmHg), esto puede explicarse en parte a que es considerada como un depredador epipelágico que se encuentra más comúnmente en zonas costeras donde hay una mayor productividad de especies presa que en el océano abierto, a comparación de las otras especies que son más oceánicas

(tiburón azul *P. glauca*) y bentónicas (el tiburón martillo *S. zygaena*) (García, 2003); estas presas costeras que pueden ser consumidas por *C. falciformis* están más expuestas a la contaminación antropogénica y natural que este ocurriendo en dicha zona.

Los individuos obtenidos de *C. falciformis* fueron colectados en la localidad de Punta Belcher, esta se encuentra muy cerca de Bahía Magdalena de la cual surgen aportes de materia orgánica hacia el mar abierto por el reflujó mareal (López *et al.*, 1990), ésta materia orgánica se caracteriza por tener partículas muy finas (<63 µm) capaces de retener los nutrientes, el agua y metales pesados (p ej. Mercurio) (Aston y Chester, 1976 En: Alonso y Pineda, 1997). Debido a esto puede haber una disponibilidad en la columna de agua del metal, contribuyendo a la alta bioconcentración del Mercurio en el tiburón, puesto que también pueden retenerlo por medio de las branquias, como fue demostrado en el estudio realizado por Nuñez *et al.*, 1998, quienes reportan concentraciones de Mercurio en las branquias del tiburón cazón. Así mismo, la tasa de eliminación de este metal puede ser más lenta que las otras especies, debido a que las concentraciones en el ambiente pueden sobre pasar el umbral de tolerancia de la especie (Fitzgerald, 2004).

La mayoría de los individuos de *I. oxyrinchus* fueron colectados en Punta Belcher y Las Barrancas, esta última se caracteriza por estar cerca de cañones y montañas submarinas y presentar una plataforma continental menos pronunciada, por lo tanto favorece la abundancia de peces presa, debido a los intensos remolinos y surgencias, favoreciendo una mayor productividad biológica. Estas características hacen que la zona de pesca cercana a Las Barrancas sea un área de alimentación para los tiburones Mako juveniles (Velasco-Tarelo, 2005). Estas especies juveniles se encuentran a

poca profundidad y más cerca a la costa (Gilbert *et al.*, 1967), por ende su alimentación está basada en las presas que se encuentren en dicha área, lo cual implica que estén más expuestos a los contaminantes; sin embargo la bioacumulación del metal depende también del periodo de exposición y la biodisponibilidad del metal en el medio, es por esto que no solo los individuos juveniles se ven perjudicados, sino también los adultos por el hecho de tener más tiempo de vida que contribuye a su acumulación.

*I. oxyrinchus* presenta una alimentación específica y selectiva principalmente por el pez bentónico *Prionotis albirrostris* (Velasco, 2005), siendo el consumo por esta presa una diferencia con el hábito alimenticio de las otras especies de tiburón analizadas; esta especie de pez puede estar bioacumulando cantidades altas del metal y estar contribuyendo a una mayor acumulación en la especie de tiburón para la zona de estudio. Las concentraciones de Mercurio para este tiburón Mako presentan un intervalo de Mercurio por debajo al que reporta Watling *et al.* (1981) en las costas de Australia (2,36-22,32 ppm Hg ps), posiblemente se deba a que en su estudio todos los individuos fueron adultos, bioacumulando en sus tejidos u órganos niveles más altos de Mercurio a comparación del rango encontrado para el mako en el presente trabajo. Al igual que en su investigación se encontró una alta correlación (82%), con respecto a la concentración de Mercurio y la longitud, siendo la especie que presentó la mayor correlación de las cuatro especies estudiadas (Figura 6c).

El tiburón martillo *S. zygaena* presentó una concentración promedio de Mercurio  $1,33 \pm 0,22$  ppm Hg, es 10 veces inferior al obtenido por Storelli *et al.* (2003), quienes registraron en Italia  $48,60 \pm 4,60$  ppm de Mercurio en el músculo, esto presumiblemente significaría que puede existir una mayor

concentración de Mercurio en la red alimenticia en las aguas del Mediterráneo y que el tiempo de residencia de los especímenes analizados en el Golfo de California y la costa occidental del Pacífico sea tan corto que el Mercurio aún no se vincule en niveles altos. La acumulación del metal es atribuida a los hábitos alimenticios de este tiburón debido a que es un depredador eficiente de organismos bentónicos, tales como peces, crustáceos y cefalópodos (Smale y Cliff, 1998). Se observó una correlación positiva y significativa ( $r=0,71711$ ;  $p=0,0003$ ) entre la longitud y la concentración de Mercurio, esta correlación significativa del metal puede ser gracias a la lenta eliminación del Mercurio con relación a la alta tasa de acumulación (Bryan, 1984 En: Adams y Mc Michael, 1999) (Tabla 6 y Figura 6b).

El tiburón azul (*P. glauca*) fue la especie que presentó la menor bioacumulación de Mercurio ( $0,82 \pm 0,34$  ppm Hg) de las especies analizadas en este estudio. Sus concentraciones estuvieron por encima del rango reportado por Branco *et al.* (2004) para el Atlántico (0,60-4,04 ppm Hg) puesto que el 83% de los individuos analizados por ellos fueron juveniles lo que podría implicar que presentan un periodo de exposición más corto al Mercurio que los individuos adultos del presente estudio.

A diferencia de lo reportado por estos autores, en este estudio no hubo una tendencia de la concentración de Mercurio a aumentar a medida que la talla de los individuos se incrementaba (Figuras 6d), esto tal vez se deba a que este tiburón presenta mecanismos más eficientes de eliminación de Mercurio debido a una mayor síntesis de metalotioneína, proteína encargada de donar radicales metilo para ocultar los iones activos del metal, jugando así un papel importante en la desintoxicación del Mercurio (Nuñez *et al.*, 1998; Wisniewska *et al.*, 1970 En: Cuvín-Aralar y Furness, 1991).

