TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y BIOLÓGICAS

CARRERA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA MARINA

"DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN EL TEJIDO MÚSCULAR DEL TIBURÓN AZUL *Prionace glauca* (LINNAEUS, 1758) DESEMBARCADO EN ILO, MOQUEGUA-PERÚ"

Tesis para optar el título profesional de:

BIÓLOGO MARINO

Presentado por:

Adrian Eduardo Custodio Uribe (0000-0002-1031-421X)

Asesor:

Pepe Antonio Espinoza Silvera (0000-0001-5149-8310)

Lima - Perú

2024

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Copia del acta de sustentación

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 02 de setiembre de 2024.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Dr. José Alberto Iannacone Oliver
Integrante: Dr. Miguel Ángel Saldaña Serrano
Integrante: Blga. Keny Kanagusuku Gondo

Se reúnen para evaluar la tesis titulada: DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN EL TEJIDO MÚSCULAR DEL TIBURÓN AZUL *Prionace glauca* (LINNAEUS, 1758) DESEMBARCADO EN ILO, MOQUEGUA-PERÚ

Presentada por el tesista:

- Adrián Eduardo Custodio Uribe

Para optar el Título Profesional de Biólogo Marino

Asesorada por: Dr. Pepe Antonio Espinoza Silvera

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño de los estudiantes en la sustentación, concluyen de manera unánime (x) por mayoría simple ( ) calificar a:

Tesista: Adrián Eduardo Custodio Uribe			Nota (escrito): Dieciocho
Aprobado ( )	Aprobado - Muy buena (x)	Aprobado - Sobresaliente ( )	Desaprobado ( )

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



Dr. José Alberto Iannacone Oliver
Presidente del jurado



Dr. Miguel Ángel Saldaña Serrano
Miembro del jurado



Blga. Keny Kanagusuku Gondo
Miembro del jurado



Dr. Pepe Antonio Espinoza Silvera
Asesor

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Constancia de originalidad

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR	Gestión de Enseñanza y Aprendizaje	**Código**	GEA-IDI-MAN-01
	Investigación, Desarrollo e Innovación	**Versión**	3.0
	Manual para normas y procedimientos de los trabajos de investigación para la obtención de grados académicos y títulos profesionales	**Fecha**	18/11/2022

ANEXO 21: DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE INFORME FINAL DE TESIS

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR
DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS[13]

Lima, 20 de febrero del 2024

Señor,

_____
Carlos Zavalaga Reyes

Director General de Investigación, Desarrollo e Innovación
Universidad Científica del Sur
Presente. –

De nuestra consideración,

Yo: Adrian Eduardo Custodio Uribe, egresado de la carrera de Biología Marina de la Universidad Científica del Sur,en conjunto con el asesor de tesis Pepe Antonio Espinoza Silvera, declaramos que este informe final de tesis/trabajo de investigación titulado: **Determinación de la concentración de mercurio en el tejido muscular del tiburón azul Prionace glauca (Linnaeus, 1758) desembarcado en Ilo, Moquegua-Perú**, sustentado para obtener el título Biólogo Marino es original.

Es decir, no contiene plagio parcial ni total, cuando se utilizó información de fuentes externas se reconoció la autoría mediante la adecuada citación y los resultados obtenidos son producto entero de nuestra investigación y no han sido falseados ni fabricados. Todo esto en cumplimiento del Código de ética en la investigación, Reglamento del Comité de Integridad Científica,Reglamento de Propiedad Intelectual, Normas y procedimientos de los trabajos de investigación para la obtención de títulos profesionales y grados académicos 14, que afirmamos conocer en sutotalidad.

Por ello, en caso de identificarse alguna situación de plagio, falsificación o fabricación de resultados, nos allanamos al proceso de investigación que establezca la Universidad y las posibles sanciones que pudieran surgir.

Firmamos en conformidad con lo declarado,

Firma tesista	**Firma del asesor de tesis**
DNI: 73185378	**DNI: 07157752**

[13] En conformidad con la Resolución del Consejo Directivo N° 084-2022-SUNEDU/CD
[14] Los documentos están en: https://investigacion.cientifica.edu.pe/reglamentos/

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

INFORME DE REVISIÓN DE ORIGINALIDAD

Título del documento evaluado. Determinación de la concentración de mercurio en el tejido muscular del tiburón azul *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758) desembarcado en Ilo, Moquegua-Perú

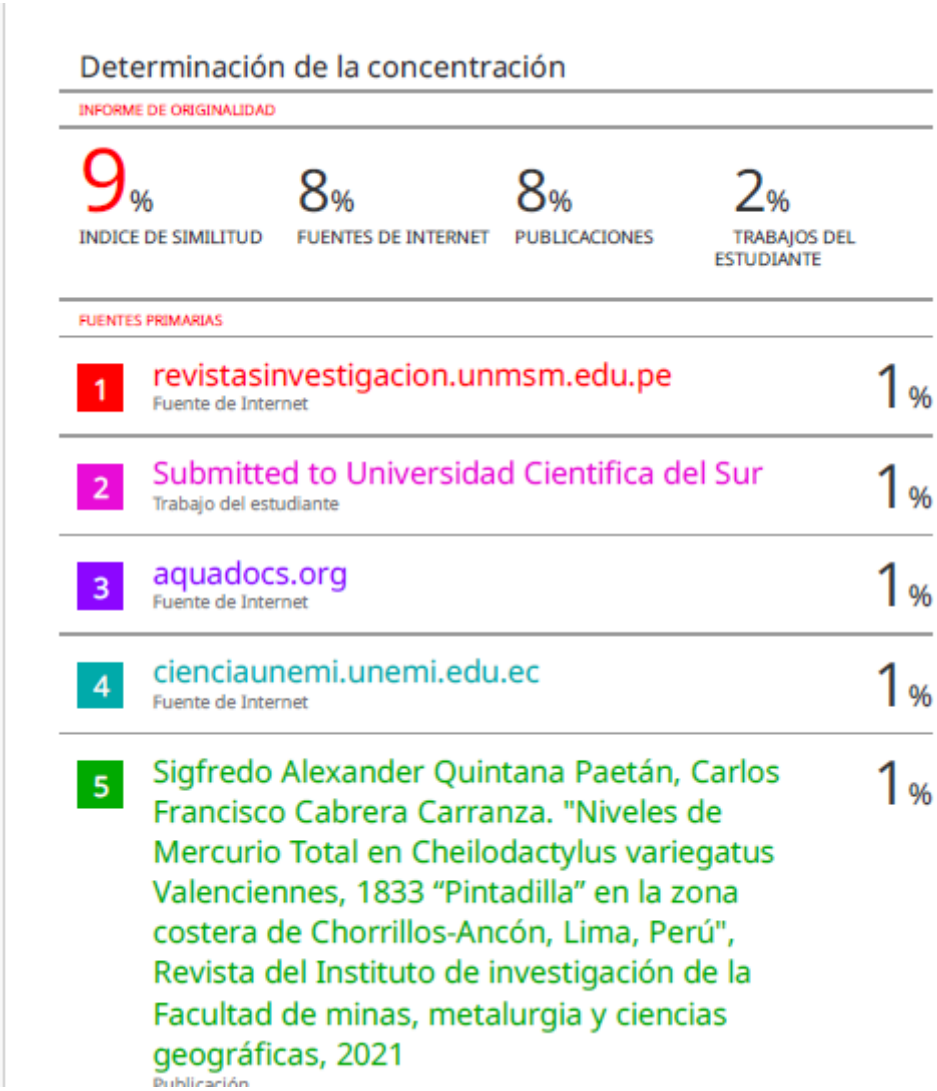
Autores. Adrian Eduardo Custodio Uribe

Mecanismo de revisión de originalidad. Evaluación con Turnitin (ID 2475021753).