Otro mecanismo de eliminación efectivo para el tiburón azul podría ser almacenar el metal en gránulos intracelulares durante largos periodos, para eliminarlos a través de las heces (Hogstry y Haux, 1991 En: Fitzgerald, 2004), o el individuo puede metabolizar y excretar mas efectivamente el Mercurio si hay presencia del Selenio (Cuvin-Alarar y Furness, 1991). Sin embargo sería de gran ayuda realizar estudios con respecto a los diferentes mecanismos de eliminación, para determinar si las bajas concentraciones de Mercurio en el músculo del tiburón azul se deban a dichos procesos.

En el presente estudio los individuos de *P. glauca* estaban completamente adultos esto indica que sus desplazamientos migratorios son hacia aguas más profundas y lejos de la costa, en comparación con los tiburones juveniles, los cuales son más costeros. Esta característica hace que sus hábitos alimenticios sean pelágicos (Presas epipelágicas-mesopelágicas) y sus presas estén en aguas oceánicas y menos expuestas a la contaminación, por lo tanto la ingesta del Mercurio por parte del tiburón azul no sea constante, resultando una disminución de la concentración a lo largo del tiempo (Phillips, 1980 En: Alonso y Pineda, 1997).

La diferencia entre la bioacumulación del Mercurio en las diferentes especies de tiburones analizados, esta influenciada por la disponibilidad de presas con diferente cantidad de Mercurio, así como el Mercurio contenido en los sedimentos, agua y materia en suspensión con los que interactúa cada organismo. También depende de las propiedades químicas del metal (hidrosolubles, liposolubles y resistencia a la degradación), como las del Mercurio, donde su forma inorgánica es soluble en agua, y menos difusible a través de la membrana celular que el metilmercurio, el cual es soluble en

lípidos, transpasa fácilmente las membranas y es la forma más tóxica del metal, por eso la importancia de su estudio (Hall, 2002).

Otro factor que influye en la bioacumulación son los procesos bioquímicos específicos y la fisiología de cada una de las especies, como la absorción, excreción, crecimiento y aspectos reproductivos de cada organismo. *C. falciformis*, *S. zygaea* y *P. glauca* son especies vivíparas placentarias que presentan cordón vitelino análogo al cordón umbilical, esto implica que desde su desarrollo embrionario, empiezan a acumular Mercurio transferido por su madre, contribuyendo así a las concentraciones de este metal en su tejido muscular, lo cual se corrobora con los datos de Adams y McMichel (1999), quienes determinaron que el Mercurio encontrado en los embriones de *C. limbatus* corresponde al 27,4-33,9% del Mercurio observado en la madre.

Una de las principales fuentes contaminantes de metales pesados en el Golfo de California que aportan a la bioacumulación del Mercurio en el tejido muscular de los tiburones estudiados puede provenir de las descargas residuales de la actividad minera de Teacapan, el río de San Pedro y el estado de Sonora, principal estado productor de oro y cobre a nivel nacional, presentando grandes problemas por contaminación de metales; también en la Bahía de Mazatlán se dan descargas municipales con altos contenidos de metales pesados, estas zonas son una importante vía de transporte de este metal a las aguas del Golfo (Arias,2005).

Se debe tener en cuenta que las especies del presente estudio, son altamente migratorias, por lo tanto la asimilación del Mercurio se puede estar dando en otros lugares y no precisamente en los mares de la Península de Baja California Sur, se puede dar en zonas como en el Pacífico occidental



donde la especie *S. zyagena* pasa por Chile, como parte de su ruta migratoria. Los individuos pudieron haber adquirido estas concentraciones de Mercurio en esta zona, ya que se presentan yacimientos de cobre, oro, mercurio, plata y zinc, los cuales fortalecen la actividad minera del país aumentando las descargas de residuos sólidos y líquidos al mar, produciendo perturbaciones al ambiente marino (Boré, 1992 En: Buschman y Fortt, 2005).

Las concentraciones de Mercurio de los tiburones y sus presas obtenidas en este trabajo se encontraron por encima de 0,075 ppm Hg, límite establecido por Hankanson (1984) para animales acuáticos, el cual establece que especies que contengan niveles de Mercurio mayores a este valor son atribuibles a contaminantes de origen antropogénico.

El promedio (0,94 ppm Hg) de las concentraciones de Mercurio de las cuatro (4) especies en el Golfo de California se encontró por debajo del promedio reportado por Cadena (2004) (2,00 ppm Hg) para la misma área, esto puede ser debido a que los individuos de su estudio sean más viejos y por lo tanto hallan estado expuestos al Mercurio por un periodo más largo o que por su edad su alimentación se base en presas diferentes ya que los tiburones presentan cambios ontogénicos a lo largo de su vida; o por ser especies altamente migratorias se hayan alimentado en otros mares con presas más propensas a bioacumular mayores concentraciones del metal que las presas consumidas por los tiburones del presente estudio.

Los tiburones se caracterizan por presentar comportamientos sociales en los cuales existen algunos casos de segregaciones por tallas y sexo para su alimentación, esta característica ha demostrado que presentan un hábito trófico similar (Nuñez *et al.*, 1998), como es el caso de *C. falciformis* donde

los adultos tienden agruparse por sexo y casi siempre se encuentran muy cercanos unos de otros (Gilbert *et al.*, 1967; Carrier *et al.*, 2004) lo cual implica que su dieta esta compuesta por las mismas presas con base al estudio de García (2003) y Cabrera (2003) quienes registran por medio del índice de importancia relativa que la presa más importante es la langostilla (*Pleurocodes planipes*) para ambos sexos en la costa occidental de Baja California Sur (Punta Lobos). En el caso de *I. oxyrinchus* cuando son juveniles no se presenta una segregación por sexo alimentándose ambos del pez *Prionotis albirrostris* según Velasco (2005). Este comportamiento se ve reflejado en los resultados al no encontrar diferencias entre sexo con respecto a la concentración de Mercurio para las cuatro (4) especies de tiburones.

En el Golfo de California se encontró la menor concentración promedio de Mercurio ( $0,94 \pm 0,16$  ppm) en el tejido muscular de los tiburones y la costa occidental de Baja California Sur presento la mayor concentración promedio ( $1,88 \pm 0,20$  ppm), esto presumiblemente se deba a que esta última se encuentra influenciada por surgencias importantes a lo largo del año, las cuales se caracterizan por tener altas salinidades. Esta característica fisicoquímica está asociada directamente con la liposolubilidad intracelular del Mercurio inorgánico en los organismos (Hall, 2002) favoreciendo niveles altos de biacumulación en los tiburones.

Otra posible hipótesis puede estar relacionada con la biodisponibilidad del metal en el agua, esta depende directamente de la materia orgánica presente en el ambiente la cual retiene metales pesados como el Mercurio (Alonso y Pineda, 1997); la costa occidental de Baja California recibe altas descargas de materia orgánica por parte de la Bahía del Magdalena contribuyendo a la diferencia encontrada entre las zonas de estudio.

Se encontraron diferencias significativas para las épocas climáticas, siendo la época cálida a comparación de la época fría la que presentó el mayor promedio de Mercurio ( $1,88 \pm 0,25$  ppm) en el músculo de los tiburones, esto puede deberse a una mayor suspensión de la materia orgánica en la columna de agua cuando la temperatura aumenta contribuyendo a una alta biodisponibilidad del metal en el ambiente y por consiguiente una bioacumulación importante en las redes tróficas (ANEXO A y B). De igual forma se deben realizar investigaciones que demuestren si dichos planteamientos sean las posibles causas de los resultados obtenidos, y realizar una metodología adecuada en la que se contemplen especies endémicas para determinar si dichas diferencias entre áreas y épocas climáticas sean ciertas puesto que los tiburones son especies altamente migratorias bioacumulando Mercurio en otros lugares del mundo.

#### **4.2 BIOMAGNIFICACIÓN**

Estudios sobre la alimentación de *C. falciformis* e *I. oxyrinchus* en la Península de Baja California Sur demuestran que las presas más importantes para su alimentación son la macarela (*Scomber japonicus*), la langostilla (*Pleuroncodes planipes*) y el calamar (*Dosidicus gigas*) (Cabrera, 2003 ;García, 2003 y Velasco, 2005 ); para *S. zygaena* Smale y Cliff (1998) reportan a *D. gigas* dentro de su dieta ; en cuanto a *P. glauca* diferentes autores (Stevens,1973; Tricas, 197; Harvey,1989; McCrae, 1994) encuentran al calamar gigante y la macarela como componentes de su alimentación. Al analizar dichas presas se encontraron concentraciones de Mercurio en el tejido muscular, demostrando así la capacidad de bioacumular este metal y transferirlo a sus depredadores en este caso los tiburones (Figura 7). Sin embargo se debe tener en cuenta que los tiburones pueden cambiar la dieta

según el estado ontogénico en que se encuentren, contribuyendo a la acumulación en los tejidos y órganos a lo largo del tiempo (Wetherbee *et al.*, 1990)

Algunos autores definen biomagnificación como la transferencia química cenobiótica de la comida al organismo, resultando en él una acumulación mayor que su fuente alimenticia (Connell, 1998; Rye *et al.*, 1995 En: Gray, 2002), otros la definen como el incremento de la concentración entre los niveles tróficos, siempre y cuando el factor de biomagnificación sea  $> 1$  (Gray, 2002). Según la definición de Gray (2002), en los resultados se observa una biomagnificación de los calamares, macarela y langostilla hacia los tiburones. De las cuatro (4) especies de tiburón, *C. falciformis* fue la que presentó mayor biomagnificación en su cadena trófica (Figura 7a), contrario a *P. glauca* que mostró la menor transferencia del metal por parte de sus presas (Figura 7d), la alta biomagnificación encontrada en *C. falciformis* es debido a que es la especie más propensa a bioacumular el Mercurio en su tejido muscular, contrario a lo obtenido en *P. glauca* lo cual se deba a sus eficientes mecanismos de eliminación del metal.

Al analizar el factor de biomagnificación cada una de las presas (macarela, langostilla y los mictófidios) del calamar no es significativo, sin embargo al sumar cada uno de los factores como un total (FB=1,48) se presenta una transferencia representativa del metal hacia *D. gigas*, la cual no se ve reflejada en las concentraciones de Mercurio obtenidas en este cefalópodo, este hecho puede atribuirse al rápido metabolismo, a las altas tasas de crecimiento y al corto periodo de vida, el cual oscila entre 20-24 meses máximo (Ehrhardt *et al.*, 1982), que puede verse reflejado en una alta mortalidad (Klett, 1981; Ehrhardt *et al.*, 1986; Martínez-Aguilar *et al.*, 2004);

estas características les permiten tener periodos cortos de exposición y una efectiva eliminación del metal, evitando acumulaciones grandes del Mercurio (sin embargo pueden estar acumulando Mercurio orgánico, en vez de inorgánico) en sus tejidos y órganos, esto se refleja en la figura 7 donde la transferencia de las concentraciones de Mercurio por parte de los mictófidios (0,35 ppm Hg) al siguiente nivel trófico (calamares), es reducida en una tercera parte de su concentración inicial (0,12 ppm Hg), así mismo se observa una baja transferencia de la macarela (0,21 ppm Hg) y la langostilla (0,92 ppm Hg) a los calamares.

Los niveles de Mercurio obtenidos de los calamares (0,0099-0,812 ppm Hg) se encuentran por debajo del intervalo reportado por Branco *et al.* (2004) en las Islas Azores 0,80-4,04 ppm Hg y Canarias 0,84-4,8 ppm Hg, sin embargo según el factor de biomagnificación, muestra a los calamares como la presa que brinda la mayor concentración de Mercurio a los tiburones (FB=22), lo que puede deberse al alto contenido energético del calamar, que esta relacionado con el incremento de los lípidos en sus tejidos, por ello es digerido lentamente por los tiburones (Schaefer, 1984; Olson y Boggs, 1986; Cabrera, 2003). Este periodo largo de asimilación de los calamares, puede permitir una mayor retención del metal en el tejido muscular de los tiburones. Los calamares son una de las presas mas consumidas por las cuatro especies de tiburones según los reportes de García (2003), Velasco (2005) y por lo tanto la biomasa seria una variable muy importante reflejándose como el factor de bioacumulación mas alto con respecto a la macarela y langostilla.

Los resultados del presente estudio confirman que la fuente más importante de acumulación de Mercurio para los organismos acuáticos es el alimento ya que la presencia de este metal en aguas oceánicas es muy bajo (Clarkson *et*

*al.*, 1998 En: Penedo *et al.*, 2002), a excepción de áreas donde se encuentran depósitos de Mercurio o contaminantes (Dall'Aglio, 1968 En: Keckes y Miettinen, 1972).