Resultado de la evaluación. 9%

Revisado por. Magaly Kelly Guerrero Huaracallo.

Comentarios sobre la revisión. Filtros usados: excluir fuentes de menos de 12 palabras.



Determinación de la concentración

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%	8%	8%	2%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
2	Submitted to Universidad Cientifica del Sur Trabajo del estudiante	1%
3	aquadocs.org Fuente de Internet	1%
4	cienciaunemi.unemi.edu.ec Fuente de Internet	1%
5	Sigfredo Alexander Quintana Paetán, Carlos Francisco Cabrera Carranza. "Niveles de Mercurio Total en Cheilodactylus variegatus Valenciennes, 1833 "Pintadilla" en la zona costera de Chorrillos-Ancón, Lima, Perú", Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas, 2021 Publicación	1%

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Resumen

Los estudios sobre concentración de mercurio en tejido muscular de elasmobranquios son escasos en Perú y necesarios para estimar riesgos a la salud pública. La concentración de mercurio en el tejido muscular del tiburón azul (*Prionace glauca*) de 40 ejemplares capturados entre mayo del 2019 hasta febrero del 2020, frente al sur de Perú y norte de Chile, y desembarcado en el puerto de Ilo, ha fluctuado entre 0.037 y 0.289 mg.kg-1 de peso húmedo, estando por debajo de los valores encontrados en otros estudios, así como del máximo permisible (1 mg.kg-1 de peso húmedo). La correlación entre la concentración de mercurio y la longitud total estimada fue débil, mediante análisis de covarianza se detectó efecto significativo de las estaciones, pero no del sexo. Según los valores del coeficiente de riesgo (THQ) y la ingesta semanal máxima (ISM) de filetes de tiburón azul, no representan peligro alguno para la salud pública. Se plantea extender este estudio a otras especies de elasmobranquios y en diferentes zonas de la costa peruana.

Abstract

Studies on mercury concentration in muscle tissue of elasmobranchs are scarce in Peru and necessary to estimate public health risks. The mercury concentration in the muscle tissue of blue shark (Prionace glauca) from 40 specimens caught between May 2019 and February 2020, off southern Peru and northern Chile, and landed at the port of Ilo, has fluctuated between 0.037 and 0.289 $mg.kg^{-1}$ wet weight, being below the values found in other studies, as well as the maximum allowable (1 $mg.kg^{-1}$ wet weight). The correlation between mercury concentration and estimated total length was weak; by analysis of covariance, a significant effect of seasons was detected, but not of sex. According to the THQ values and the maximum weekly intake (MWI) of blue shark fillets, they do not represent any danger to public health. It is recommended that this study be extended to other elasmobranch species and in different areas of the Peruvian coast.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Determinación de la concentración de mercurio en el tejido muscular del tiburón azul *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758) desembarcado en Ilo, Moquegua-Perú

Adrian Custodio Uribe[a,1*], Pepe Espinoza[a,b,2]

[a] Universidad Científica del Sur, Lima, Perú

[b] Instituto del Mar del Perú, Lima, Perú

* Autor correspondiente: Adrian Custodio Uribe / custodiou.a@hotmail.com

[1] número ORCID: 0000-0002-1031-421X

[2] número ORCID: 0000-0001-5149-8310

Resumen

Los estudios sobre la concentración de mercurio en tejido muscular de elasmobranquios son escasos en Perú y necesarios para estimar riesgos a la salud pública. La concentración de mercurio en el tejido muscular del tiburón azul (*Prionace glauca*) de 40 ejemplares capturados entre mayo del 2019 hasta febrero del 2020, frente al sur de Perú y norte de Chile, y desembarcado en el puerto de Ilo, ha fluctuado entre 0.04 y 0.29 $mg.kg^{-1}$ de peso húmedo, estando por debajo de los valores encontrados en otros estudios, así como del máximo permisible (1 mg.kg de peso húmedo). La correlación entre la concentración de mercurio y la longitud total estimada fue débil (p=-0.18), mediante análisis de covarianza se detectó un aparente efecto significativo de las estaciones (p=0.021), pero no del sexo (p=0.447). Según los valores del coeficiente de riesgo (THQ) y la ingesta semanal máxima (ISM) de filetes de tiburón azul, no representan peligro alguno para la salud pública. Sin embargo, se plantea extender este estudio hacia diferentes especies de elasmobranquios y zonas de la costa peruana.

Palabras clave: bioacumulación, consumo, mercurio, riesgo, tiburón pelágico.

1. Introducción

En el Pacífico Sur Oriental, los estudios en torno a la concentración de metales como el mercurio en elasmobranquios son escasos (Tiktak et al., 2020), a pesar de ser un área con una gran variedad de especies de rayas y tiburones (Bezerra et al., 2019; Tiktak et al., 2020). En el Perú, los estudios desarrollados en elasmobranquios en su mayoría se han enfocado sobre aspectos reproductivos, ecológicos y taxonómicos (Coasaca-Céspedes et al., 2018; Córdova-Zavaleta et al., 2018; Landini et al., 2019; Valderrama-Herrera, 2019; Valderrama-Herrera et al., 2022). Recientemente, se han publicado estudios enfocados en la concentración de mercurio (Gonzalez-Pestana et al., 2017; Reátegui-Quispe y Pariona-Velarde, 2019) y el riesgo que puede representar para la salud pública (Cordero-Maldonado y Espinoza, 2022).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

El mercurio, no tiene una función biológica y puede ser encontrado de manera natural en la corteza terrestre, debido a erosión de las rocas, acción volcánica y desgasificación natural de la corteza terrestre (Priyadarshanee et al., 2022). Sin embargo, gran parte del mercurio en el ambiente proviene de actividades antropogénicas como la industria, minería y quema de combustibles fósiles (Chalkidis et al., 2020). La forma química más tóxica del mercurio es el monometil-Hg (MMHg) cuya forma abreviada de denominar es metil-Hg (MeHg) (Abud Zeid et al., 2021). La metilación es originada por bacterias anaeróbicas sulfato reductoras presentes en suelos y sedimentos (Chalkidis et al., 2020). Esta forma de mercurio es ampliamente biodisponible, con gran capacidad de bioacumularse y biomagnificarse en la cadena alimenticia (Priyadarshanee et al., 2022).

Se espera el mercurio presente altas concentraciones en los tejidos de los depredadores superiores, debido a su posición en la cadena alimenticia (Pethybridge et al., 2010). Uno de estos depredadores es el tiburón azul *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758), pertenece a la familia Carcharhinidae, es una especie pelágica, longeva y de hábitos costeros y oceánicos (Vandeperre et al., 2014). Al ser un depredador tope es considerado regulador del crecimiento poblacional de diferentes especies en el ecosistema marino (Calle et al., 2016). En Perú, es considerando de las principales especies en la pesquería de tiburones (Gonzalez-Pestana et al., 2016), particularmente en el puerto de Ilo, destinados para el consumo humano directo (Gonzalez-Pestana et al., 2016), representando una fuente de exposición de la población al mercurio (González-Estecha et al., 2014). Así, las concentraciones de mercurio dentro de los recursos destinados al consumo humano directo como la carne de tiburón, pueden variar por diversos factores biológicos, ambientales y antropogénicos (Paz et al., 2017; Biton-Porsmoguer et al., 2018).

Si bien ya se han consolidado las bases en el estudio de metales como el mercurio en tiburones, se ha recomendado extender este tipo de investigaciones a diferentes especies y niveles tróficos en distintas regiones del país (Gonzalez-Pestana et al., 2017). Por lo tanto, el presente estudio tiene como objetivo cuantificar la concentración de mercurio en el músculo del tiburón azul *P. glauca* desembarcado en el puerto de Ilo-Moquegua en relación a su longitud, sexo y variación estacional, así como evaluar el riesgo potencial a la salud pública.