## 5. CONCLUSIONES

Las especies de tiburones: *Isurus oxyrinchus*, *Prionace glauca*, *Sphyrna zygaena* y *Carcharhinus falciformis*, tienen la capacidad de bioacumular grandes cantidades de Mercurio en sus tejidos musculares, encontrando la mayor concentración en *C. falciformis* ( $2.64 \pm 0.28$  ppm Hg) y la menor en *P. glauca* ( $0.82 \pm 0.34$  ppm Hg), para la Península de Baja California Sur.

Se comprobó que la presas analizadas como lo son el calamar *Dosidicus gigas*, el pez *Scomber japonicus* y el crustáceo *Pleurocodes Planipes* bioacumulan en sus tejidos concentraciones de Mercurio, siendo una vía importante de transferencia del metal a los tiburones.

En cada una de las presas del calamar (mictófidos *Simbolophorus evermanni*, langostilla *Pleurocodes Planipes* y macarela *Scomber japonicus*), no hubo una biomagnificación del Mercurio significativa, puesto que el factor de biomagnificación no sobrepaso al 1 según Gray (2002). Sin embargo al sumar los factores de biomagnificación de las tres presas principales de *D. gigas* se obtiene un valor de 1,48, que indica una transferencia representativa del metal hacia el calamar.

Se presentó una clara tendencia en el aumento de las concentraciones de Mercurio con respecto al incremento de la longitud de los tiburones, la mejor correlación se observó en *I. oxyrinchus*, seguido por *S. zygaena* y *C. falciformis*, mientras que en *P. glauca* no se presentó este comportamiento.

Se determinó que la bioacumulación de las especies *C. falciformis*, *I. oxyrinchus* y *S. zygaena* se encuentran por encima de los estándares establecidos por la Norma Oficial Mexicana (NOM-027-SSA1, 1993) para el consumo humano de especies acuáticas; mientras que el tiburón azul *P. glauca* se encuentra por debajo de este límite (1ppm Hg).



## 6. RECOMENDACIONES

Debido al antagonismo que presentan el Selenio y el Mercurio, sería de gran ayuda realizar mediciones de las concentraciones de Selenio que pueden estar presentes en los tejidos musculares de los tiburones, para saber si este contribuye o no a la acumulación del Mercurio en ellos.

Realizar un estudio de los niveles de Mercurio y otros metales en los sedimentos, agua y especies endémicas tanto del Golfo de California como de las costas occidentales de la Península de Baja California Sur, para estimar el grado de contaminación que ambas zonas puedan presentar y así tener un mejor apoyo al realizar los análisis de este metal en las especies de tiburón.

Medir las concentraciones de la proteína Metalotioneína en la especie de tiburón *P. glauca*, con el fin de corroborar si esta ayuda a que se presenten niveles bajos de Mercurio o se deba a otros factores en la especie.

Analizar los niveles de metilMercurio en los tejidos de los tiburones, debido a que el 95% del Mercurio total en el músculo de los peces corresponde a esta forma del Mercurio, siendo la más tóxica que perjudica a las especies y al hombre por el consumo de su carne.

Fomentar este tipo de estudios en Colombia, puesto que además de alertar a la población humana sobre el consumo de la carne de tiburón, también ayudan a la conservación de las especies, aportando información

a los institutos de pesca y así, permitir leyes que controlen la captura de individuos adultos, teniendo en cuenta que los tiburones de tallas mayores son los más contaminados por el Mercurio, debería restringirse su captura para el consumo humano, sin sobreexplotar los juveniles para que logren llegar a su madurez sexual y permitir el incremento de las poblaciones.

## BIBLIOGRAFÍA

**Adams, D. H., Mcmichael JR y Robert, H.** 1999. Mercury levels in four species of sharks from the Atlantic coast of Florida. Fishery Bulletin. 97 (2): 372-379.

**Alonso, D., Pineda, P.** 1997. Bioacumulación y biomagnificación de Mercurio en dos especies ícticas de diferente nivel trófico en la Bahía de Cartagena y la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe Colombiano. Proyecto de grado, Universidad Jorge Tadeo Lozano. 78 p.

[Álvarez-Borrego, S.](#) 1983. The Gulf of California. p. 427-449 In: Estuaries and Enclosed Seas (B.H. Ketchum, ed.). Elsevier Sci. Publ. Co., Ámsterdam.

**Arias, P. E.** 2005. Plan de acción para el uso eficiente de agua dulce en el Gofu de California. Reporte técnico final para la WWF. 64 p.

**Berntssen, M., Hylly, K., Julshamn, K., Lundebye, A. K., Waagbo, R.** 2004. Maximum limits of organic mercury in fish feed. Aquaculture Nutrition. 10: 83-97

**Branco, V., Canario, J., Vale, C., Raimundo, J., Reis, C.** 2004. Total and organic mercury concentrations in muscle tissues of the blue shark (*Prionace glauca* L. 1758) from the Northeast Atlantic. Marine Pollution Bulletin 49: 854-874.

**Brito-Castillo, L., Razo, E., Azpeitia, R., Zavala, C. A.** 2000. Water temperatures in the Gulf of California in May and June 1996 and their relation to the capture of giant squid (*Dosidicus gigas* D'ORBIGNY, 1835). Marine Science. 26 (3): 413-440.

**Buschman, A., Fortt, A.** 2005. Industria y contaminación marina. Oceana. 1-45 p.

**Cabrera, A.** 2003. Hábitos alimenticios del tiburón piloto *Cacharhinus falciformis* (Bribon, 1839) en la costa occidental de Baja California Sur. Proyecto de Grado. Instituto Politécnico Nacional Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz Baja California México. 73 p.

**Cadena, L.** 2004. Mercurio total en peces elasmobranquios y teleosteos del Golfo de California. Tesis de maestría. Instituto tecnológico del mar, Guaymas, Sonora. 75 p.

**Campos, H.** 1987. Los metales pesados su contaminación y sus efectos tóxicos. Contaminación Ambiental, Medellín, Colombia. 9 (17): 63-70.

**Carrier, C., Musick, J., Heithaus, M.** 2004. Biology of Sharks and their relatives. CRC Press. New York. Washintong, D.C. 596p.

**CEM corporation.** 1997. Operation Manual microwave digestion system MDS-2000.

**Compagno, L., Krupp, F., Schneider, W.** 1995. Guía FAO para la Identificación de Especies para los Fines de la Pesca. Pacífico Centro Oriental. FAO. 2.(1): 646-1200.

**Connell, D.** 1998. Biomagnification by aquatic organism-a proposal. Chemosphere 19: 1573-1584.

**Cortes, E.** 1999. Styrarizet diet compositions and trophic levels of sharks. Journal of Marine Science. 56: 707-717.

**Curvin-Aralar y Furness, W.** 1991. Mercury and Selenium Interaction: A Review. Ecotoxicology and Environmental Safety. 21: 348-364.

**Ehrlich, K., Stephens, J., Muszynski, G., Hood, J.** 1979. Mercury and selenium in blue marlin, *Macaira nigricans*, from the Hawaiian Islys. Fishery Bulletin. 76 (4): 872-877.

**Ehrhardt, N., Solis, A., Jacquemin, P., García, F., Gonzales, G., Ortiz, J., Ulloa, P.** 1982. Crecimiento del Calamar Gigante *Dosidicus gigas* en el Golfo de California, México, durante 1980. Ciencia pesquera (3): 33-39.

**Ehrhardt, N., Jacquemin, J., Ulloa, P., Gonzales, G., Garcia, F.** 1986. Análisis de la Biología y condiciones del stock del calamar gigante *Dosidicus gigas* en le Golfo de California, México, durante 1980. Ciencia pesquera. Inst. Nac. Pesca. Sria. Pesca. México. 65 (5): 63-76.

**Fitzgerald, S.** 2004. Metales Pesados en cuatro especies de Tortugas marinas de Baja California México, Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias, CIBNOR.

**Galvan-Magaña, F., Nienhuis, H., Klimley A. P.** 1989. Seasonal abundant and feeding habits of sharks of the lower Gulf of California, Mexico. California Department of Fish and Game, Marine region. 75 (2): 74-84.

**Garayzar, C.J.** 1996. Pesquería de tiburón y cazón. Estudio del potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur. P: 305-316.

**Garayzar, C.J., Melendez, E., Hoffmann, C.** 1997. Tiburones capturados comercialmente en la bahía de la paz, B.C.S. La bahía de la paz. Investigaciones y Conservación. 189-199.

**García, A. C.** 2003. Hábitos alimenticios del Tiburón piloto *Carcharhinus falciformis* (Bibron, 1893) en la costa occidental de Baja California Sur. Tesis para optar al grado de Maestro en Ciencias. México. 110p.

**Gilbert, P.W., Mathewson R.F., Rall, D.F.** 1967. Sharks, Skates and Rays. Johns Hopkins Press. Baltimore, Maryland. 611 p.

**Gomes, F. A., Vieira, F.V., Veiga De Carvalho, C. E., Teixeira, L. R. P., Santana Da Silva, F. M.** 2004. Total mercury in the night shark, *Carcharhinus signatus* in the western equatorial Atlantic Ocean. Brazilian Archives of Biology and Technology. 47 (4): 1-9.

**Gray, J.** 2002. Biomagnification in marine systems: The perspective of an ecologist. *Marine Pollution Bulletin*. 45: 46-52.

**Griffiths, R.C.** 1965. A study of ocean off Cape San Lucas, lower California. United States Fish Wildlife Service Special Scientific Report Fisheries. 449: 40 p

**Hakanson, L.** 1984. Metals in fish and sediments from the river Kolbäcksan water system, Sweden. *Archives Hydrobiology*. 101:373-400.

**Hall, J. E.** 2002. Bioconcentration, Bioaccumulation and Biomagnification in Puget Sound Biota: Assessing the Ecological Risk of Chemical Contaminants in Puget Sound. University of Washington Tacoma. <http://courses.washington.edu/uwtjelissues>.

**Harvey, J. T.** 1989. Food habit, seasonal abundance, size, and sex of the blue shark, *Prionace glauca*, in Monterrey Bay, California. California Department of Fish and game, Marine Region. 75 (1): 33 – 34.

**Keckes, S., Miettinen, J.K.** 1972. Mercury as a Marine Pollutant. *Marine Pollution and sea life*. 276-289.

**Klett, T. A.** 1981. Estado actual de la pesquería del calamar gigante en el estado de Baja California Sur. Departamento de Pesca, México. *Science Cientific*. 21: 1-28.

**Longhurst, A. R.** 1967. Diversity and trophic structure of zooplankton communities in the California Current. *Deep Sea Research*. (14): 393-408.

**López. S.C., Schimert-Soto, J.J.** 1995. Marco geológico y ambiental del área de estudio. En: Aureoles-Gamboa, D y Balart, E. F. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. 233 p.

**López, D.J., Lechuga. C.H., Bustillos, J.** 1990. Biomasa proteica y de carbohidratos del mesoplanton en la costa occidental de Baja California Sur. *Revevista Latinoamericana de Microbiología*. (32): 109-116.

**Lyle, J.M.** 1981. Mercury concentration in four Carcharhinid and three hammerhead from coastal waters of the Northern Territory. *Australian Journal of Marine Freshwater Research*. (35): 441-451.

**McCrae, J.** 1994. Oregon developmental species blue shark *Prionace glauca*, (Ecology). Oregon Department of Fish and Wildlife. 6 p.

**Martinez - Aguilar, S., Morales - Bojórquez, E., Diaz-Uribe, J.G., Suárez-Higuera, M.C., Hernández- Herrera, A.** 2004. La pesquería del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California. Recomendaciones de investigación y tácticas de regulación. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca, Instituto Nacional de la Pesca, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación. México. 70 p.

**Méndez. L., Acosta. B., Álvarez-Catañeda, S., Lechuga-Devéze, C.** 1998. Trace metal distribution along the Southern Coast of Bahía de la Paz (Gulf of California), México. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 61: 616-622.