2. Material y métodos

2.1. Periodo de estudio

Los ejemplares de *P. glauca* fueron capturados frente al sur del Perú y norte de Chile entre mayo del 2019 hasta febrero del 2020, esto con la finalidad de poder abarcar las cuatro estaciones del año. Los meses de muestreo fueron: mayo (otoño = O), agosto (invierno = I), diciembre (primavera = P) y febrero (verano = V) (Figura 1).

2.2. Colecta de muestras y toma de datos

De los tiburones azules que desembarcaban de la pesquería de palangre artesanal en el desembarcadero pesquero artesanal (DPA) de Ilo - Moquegua (17°38’40” S – 71°20’50” W), se realizó un corte del musculo en la parte antero dorsal del animal. En seguida fue guardado en una bolsa hermética de polietileno y posteriormente fue llevado de manera inmediata al laboratorio de Instituto del Mar del Perú (IMARPE) en Ilo, Perú para su próxima manipulación.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Al ser los tiburones desembarcados sin cabeza (Decreto supremo N°010-2017-PRODUCE), eviscerados y sin aletas, se utilizó el manual de identificación de troncos de Romero-Camarena (2018) para la correcta identificación de los mismos. Los datos colectados como la longitud total (LT) fue estimada utilizando a la longitud interdorsal (LID) y utilizando la ecuación: TL (longitud total) = 4.4321 IDL (longitud interdorsal) + 14.4326 (Maquera, 2016). Por otro lado, el sexo de cada individuo del cual se obtuvo las muestras fue determinado por la presencia o ausencia de claspers. Finalmente, las coordenadas geográficas del área de captura O (otoño) = 25°30'S-75°10'O, I (invierno) = 23°30'S-75°40'O, P (primavera) = 17°36'36.4''S-72°42'02.84''O y 18°13'35.43''S-75°52'08.24''O, V (verano) = 17°30'S-74°00'O (Fig. 1) fueron registradas por un GPS a bordo a cargo del patrón de la embarcación de la cual se colectaron las muestras.

2.3. Limpieza y almacenamiento de muestras

El procesamiento de las muestras fue realizado en el laboratorio de IMARPE en Ilo, se utilizaron guantes, bolsas herméticas de polietileno, tijeras, pinzas y bisturís de disección, así como abundante agua destilada.

Se adapto y utilizó como referencia la metodología propuesta por Escobar-Sánchez et al. (2011) y Barrera-García (2013). Lo primero fue lavar la muestra colectada con abundante agua destilada, posteriormente con la ayuda de tijeras, pinzas y bisturís de disección previamente limpiado y lavado con agua destilada, se procedió a separar un pedazo de musculo de aproximadamente 50 g. La submuestra de músculo adquirida fue lavada con abundante agua destilada una vez más para inmediatamente ser colocada en una bolsa hermética de polietileno con su respectivo rotulo. Finalmente, en conjunto con las demás submuestras se almacenaron en un congelador a una temperatura de -20 °C hasta su posterior análisis en laboratorio.

2.4. Determinación de la concentración de mercurio

Se realizó un preprocesamiento utilizando un sistema de microondas para digestión ácida con ácido nítrico al 65% (HNO_3). La solución acuosa resultante fue filtrada en un papel Whatman 541 de 0.45 µm. Finalmente, concentración de mercurio en las submuestras fue determinada por Espectrometría de Masas con Plasma de Acoplamiento Inductivo "ICP-MS (EPA METHOD 6020ª)", con un LCM (límite de cuantificación del método) de 0.01 mg/kg. Este proceso fue realizado en el laboratorio certificado de Certificaciones Perú SA – CERPER.

2.5. Evaluación del riesgo de la salud humana

Se estimó el riesgo potencial a la salud humana por consumo de filete de tiburón azul en el largo plazo, mediante el coeficiente de riesgo (THQ por sus siglas en inglés) (Chien et al., 2002):

$$THQ = \frac{EF.ED.FIR.C}{RfD.BW.AT}.10^{-3}$$

Donde, EF= 1 vez la semana "frecuencia de exposición (días/año)", ED= 70 años "duración de la exposición (años)", FIR= 8.2 "tasa de ingesta de alimento (g/día)", C= concentración del metal pesado (mg/g, peso húmedo), RfD= 0.0001 "dosis de referencia oral para el metal pesado (mg/kg/día)", BW= 64 "peso promedio de la población consumidora (Kg)" y AT= 3640 "promedio del tiempo de la exposición (días/año)*número de años de exposición". Si los resultados del índice son menores de 1, el consumo de este producto no representa riesgo para la salud humana a largo plazo (Chien et al., 2002).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Por otro lado, se ha calculado la ingesta semanal máxima (ISM)de carne de tiburón por parte de la población (World Health Organization, 2018)

$$ISM = \frac{PTWI.HBM}{THg}$$

Donde: PTWI = Ingesta provisional semanalmente admisible (1.6 µg monometil-Hg (MMHg)/kg); HBM = 64 "peso corporal medio de la población (kg)"; THg = concentración total de mercurio (mg/kg de peso húmedo).

2.6. Análisis estadístico de los datos

La distribución normal de los datos de concentración de mercurio fue comprobada mediante la prueba de Kolmogórov-Smirnov; con la prueba de Levene se realizó la homogeneidad de varianzas; se aplicó la prueba de correlación de Pearson entre la concentración de mercurio y la única covariable numérica que es el tamaño; finalmente, se aplicó la prueba de covarianza entre las concentraciones del mercurio con el sexo y las estaciones del año (Sokal y Rohlf, 2012). Todas las pruebas fueron ejecutadas al 0.05 de nivel de confianza en el programa R Studio (R Core Team, 2021).

3. Resultados

Se colectó un total de 40 muestras de musculo dorsal de *P. glauca* durante las cuatro estaciones, otoño (n = 13), invierno (n = 2), primavera (n = 10) y verano (n = 15). Para las hembras se colectaron un total de 21 muestras y para los machos un total de 19 muestras. Los individuos muestreados en otoño e invierno, fueron capturados en aguas chilenas. Y en primavera y verano fueron capturados en aguas peruanas (Figura 1). Debido al tamaño de muestra pequeño, las muestras de invierno fueron removidos al realizar los análisis de datos

El rango general estimado de LT para todos los individuos muestreados osciló entre 122.6 a 200.6 cm. La LT estimada de las hembras osciló entre 122.6 a 200.6 cm, y los machos entre 127 a 185.1 cm (Tabla 1.).

La concentración de mercurio en el tejido muscular dorsal de *P. glauca* de manera general osciló entre 0.04 a 0.29 mg kg^{-1} w.w (w.w = peso húmedo) (Tabla 1).

La correlación de Pearson entre la concentración de mercurio y la única covariable numérica LT fue débil (ρ = -0.18). Según el análisis de covarianza, el sexo no tendría efecto sobre las concentraciones de mercurio (ANCOVA, F = 0.592, p = 0.447), así mismo, se puede verificar que las regresiones se evidencian valores muy bajos entre la concentración de mercurio y LT: R^2 de hembras = 0.096 y R^2 de machos = 0.001 (Figura 2); en contraste con las estaciones del año, siendo la primavera la de efecto aparentemente opuesto al de las estaciones de otoño y verano (ANCOVA, F = 4.344, p = 0.021) (Figura 3), sin embargo la variabilidad de los datos no nos permite identificar un patrón definido de la relación entre la concentración de mercurio y la estacionalidad.

Ninguna de las concentraciones de mercurio reportados para *P. glauca* excedió el nivel máximo permisible de 1.0 mg Hg/kg establecido por el Manual de Inocuidad para los Productos Pesqueros y Acuícolas para Mercado Nacional y de Exportación (Dirección ejecutiva N° 057-2016-SANIPES).