**Miller, S.** 2002. Informe final de Evaluación de Riesgos del derrame de Mercurio ocurrido en el Norte del Perú. Minera Yanacocha S.R.L 12 p

**Monteagudo, F.A.** 2002. Evaluación de la Contaminación por Mercurio en la población de mineros artesanales de oro de la comunidad de Santa Filomena- Ayacucho- Perú durante el periodo Agosto 2000.- Septiembre 2001. Tesis para optar al título de Químico Farmacéutico. Universidad Nacional, mayor de San Marco. 60 p.

**Moreno, V. J., Pérez, R., Bastida, R. O., Moreno, E. A., Malaspina, A. M.** 1984. Distribución de mercurio total en los tejidos de un delfín nariz de botella (*Tursiops geophysus* Lahille, 1980) de la provincia de Buenos Aires (Argentina). Revista del Instituto Nacional de Investigaciones y Desarrollo Pesquero. (4): 93-102.

**Norma Oficial Mexicana. NOM-027-SSA1.** 1993. Bienes y Servicios. Productos de la pesca. Crustáceos frescos- refrigerados y congelados. Especificaciones sanitarias.

[http:// www. Salud. gob. Mx/ unidades/ cdi/ nom/029SSA13.](http://www.Salud.gob.Mx/unidades/cdi/nom/029SSA13)

**Nuñez, G. N., Ordoñez, J.B., Rosiles, M.R.** 1998. Concentración y distribución de Mercurio en tejidos del cazón (*Rhizoprionodon terraenovae*) del Golfo de México. Veterinaria México. 29 (1): 15-20.

**Norton, J., McCain, D., Brainard, R., Husby, D.** 1985. The 1982-1983 El niño event of Baja y alta California and it ocean climate context. 44-72. In: Wooter, W.S y D.C Fluharty (eds.). El Niño North: Niño effects in the eastern subartic Pacific Ocean.

**Olson, R. J., Boogs, C. H.** 1986. Apex predation by yellowfin tuna (*Thunnus albacares*): independent estimates from gastric evacuation and stomach contents, bioenergetics and cesium concentrations. *Canada Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 43: 1760 -1775.

**Penedo, A., Remy, D. G, J., Martins, A. S., Costa, P. A. S., Olavo, G. y Valentin, J.** 2002. Total Mercury in muscle tissue of five shark species from Brazilian offshore waters: effects feeding habit, sex, and length. *Environmental research*. 89: 250 – 258.

**Perkin Elmer.** 1994. *Analytical Methods for Atomic Absorption Spectroscopy*. The Perkin Elmer Corporation. United States of America. Copyrigh. 300 p.

**PMCCSTAEP-ESBCNRNRC.** 1978. An assessment of mercury in the environment. National Academy of Science Washington D.C. p. 185.

**Rand, G.M., Wella, P.G.,McCarthy, L.S.**1995. Introduction to Aquatic Ecology In: Rand., G.M. *Fundamentals of Aquatic Toxicology*. Taylor and Francis, London.3-53 p.

**Regnell, O., Ewald, G.** 1997. Factors controlling temporal variation in methylmercury levels in sediment and water in a seasonally stratified lake. *Limnology y Oceanography* 42 (8): 1784-1795.

**Ribot, C. M.** 2003. Edad y crecimiento del tiburón Mako, *Isurus oxyrinchus* (Rafinesque, 1819), capturado en la costa occidental de Baja California Sur, México. Trabajo de Grado, Instituto Politécnico Nacional Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. México. 74 pp.

**Ruelas-Inzunza, J. R., Horvat, M., Pérez-Cortés, H., Páez-Osuna., F.** 2003. Methylmercury and total mercury distribution in tissues of gray whales (*Eschrichtius robustus*) and spinner dolphins (*Stenella longirostris*) stryed along the lower Gulf of California, Mexico. *Ciencias Marinas*. 29 (1):1-8.

**Thompson, D.A., Findley, L.T., Kerstich, A.N.** 2000. Reef Fishes of the Sea of Cortez. The rocky- Shore fishes of the Golf of California. The University of Texas. New York. 353 p.

**Tricas, T. C.** 1978. Relationships of the blue shark, *Prionace glauca*, and its prey species near Santa Catalina Island, California. *Fishery Bulletin*. 77 (1): 175 - 182.

**SAS.** 2000. Statistical Analysis System. Procedures Guide for Personal. Institute Computers, Version 8.2. SAS Institute, Cary, NC. USA.

**Schaefer, K. M.** 1984. Swimming performance, body temperaturas and gastric evacuation times of the black skipjack, *Euthynnus lineatus*. *Copeia*. (4): 1000 - 1003.

**Shumilin, E., Kalmykov, S.T., Sapozhnikov, D., Nava-Sanchez, E., Gorsline, D., Godinez-Orta, L., Spozhnikov. Y.U., Holguin-Quiñones. O., Rodríguez-Castaneda. A.** 2000. Mayor and trace element accumulation in coastal sediments along southeastern Baja California studied by instrumental neutron activation análisis and <sup>210</sup>Pb age-dating. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 246. (3): 533-541.

**Simpson, J.J.** 1987. Transport processes affecting the survival of pelagic fishstocks in the California Current. American Fisheries Society Symposium. 2: 39 –60.

**Smale, M.J., Cliff. G.**1998. Cephalopods in the diets of four shark species (*Galeocerdo cuvier*, *Sphyrna lewini*, *S. zygaena* y *S. mokarran*) from Kwazulu-Natal, South Africa. South Africa Journal of Marine Science. 20: 241-253.

**Stevens, J. D.** 1973. Stomach contents of the blue shark (*Prionace glauca* L.) off south – west Engly. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. 53: 357 – 361.

**Storelli, M. M., Ceci, E., Storelli, A., Marcotrigiano, G. O.** 2003. Polychlorinated biphenyl, heavy metal and methylmercury residues in hammerhead sharks: contaminant status and assessment. Marine Pollution Bulletin. 46: 1035-1048.

**Storelli. M. M., Gracomiminelli-Stuffliver. R., Marcotrigiano, G. O.** 2002. Total and Methylmercury residues in cartilaginosus fish from Mediterranean Sea. Marine Pollution Bulletin. 44: 1354-1358.