De acuerdo a los valores obtenidos para THQ, ninguno estuvo cerca de 1 (Tabla 2), por lo tanto, no representan riesgo por consumo humano. Asimismo, de acuerdo con los valores mínimo,

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

máximo y promedio de la concentración de mercurio, la ISM indica que cantidad de alimento que consuma el poblador no le resultará dañino. Según los resultados, queda claro que hay relación directa entre la ISM y el peso corporal del consumidor, así como relación inversa entre la ISM y la concentración de mercurio en el tejido muscular de *P. glauca* (Tabla 2).

4. Discusión

La relación débil entre la concentración de mercurio en tejido muscular y la LT de *P. glauca* en el presente estudio, coincide con lo reportado por Reategui-Quispe y Pariona-Velarde (2019) en la zona sur del Perú. Sin embargo, en otras zonas del Pacífico, y en otros océanos, se han reportado diferencias significativas y fuerte relación directa entre la concentración de mercurio en el músculo y la LT de *P. glauca* (Branco et al., 2004; López-Vera y Maz-Courrau, 2006; Branco et al., 2007; Barrera-García et al., 2013; Castro-Rendón et al., 2022, Riesgo et al., 2023). Esta relación positiva se asocia con la disminución de la capacidad de desintoxicación conforme crecen, debido a su metabolismo, crecimiento lento y alta longevidad incrementándose la capacidad de acumulación de contaminantes (Amlund et al., 2007; Dang y Wang, 2012; Li et al., 2020). Así mismo, también debemos mencionar que *P. glauca* es considerado un depredador tope (Castro-Rendón et al., 2022). Por todos estos motivos antes mencionados se espera encontrar altos niveles de contaminantes como el mercurio conforme crecen (Rand et al., 1995; Castro-Rendón et al., 2022), los cuales pueden variar debido a cambios en su hábitat, dieta y madurez sexual, siendo costeros cuando juveniles y oceánicos cuando adultos (Vögler et al., 2012; Vandeperre et al., 2014).

Se ha reportado que la relación directa entre los niveles de mercurio y el tamaño del tiburón diamante *Isurus oxyrinchus* (Rafinesque, 1810) (Biton-Porsmoguer et al., 2018) se debe a su elevado metabolismo aeróbico (Shadwick y Goldbogen, 2012), siendo capaz de mantener la temperatura de diversas partes y órganos de su cuerpo hasta 10 °C por encima de la temperatura ambiental (Carey, 1982). Para ello necesita comer en mayores cantidades en comparación a *P. glauca*, lo cual indicaría una mayor posibilidad en acumulación de contaminantes como el mercurio. Si a esto le sumamos que el incremento de temperatura favorece mayor metilación del mercurio, tal como ha sido demostrado en algunas zonas costeras (Cinnirella et al., 2019; Cossa et al., 2022), favorecería la exposición no solo de los depredadores sino también de las presas.

La dieta es la principal fuente de exposición al mercurio u otros contaminantes que pueden tener los elasmobranquios (Boening, 2000; De Pinho et al., 2002; Lahaye et al., 2005). En el caso de *P. glauca*, los cambios ontogénicos en la dieta se asocian con variaciones en los niveles de mercurio en individuos juveniles y adultos (Álvaro-Berlanga et al., 2021) , así como la cantidad de alimento consumido y la concentración de contaminantes en las presas (Cossa et al., 2012; Li et al., 2020; Castro-Rendón et al., 2022). En el Pacífico centro y sur se ha reportado que los cefalópodos son las presas principales de *P. glauca*, desde *Argonauta* spp. (Linnaeus, 1758) en individuos juveniles, pasando a *Ancistrocheirus lesueurii* (A. d'Orbigny, 1842), *Gonatus* spp. (Gray, 1849) y *Dosidicus gigas* (A. d'Orbigny, 1835) en adultos (Markaida y Sosa-Nishizaki, 2010; García-Arévalo y Castro-Rendón, 2014; Córdova-Zavaleta et al., 2018).

Estudios realizados en cefalópodos tales como *A. lesueurii* y *D. gigas*, se ha evidenciado niveles bajos de mercurio entre 0.007 y 0.11 mg/kg^{-1} w.w, en comparación con los niveles más altos detectados en teleósteos tales como *Auxis thazard* (Lacepède, 1800) (0.27±0.22 mg/kg^{-1} w.w), *Scomber japonicus* (Houttuyn, 1782) (0.570±0.02 mg/kg^{-1} w.w), *Symbolophorus evermanni* (Gilbert, 1905) (0.34±0.13 mg/kg^{-1} w.w) así como en cetáceos no identificados (0.24±0.22 mg/kg^{-}

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

[1] w.w) (López-Vera y Maz-Courrau, 2006; Escobar-Sánchez et al., 2011; Barrera-García, 2013; García-Arévalo y Castro-Rendón, 2014). La diferencia en estos niveles de mercurio lo explican por la distancia lejana de la costa a la que se pueden encontrar estos cefalópodos y por ende a tener una menor exposición a la contaminación costera (De Pinho et al., 2002; López-Vera y Maz-Courrau, 2006; Cherel y Hobson, 2007).

Diversos autores indican que los niveles bajos de mercurio en cefalópodos como *D. gigas* se puede deber a los eficientes procesos de detoxificación de contaminantes, relacionados a su rápido metabolismo, elevada tasa de crecimiento y corto periodo de vida (Ehrhardt et al., 1986; Gilly et al., 2006; Barrera-García, 2013). Entonces, si consideramos que sus principales presas no se encuentran expuestas a la contaminación costera teniendo hábitos más oceánicos, y que de manera natural presentan una eficiente detoxificación de los contaminantes, es de esperar que las concentraciones de mercurio en el músculo de *P. glauca* para el presente estudio sean bajos. Sin embargo, es importante considerar que *P. glauca* tiene una gran capacidad adaptativa trófica (Henderson et al., 2001), por lo que no descartamos una interacción con otro tipo de presas con niveles de mercurio más elevadas como se mencionaron anteriormente.

La madurez sexual para *P. glauca* es alcanzada aproximadamente en los 200 cm de longitud total (Bustamante y Bennett, 2013). Sin embargo, en el presente estudio, la mayoría de ejemplares a excepción de uno estuvieron por debajo de esa talla. Estos ejemplares fueron capturados entre 50 y 520 millas náuticas de distancia a la costa. Esta lejanía a la costa y por ende una exposición a un ambiente con bajos niveles de mercurio (Cherel y Hobson, 2007) podrían explicar los resultados del presente estudio. Se ha demostrado que no existe diferencias en la concentración de mercurio según el sexo en el tejido muscular de *P. glauca* (Branco et al., 2004; Branco et al., 2007 Escobar-Sánchez et al., 2011; Biton-Porsmoguer et al., 2018; Castro-Rendón et al., 2022; Riesgo et al., 2023), lo que se ha comprobado en este estudio. Sin embargo, esta especie exhibe segregación sexual en su área de distribución, pudiendo migrar a diferentes zonas y exponiéndose potencialmente a diferentes contaminantes (Vandeperre et al., 2014), siendo la dieta la principal fuente de acumulación de contaminantes (Boening, 2000; De Pinho et al., 2002; Lahaye et al., 2005). En el caso de las hembras al desplazarse hacia las zonas de crianza cercanas a la costa, en donde las concentraciones de mercurio debido a actividad antropogénica son más altas en comparación a la zona oceánica (Cherel y Hobson, 2007), se incrementa la posibilidad de incorporar mercurio dentro suyo, el cual luego puede ser transferido a sus crías, representando un mecanismo de desintoxicación (Cadena-Cárdenas, 2004; Pethybridge et al., 2010).

En el Perú, *P. glauca* es la especie más importante de desembarques de la pesquería artesanal de tiburones (Pérez-Huaripata et al., 2021). Se estima que en zonas como la región norte del Perú se consume alrededor de 25 Kg por año por persona de la carne de esta especie (López de la Lama et al., 2018), y considerando que el consumo de la carne es la principal fuente de exposición de contaminantes como el mercurio hacia los seres humanos (Gonzáles-Estecha et al., 2014), podríamos estar frente a una posible acumulación de mercurio en la población costera. Por estos motivos resulta de gran importancia el calcular el coeficiente de riesgo (THQ) por consumo de filete de tiburón, así como también la ingesta semanal máxima de carne de tiburón por parte de la población (ISM). Según este estudio, los valores de THQ estuvieron por debajo de 1; ante la máxima concentración de Hg registrada (0.29 mg/kg de peso húmedo) la ISM no debe superar los 353 g de filete de tiburón azul. También se hizo el cálculo del ISM con la concentración máxima (0.50 mg/kg de peso húmedo) registrada por Reátegui-Quispe y Pariona-Velarde (2019) debido a que las muestras fueron capturadas en zonas similares y

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

desembarcadas del mismo puerto pesquero que el presente estudio teniendo como resultado un ISM de 205 g. Por esta razón, aunque según los valores de THQ y la ISM de filetes de *P. glauca* no representan peligro para la salud pública, debemos ser cautos porque los cálculos se han basado en una sola referencia de peso corporal, sin tener en cuenta las diferencias según el sexo y la edad de un poblador promedio.

5. Conclusiones y recomendaciones

El presente estudio demuestra que la ingesta de filetes de tiburón azul por parte de la población no representa riesgo alguno para la salud pública en la zona estudiada. Sin embargo, se sugiere evaluar el efecto teniendo en cuenta el sexo y edad de los consumidores, así como la procedencia de las muestras. Asimismo, se recomienda continuar este tipo de estudios en diferentes especies de tiburones, considerando adicionalmente a sus presas más importantes y otro tipo de tejido muestreado, de este modo entenderemos de mejor manera las rutas de transferencia de contaminantes.

6. Declaración de contribución a la autoría

Adrian Custodio: Conceptualización, Análisis formal, Investigación, Redacción - borrador original, Redacción - revisión y edición, Obtención de fondos. **Pepe Espinoza**: Conceptualización, Análisis formal, Redacción - revisión y edición, Supervisión.

7. Declaración de conflictos de interés

Los autores declaran no tener intereses económicos en competencia ni relaciones personales que pudieran influir en el trabajo presentado en este artículo.

8. Agradecimientos

Queremos agradecer a los pescadores espineleros del puerto de Ilo, y a los colegas del Instituto del Mar del Perú (IMARPE) sede Ilo, por el apoyo en el trabajo en campo para la colecta y primer procesamiento de las muestras.

9. Disponibilidad de los datos

Los datos estarán disponibles previa petición.

10. Referencias

Abud Zeid, E. H., Khalifa, B. A., Said, E. N., Arisha A. H., y Reda, R. M. (2021). Neurobehavioral and immune-toxic impairments induced by organic methyl mercury diertary exposure in Nile tilapia Oreochromis niloticus. *Aquatic Toxicology, 230*, 105702. https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2020.105702

Álvaro-Berlanga, S., Calatayud-Pavia, C. E., Cruz-Ramirez, A., Soto- Jimenez, M. F., y Linan-Cabello, M. A. (2021). Trace elements in muscle tissue of three commercial shark species: *Prionace glauca, Carcharhinus falciformis*, and *Alopias pelagicus* off the Manzanillo, Colima coast, Mexico. *Environmental Science and Pollution Research, 28*(18), 22679–22692. https://doi.org/10.1007/s11356-020-12234-5

Amlund, H., Lundebye, A. K., y Berntssen, M. H. G. (2007). Accumulation and elimination of methylmercury in Atlantic cod (*Gadus morhua*) following dietary exposure. *Aquatic Toxicology,83*(4), 323–330. https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2007.05.008

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Barrera-García, A. M. (2013). *Elementos traza e indicadores de estrés oxidativo en el tiburón azul (Prionace glauca) de la costa occidental de Baja California Sur, México*. (Tesis doctoral). Centro de Investigaciones Biólogicas del Nor Oeste, S.C., La Paz, Baja California Sur.

Bezerra, M. F., Lacerda, L. D., y Lai, C. T. (2019). Trace metals and persistent organic pollutants contamination in batoids (Chondrichthyes: Batoidea): A systematic review. *Environmental Pollution, 248*, 684-695. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.02.070

Biton-Porsmoguer, S., Bănaru, D., Boudouresque, C. F., Dekeyser, I., Bouchoucha, M., Marco-Miralles, F., Lebreton, B., Guillou, G., y Harmelin-Vivien, M. (2018). Mercury in blue shark (*Prionace glauca*) and shortfin mako (*Isurus oxyrinchus*) from north-eastern Atlantic: Implication for fishery management. *Marine Pollution Bulletin, 127*, 131–138. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.12.006

Boening, D. X. (2000). Ecological effects, transport, and fate of mercury: A general review. *Chemosphere, 40*(12), 1335–1351. https://doi.org/10.1016/S0045-6535(99)00283-0

Branco, V., Carário, J., Vale, C., Raimundo, J., y Reis, C. (2004). Total and organic mercury concentrations in muscle tissue of the blue shark (*Prionace glauca* L. 1758) from de Northeast Atlantic. *Marine Pollution Bulletin,49* (9-10), 871-874. 10.1016/j.marpolbul.2004.09.002

Branco, V., Vale, C., Canário, J., y dos Santos, M. N. (2007). Mercury and selenium in blue shark (*Prionace glauca*, L. 1758) and swordfish (*Xiphias gladius*, L. 1758) from two areas of the Atlantic Ocean. *Environmental Pollution, 150*(3), 373–380. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.01.040

Bustamante, C., y Bennett, M. B. (2013). Insights into the reproductive biology and fisheries of two commercially exploited species, shortfin mako (*Isurus oxyrinchus*) and blue shark (*Prionace glauca*), in the south-east Pacific Ocean. *Fisheries Research, 143*, 174–183. https://doi.org/10.1016/j.fishres.2013.02.007

Cadena-Cárdenas, L. (2004). *Mercurio total en peces elasmobranquios y teleósteos del Golfo de California* (Tesis de maestría). Instituto Tecnológico del Mar, Guaymas, Sonora.

Calle, M. M., Castro, R. R., García, A. I., y Cucalón, H. A. (2016). Revisión histórica de los estudios sobre la biología, ecología del tiburón azul *Prionace glauca* en aguas del Pacífico ecuatoriano. *Revista Ciencia UNEMI, 9* (19): 106-109. https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol9iss19.2016pp106-109p

Carey, F. G. (1982). Warm fish. En: C. R. Taylor., K. Johansen., L. Bolis. (Ed), *A Companion to Animal Physiology* (pp. 216-233). United Kingdom, Cambridge University Press.