**Storelli, M. M., Ceci, E., Marcotrigiano, G.O.** 1998. Comparison of total mercury, methylmercury and selenium in muscle tissue and it the liver of *Stenella coeruleoalba* (Meyen) and *Careta careta*. Bulletin Environmental Contamination Toxicology. 61: 541-547.

**Velasco – Torelo, P. M.** 2005. Hábitos alimenticios e isótopos C<sup>13</sup> N<sup>15</sup>del Tiburón mako *Isurus oxyrinchus* (RAFINESQUE, 1810) en la costa occidental

de Baja California Sur. Tesis para obtener el grado de maestro en Ciencias. CICIMAR, La Paz, Baja California. 96p.

**Watling, J.R., McClurg, T.T., Staton, R.C.** 1981. Relation between Mercury concentration and size in the mako shark. Bulletin Environmental Contamination and Toxicology. 26: 352-358.

**Wyrski, K.** 1965. Corrientes superficiales del Océano Pacífico tropical oriental. Interam. Trop. Tuna Comm. 9:295-304.

**Wetherbee, M.B., Gruber, H.S., Cortes, E.** 1990. Diet, feeding habits, digestion and consumption in sharks, with special reference to the lemon shark, *Negaprion brevirostris*. p. 29-47 In: Pratt L.H., Gruber H.S. y T. Taniuchi. (Eds). Elasmobranchs living resources: Advances in the biology, ecology, systematics and the status of the fisheries. NOAA Technical Report

## ANEXOS

**ANEXO A. Descripción ambiental de las concentraciones de Mercurio del músculo en ppm de la costa occidental y Golfo de Baja California Sur. (n el numero de observaciones,  $X \pm EE$  el promedio con su desviación estándar, IC índice de confiabilidad).**

<b>Año</b>	<b>n</b>	<b>X <math>\pm</math> EE</b>	<b>IC &lt; 95 %</b>	<b>IC &gt; 95%</b>
2001	15	1,19 $\pm$ 0,17	0,82	1,55
2002	32	2,01 $\pm$ 0,29	1,41	2,61
2003	6	1,32 $\pm$ 0,59	-0,20	2,83
2004	19	1,48 $\pm$ 0,28	0,88	2,07
2005	5	1,22 $\pm$ 0,30	0,40	2,05
<b>Mes Calido</b>				
Junio	2	2,48 $\pm$ 0,95	-9,56	14,53
Julio	12	3,54 $\pm$ 0,39	2,69	4,39
Agosto	13	2,15 $\pm$ 0,47	1,09	3,20
Septiembre	1	2,56	—	—
Noviembre	3	1,10 $\pm$ 0,17	0,37	1,84
<b>Total</b>	<b>31</b>	<b>1,81<math>\pm</math>0,25</b>	<b>0,77</b>	<b>1,19</b>
<b>Frió</b>				
Diciembre	7	1,00 $\pm$ 0,29	0,27	1,72
Enero	4	0,75 $\pm$ 0,08	0,50	1,00
Febrero	18	1,05 $\pm$ 0,23	0,57	1,53
Marzo	9	0,59 $\pm$ 0,10	0,35	0,83
Abril	2	0,99 $\pm$ 0,23	-1,91	3,88
Mayo	8	1,38 $\pm$ 0,12	1,09	1,67
<b>Total</b>	<b>48</b>	<b>0,98 <math>\pm</math> 0,10</b>	<b>0,77</b>	<b>0,19</b>

**ANEXO B. Cuadrados medios de concentración de Mercurio en el músculo de los tiburones de acuerdo con el año, la época y el lugar (ANOVA).**

Origen de Variación	gl	Concentración de Mercurio	P<0.05
Año	4	0,2801	0,8709
Época	1	10,9623	0,0010
Área	1	0,1935	0,6459
Error	58	0,9071	

**ANEXO C. Datos brutos del sexo, concentraciones de Mercurio, lugar de colecta, mes y año de *S. zygaena***

<i>Shyrna zygaena</i>					
Longitud (cm)	Sexo	ng/Hg/g	Lugar	Mes	Año
141	H	1263.8878	Sauzoso	febrero	2002
110	H	506.215388	Portugués	marzo	2002
100	M	468.785891	Portugués	marzo	2003
68	H	710.176643	Las Barrancas	agosto	2005
113	H	672.923195	Sauzoso	febrero	2002
100	M	241.015253	Sauzoso	febrero	2002
110	H	410.939277	Portugués	febrero	2002
102	H	545.037481	Portugués	febrero	2003
123	M	729.594767	Punta Lobos	febrero	2001
108	H	859.725971	Portugués	febrero	2002
140	M	1115.70295	Punta Lobos	febrero	2001
107	H	720.691708	Sauzoso	febrero	2002
113	H	378.144452	Portugués	marzo	2002
120	M	721.201664	Sauzoso	enero	2001
113	M	237.222825	Portugués	marzo	2002
140	H	1126.588	Punta Lobos	febrero	2001
113	H	582.632957	Portugués	febrero	2002
161	M	2775.10532	Punta Lobos	febrero	2001
105	M	853.540505	Portugués	marzo	2002
102	H	344.721421	Portugués	marzo	2002
116	M	485.030329	Punta Lobos	febrero	2001

**ANEXO D. Datos brutos del sexo, concentraciones de Mercurio, lugar de colecta, mes y año de, mes y año de *C. falciformis***

<i>Carcharrinus falciformis</i>					
Longitud (cm)	Sexo	Ng/Hg/g	Lugar	Mes	Año
200	M	4214.25882	Punta Belcher	Julio	2002
211	M	5836.06259	Punta Belcher	Julio	2002
192	H	2675.37763	Punta Belcher	Julio	2002
220	M	4871.13142	Punta Belcher	Agosto	2002
228	H	4102.76805	Punta Belcher	Julio	2002
170	M	2557.20682	Punta Lobos	septiembre	2001
204	H	4215.16323	Punta Belcher	Julio	2002
185	H	1925.4154	Punta Belcher	Julio	2002
200	M	1055.84527	Punta Belcher	Agosto	2002
182	M	3711.20789	Punta Belcher	Julio	2002
184	H	3435.18348	Punta Belcher	Julio	2002
205	H	3554.31503	Punta Belcher	Julio	2002
225	H	5346.76906	Punta Belcher	Julio	2002
155	M	1843.71414	Punta Belcher	Julio	2002
188	M	1622.99638	Punta Belcher	Julio	2002