Castro-Rendón, R. D., Calle-Morán, M. D., García-Arévalo, I., Ordiano-Flores, A., y Galván-Magaña, F. (2022). Mercury and cadmium concentrations in muscle tissue of the blue shark (*Prionace glauca*) in the central eastern Pacific Ocean. *Biological Trace Element Research, 200*(7), 3400-3411. https://doi.org/10.1007/s12011-021-02932-7

Chalkidis, A., Jampaiah, D., Aryana, A., Wood, D. C., Hartley, P. G., Sabri, Y. M., y Bhargava, S. K. (2020). Mercury-bearing wastes: Sources, policies and treatment technologies for mercury recovery and safe disposal. *Journal of Environmental Management, 270*(15), 110945. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110945

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Cherel, Y., y Hobson, K. A. (2007). Geographical variation in carbon stable isotope signatures of marine predators: a tool to investigate their foraging areas in the Southern Ocean. *Marine Ecology Progress. Series, 329*, 281–287. https://doi.org/10.3354/meps329281

Chien, L.-C., Hung, T.-C., Choang, K.-Y., Yeh, C.-Y., Meng, P.-J., Shieh, M.-J., y Han, B.-C. (2002). Daily intake of TBT, Cu, Zn, Cd and As for fishermen in Taiwan. *Science of the Total Environment, 285* (1), 177–185. https://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)00916-0

Cinnirella, S., Bruno, D. E., Pirrone, N., Horvat, M., Živkovićc, I., Evers, D. C., Johnson, S., y Sunderland, E. M. (2019). Mercury concentrations in biota in the Mediterranean Sea, a compilation of 40 years of surveys. *Scientific Data, 6* (205). https://doi.org/10.1038/s41597-019-0219-y

Coasaca-Céspedes, J. J., Segura-Cobeña, E., Montero-Taboada, R., Gonzales-Pestana, A., Alfaro-Córdova, E., Alfaro-Shigueto, J., y Mangel, J. C. (2018). Preliminary analysis of the feeding habits of batoids from the genera *Mobula* and *Myliobatis* in Northern Peru. *Revista de Biología Marina y Oceanografía,53*(3), 367-374. https://doi.org/10.22370/rbmo.2018.53.3.1368

Cordero-Maldonado, C., y Espinoza, P. (2022). Cadmium and lead levels in muscle tissue of blue shark (*Prionace glauca*) in the Southeastern Pacific Waters. *Marine Pollution Bulletin, 177*, 113523. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113523

Córdova-Zavaleta, F., Mendo, J., Briones-Hernández, S. A., Acuña-Perales, N., Gonzalez-Pestana, A., Alfaro-Shigueto, J., y Mangel, J. C. (2018). Food habits of the blue shark, *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758), in waters off northern Peru. *Fishery Bulletin, 116*(3-4), 310-322. https://doi.org/10.7755/FB.116.3-4.9

Cossa, D., Harmelin-Vivien, M., Mellon-Duval, C., Loizeau, V., Averty, B., Crochet, S., Chou, L., y Cadiou, J. F. (2012). Influence of bioavaibility, trophic position and growth on methylmercury in hakes (*Merluccius merluccius*) from northwestern Mediterranean and northeast Atlantic. *Environmental Science & Technology, 46*(9), 4885–4893. https://doi.org/10.1021/es204269w

Cossa, D., Knoery, J., Bănaru, D., Harmelin-Vivien, M., Sonke, J. E., Hedgecock, I. M., Bravo, A. G., Rosati, G., Canu, D., Horvat, M., Sprovieri, F., Pirrone, N., y Heimbürger-Boavida, L. E. (2022). Mediterranean mercury assessment 2022: an updated budget, health consequences, and research perspectives. *Environmental Science & Technology, 56*(7), 3840–3862. https://doi.org/10.1021/acs.est.1c03044

Dang, F., y Wang, W. X. (2012). Why mercury concentration increases with fish size? Biokinetic explanation. *Environmental Pollution, 163*, 192–198. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.12.026

De Pinho, A. P., Guimarães, J. R. D., 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 of feeding habit, sex, and length. *Environmental Research, 89*(3), 250–258. https://doi.org/10.1006/enrs.2002.4365

Dirección Ejecutiva N° 057-2016-SANIPES-DE. Manual "Indicadores Sanitarios y de Inocuidad para los Productos Pesqueros y Acuícolas para Mercado Nacional y de Exportación" (23 de junio del 2016). https://www.gob.pe/institucion/sanipes/normas-legales/364044-057-2016-sanipes-de

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Decreto Supremo N° 010-2017-PRODUCE. Decreto Supremo que modifica el Decreto Supremo N° 021-2016-PRODUCE, que establece medidas de ordenamiento para la pesquería del recurso tiburón (16 de agosto del 2017). https://faolex.fao.org/docs/pdf/per171700.pdf

Ehrhardt, N., Jacquemin, J., Ulloa, P., Gonzales, G., y Garcia, F. (1986). Análisis de la biología y condiciones del stock del calamar gigante *Dosidicus gigas* en el Golfo de California, México, durante 1980. *Ciencia Pesquera. Inst. Nac. Pesca. Sria. Pesca. México, 65(*5), 63-76. Recuperado de: https://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/cienciapesquera/CP05/CP05-05.pdf

Escobar-Sánchez, O., Galván-Magaña, F., y Rosíles-Martínez, R. (2011). Biomagnification of mercury and selenium in blue shark *Prionace glauca* from the Pacific Ocean off Mexico. *Biological Trace Element Research, 144*, 550-559. Doi: https://doi.org/10.1007/s12011-011-9040-y

García-Arévalo, I., y Castro-Rendón, R. D. (2014). *Bioacumulación y biomagnificación de mercurio en tiburón azul Prionace glauca (Linnaeus, 1758) de las costas adyacentes al puerto de Santa Rosa de Salinas-Ecuador* (Tesis de pregrado). Universidad de Especialidades Espíritu Santo, Samborondón.

Gilly, W. F., Markaida, U., Baxter, C. H., Block, B. A., Boustany, A., Zeidberg, L., Reisenbichler, K., Robison, B., Bazzino, G., y Salinas, C. (2006). Vertical and horizontal migrations by the jumbo squid *Dosidicus gigas* revealed by electronic tagging. *Marine Ecology Progress Series, 324*, 1–17. https://doi.org/10.3354/meps324001

González-Estecha, M., Bodas-Pinedo, A., Guillén-Pérez, J. L., Rubio-Herrera, M. A., Ordóñez-Iriarte, J. M., Trasobares-Iglesias, E. M., ...Calle-Pascual, A. (2014). Exposición al metilmercurio en la población general; toxicocinética; diferencias según el sexo, factores nutricionales y genéticos. *Nutrición Hospitalaria, 30* (5), 968-988. https://dx.doi.org/10.3305/nh.2014.30.5.7727

Gonzalez-Pestana, A., Alfaro-Shigueto, J., Mangel, J. C., y Espinoza, P. (2017). Mercury levels in the smooth hammerhead Shark *Sphyrna zygaena* (Carcharhiniformes: Sphyrnidae) from Northern Perú. *Revista Peruana de Biología, 24*(4), 407–411. https://doi.org/10.15381/rpb.v24i4.14066

Gonzalez-Pestana, A., Kouri J, C., y Velez-Zuazo, X. (2016). Shark fisheries in the Southeast Pacific: A 61-year analysis from Peru. *F1000 Research, 3*, 164. https://doi.org/10.12688/f1000research.4412.2

Henderson, A. C., Flannery, K., y Dunne, J. (2001). Observations on the biology and ecology of the blue shark in the North-east Atlantic. J. *Fish Biology, 58*(5), 1347-1358. https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2001.tb02291.x

Lahaye, V., Bustamente, P., Spitz, J., Dabin, W., Das, K., Pierce, G. J., y Caurante, F. (2005). Long-term dietary segregation of common dolphins *Delphinus delphis* in the Bay of Biscay, determined using cadmium as an ecological tracer. *Marine Ecology Progress Series, 305*, 275-285. doi:10.3354/meps305275

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Landini, W., Collareta, A., Di Celma, C., Malinverno, E., Urbina, M., y Bianucci, G. (2019). The early Miocene elasmobranch assemblage from Zamaca (Chilcatay Formation, Peru). *Journal of South American Earth Sciences, 91*, 352-371. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2018.08.004

Li, M., Juang, C. A., Ewald, J. D., Yin, R., Mikkelsen, B., Krabbenhoft, D. P., Balcom, P. H., Dassuncao, C., y Sunderland, E. M. (2020). Selenium and stable mercury isotopes provide new insights into mercury toxicokinetics in pilot whales. *Science of the Total Environment, 710*, 136325. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136325

López de la Lama, R., De la Puente, S., y Riveros, J. C. (2018). Attitudes and misconceptions towards sharks and shark meat consumption along the Peruvian coast. *PLOS ONE, 13*(8), e0202971. . https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202971

Lopez, S. A., Abarca, N. L. y Meléndez, R. C. (2013). Heavy metal concentrations of two highly migratory sharks (Prionace glauca and Isurus oxyrinchus) in the Southeastern 23 Pacific waters: Comments on public health and conservation. Trop. Conserv. Sci. 6(1), 126-137. https://doi.org/10.1177/194008291300600103

López-Vera, C., y Maz-Courrau, A. (2006). *Biomagnifcación y Biomaculuación de Mercurio en Cuatro Especies de Tiburón de la Península de Baja California Sur, México* (Tesis de pregrado). Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá D.C.

Maquera, A. (2016). Estimación de las longitudes total y horquilla de *Prionace Glauca* tiburón azul a partir de longitudes alternativas (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Moquegua, Moquegua, Perú. Recuperado de https://repositorio.unam.edu.pe/server/api/core/bitstreams/b748e09e-82ee-47d9-9466-c934790a2936/content

Markaida, U., y Sosa-Nishizaki, O. (2010). Food and feeding habits of the blue shark *Prionace glauca* caught off Ensenada, Baja California, Mexico, with a review on its feeding. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 90*(5), 977–994. https://doi.org/10.1017/S0025315409991597

Paz, S., Burgos, A., Gutiérrez, A., Hernández, C., Lozano, G., Rubio, C., y Hardisson, A. (2017). El mercurio contaminante marino y alimentario. *Ars Clinica Academica, 3*(3), 5-11. Recuperado de https://www.ramedtfe.es/docs/ArsClinicaAcademicaVol3Num3.pdf

Pérez-Huaripata, M., Argumedo, E., Tacuri, P., Lau, W., Castillo, G., Saldarriaga, M., Palacios, J., y Guevara-Carrasco, R. (2021). Indicadores poblacionales del tiburón diamante *Isurus oxyrinchus* y tiburón azul *Prionace glauca* en el litoral peruano. *Informe IMARPE, 48*(4), 578-593. Recuperado de https://repositorio.imarpe.gob.pe/handle/20.500.12958/3649

Pethybridge, H., Cossa, D., y Butler, E. C. V. (2010). Mercury in 16 demersal sharks from southeast Australia: Biotic and abiotic sources of variation and consumer health implications. *Marine Environmental Research, 69*(1), 18–26. https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2009.07.006

Priyadarshanee, M., Chatterjee, S., Rath, S., Dash, H. R., y Das, S. (2022). Cellular and genetic mechanism of bacterial mercury resistance and their role in biogeochemistry and bioremediation. *Journal of Hazardous Materials, 423*(A), 126985. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126985

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Rand, G.M., Wella, P. G., y McCarthy, L. S. (1995). Introduction to aquatic ecology. In: G. M. Rand. (Ed). *Fundamentals of aquatic toxicology* (pp. 3-53). London: Taylor & Francis.

Reátegui-Quispe, A., y Pariona-Velarde, D. (2019). Determinación de plomo, cadmio, mercurio y bases volátiles nitrogenadas totales (NBVT) en el músculo de tiburón azul *Prionace glauca* procedente de la zona sur del Perú. *Revista de Biología Marina y Oceanografía, 54*(3), 336-342. https://doi.org/10.22370/rbmo.2019.54.3.2029

Riesgo, L., Sanpera, C., García-Barcelona, S., Sánchez-Fortún, M., Coll, M., y Navarro, J. (2023). Understanding the role of ecological factores affecting mercury concetrations in the blue shark (*Prionace glauca*). *Chemosphere, 313*, 137642. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137642

Romero-Camarena, M. (2018). Manual para de identificación de troncos de tiburones de importancia comercial en el Perú. Lima, Instituto del Mar del Perú (IMARPE). 16 pp. Recuperado de https://repositorio.imarpe.gob.pe/handle/20 500.12958/3305

R Core Team. (2021). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.

Shadwick, R. E., y Goldbogen, J. A. (2012). Muscle function and swimming in sharks. *Journal of Fish Biology, 80*(5), 1904–1939. https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2012.03266.x

Sokal, R. R., y Rohlf, F. J. (2012). Biometry. 4th edition, Freeman, New York.

Tiktak, G. P., Butcher, D., Lawrence, P. J., Norrey, J., Bradley, L., Shaw, K., Preziosi, R., y Megson, D. (2020). Are concentrations of pollutants in sharks, rays and skates (Elasmobranchii) a cause for concern? A systematic review. *Marine Pollution Bulletin, 160*, 111701. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111701

Valderrama-Herrera, M. A. (2019). *Biología Reproductiva de Myliobatis peruvianus "Raya Águila" (Garman, 1913) Proveniente del Puerto Salavaerry, La Libertad, Perú* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo.

Valderrama-Herrera, M., Kanagusuku, K., y Ramírez-Amaro, S. (2022). Morphological abnormalities in the Chilean eagle ray *Myliobatis chilensis* (Myliobatiformes: Myliobatidae) off the Peruvian coast, Southeast Pacific. *Universitas Scientiarum, 27*(3), 292-312. https://doi.org/10.11144/Javeriana.SC273.mait

Vandeperre, F., Aires-da-Silva, A., Fontes, J., Santos, M., Serrão-Santos, R., y Alfonso, P. (2014). Movements of blue sharks (*Prionace glauca*) across their life history. *PLOS ONE, 9*(8), e103538. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103538

Vögler, R., Beier, E., Ortega-García, S., Santana-Hernández, H., y Valdez-Flores, J. J. (2012). Ecological patterns, distribution and population structure of *Prionace glauca* (Chondrichthyes: Carcharhinidae) in the tropical-subtropical transition zone of the north-eastern Pacific. Marine *Environmental Research, 73*, 37–52. https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2011.10.009

World Health Organization (2018). (http://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/chemical.aspx?chemID=1806)