**ANEXO E. Datos brutos de sexo, concentraciones de Mercurio, lugar de colecta, mes y año de *Isurus oxyrinchus***

<i>Isurus oxyrinchus</i>					
Longitud (cm)	Sexo	ng/Hg/g	Lugar	Mes	Año
143	M	1345.96902	Punta Lobos	noviembre	2002
79	M	1300.63688	Punta Belcher	Mayo	2002
90	M	554.685655	Las Barrancas	diciembre	2004
176	H	2443.00131	Punta Belcher	diciembre	2002
97	H	667.468431	Las Barrancas	enero	2004
239	H	4211.00396	Punta Belcher	febrero	2003
138	H	1184.14635	Punta Belcher	noviembre	2002
107	M	448.816463	Las Barrancas	diciembre	2004
113	M	467.661026	Las Barrancas	diciembre	2004
105	H	629.714306	Las Barrancas	enero	2004
106	H	772.249491	Punta Lobos	noviembre	2002
89	M	587.54196	Las Barrancas	diciembre	2004
123	M	898.003602	Las Barranca	marzo	2003
156	M	978.121327	Punta Lobos	enero	2001
107	M	435.60391	Punta Lobos	marzo	2001
125	H	598.649307	Punta Belcher	febrero	2003
176	H	1733.3927	Punta Belcher	diciembre	2002
109	M	735.84909	Las Barrancas	diciembre	2004
145	H	496.260105	Punta Belcher	febrero	2005
118	M	1168.57086	Las Barrancas	marzo	2003

**ANEXO F. Datos brutos de sexo, concentraciones de Mercurio, lugar de colecta, mes y año de *Prionace glauca***

<i>Prionace glauca</i>					
Longitud (cm)	Sexo	ng/Hg/g	Lugar	Mes	Año
310	M	757.866871	Punta Arenas	abril	2004
210	M	2164.99806	Punta Arenas	mayo	2005
176	H	1364.5019	Punta Arenas	mayo	2001
155	M	1084.61117	Punta Belcher	mayo	2001
225	M	1032.37121	Punta Belcher	mayo	2001
191	M	1535.83545	Punta Arenas	junio	2004
275	M	1213.64715	Punta Arenas	abril	2005
210	M	1519.38606	Punta Arenas	mayo	2005
212	M	1269.22294	Punta Arenas	mayo	2004
238	M	3432.19754	Punta Arenas	junio	2004
130	H	888.836823	Punta Belcher	febrero	2001
142	M	1306.28685	Punta Belcher	mayo	2001

**ANEXO G. Datos Brutos de las concentraciones de Mercurio (ng/hg/g) en las especies de tiburón de la península de Baja California Sur, México.**

<i>S. zygaena</i>	<i>C. falciformis</i>	<i>I. oxyrinchus</i>	<i>P. glauca</i>
859.725971	4214.258825	1211.319314	757.8668709
901.148953	5836.062589	1345.969023	2947.328586
1263.8878	2675.377626	1300.636881	1409.215312
506.215388	4871.131425	554.685655	2164.99806
468.785891	4102.768053	2443.00131	2221.431972
710.176643	2557.206822	667.4684305	1364.501904
672.923195	4215.163228	4211.003959	1094.25496
241.015253	1925.415402	1184.146353	1084.611166
410.939277	1055.845267	448.8164631	1032.371212
545.037481	3711.207892	467.6610257	1040.438972
969.642611	3435.183476	629.7143063	1535.835449
729.594767	3885.942302	772.2494909	1213.647146
1689.8649	3554.315029	587.5419601	1519.386064
1063.39955	5346.769059	898.003602	2052.344071
NSR	1843.714141	978.121327	6515.1495
5099.08973	1622.996378	435.60391	1021.87759
641.470343	1079.793366	598.649307	1269.22294
1115.70295		563.251155	3432.19754
720.691708		899.453587	5191.75906
378.144452		1733.3927	888.836823
721.201664		735.84909	1306.28685
237.222825		496.260105	
1126.588		1168.57086	
582.632957		934.336949	
712.009165			
869.23321			
2775.10532			
853.540505			
344.721421			
485.030329			
1031.22685	<b>*(1651.5629)</b>		

\*NSR, valor que se encuentra debajo de la curva de calibración establecidos para determinar las concentraciones de Mercurio.

\*<sup>1</sup> \*(1651.5629) Valor perteneciente a *S. Zygaena*

**ANEXO H. Datos brutos de las concentraciones de Mercurio de la langostilla (*Pleurocodes planipes*) colectadas en el contenido estomacal de atunes de la costa occidental de Baja California Sur, México.**

<b>N de Individuo</b>	<b>ng/hg/g</b>	<b>Peso seco (g)</b>
1	125.33649	0.79
2	140.157939	0.79
3	111.538181	0.79
4	160.016745	0.79
5	114.512802	0.79

**ANEXO I. Datos brutos de las concentraciones de Mercurio de los mictófidios (*Symbolophorus evermanni*)**

<b>N de muestra</b>	<b>replica</b>	<b>n</b>	<b>ng/hg/g</b>	<b>Peso Seco (g)</b>
1	1	25	611.5021	1.55
2	2	25	611.5021	1.55
3	1	26	26.62313	1.29
4	2	26	26.62313	1.29
5	1	8	421.9024	0.80
6	2	8	0	0.80

**ANEXO J. Datos brutos de las concentraciones de Mercurio de los calamares (*Dosidicus gigas*) capturados en Santa Rosalía (Golfo de California) y la costa occidental de Baja California Sur, México.**

<b>N. de individuo</b>	<b>ng/hg/g</b>
1	53.0286924
2	NSR
3	10.0980522
4	10.0980522
5	NSR
6	10.0980522
7	10.1182483
8	9.90043863
9	NSR
10	10.1182483
11	NSR
12	NSR
13	10.0180676
14	24.3377018
15	NSR
16	NSR
17	NSR
18	NSR
19	10.0779365
20	10.0980522
21	NSR
22	NSR
23	199.484341
24	157.619736
25	157.934975