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

11. Figuras y tablas

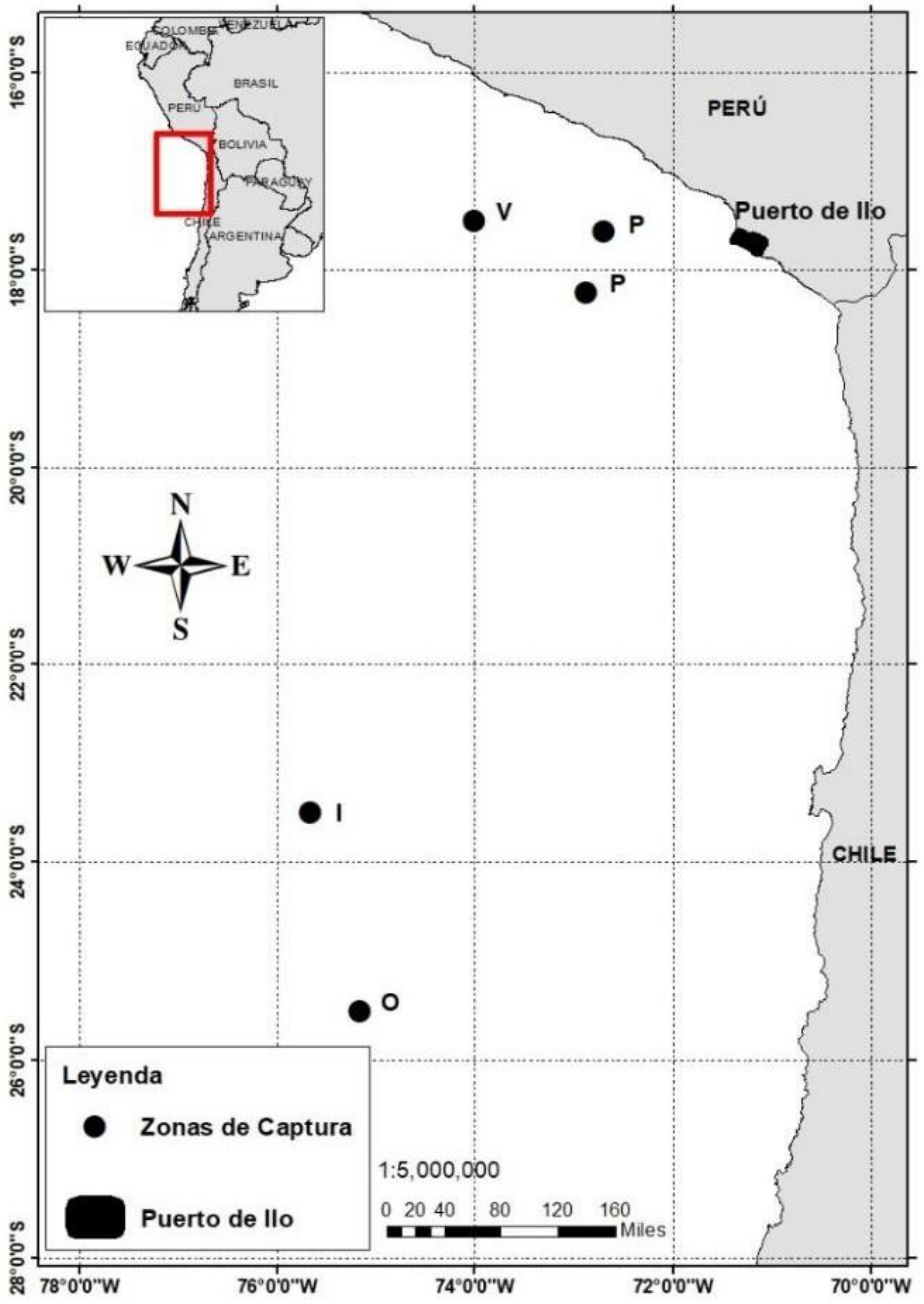


Figura 1. Zonas de captura aproximada de *Prionace glauca* por cada estación del año. V = Verano, O = Otoño, I = Invierno, P = Primavera.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

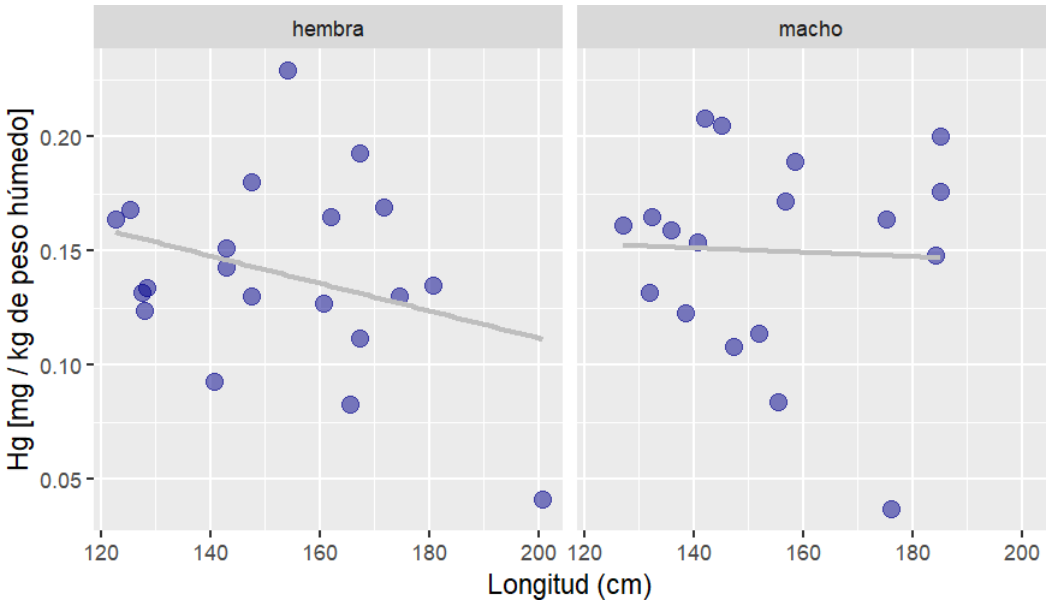


Figura 2. Relación entre el tamaño del cuerpo y las concentraciones de mercurio según sexo de *Prionace glauca*. (hembras: Y = 0.23 – 0.00006X, R^2 = 0.096; machos: Y = 0.16 – 0.000094X, R^2 = 0.001)

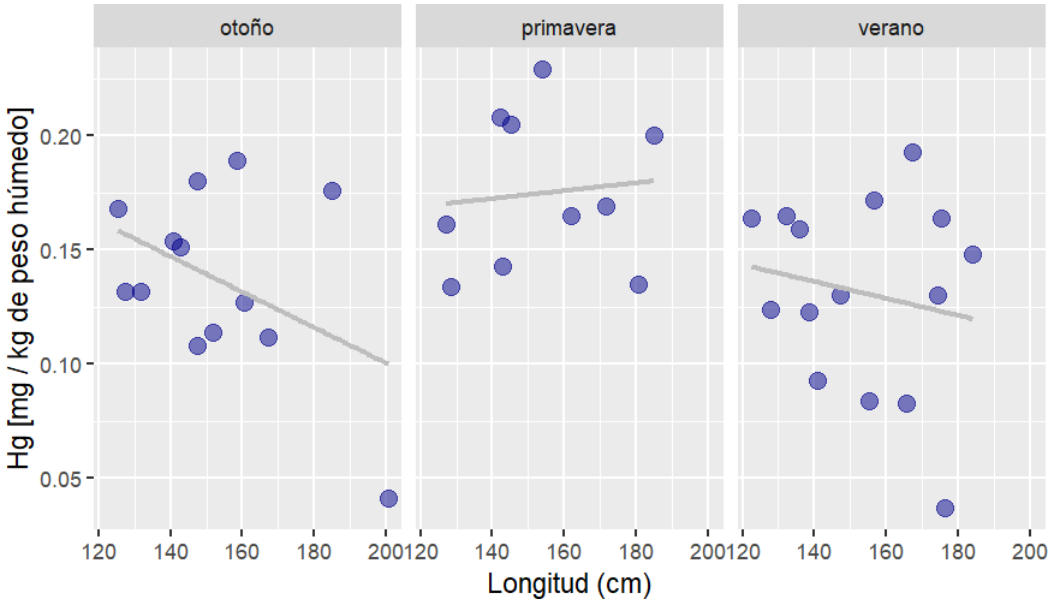


Figura 3. Relación entre el tamaño del cuerpo y las concentraciones de mercurio de *Prionace glauca* según estaciones del año. (verano: Y = 0.10 – 0.00037X, R^2 = 0.03; otoño: Y=0.26 – 0.00078X, R^2 = 0.19; primavera: Y = 0.15 + 0.00017, R^2 = 0.01)

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Tabla 1. Comparación de valores de mercurio (Hg) en el músculo del tiburón azul *Prionace glauca* de diferentes partes del mundo con el presente estudio.

Longitud total (cm)	Ubicación	Tejido	Promedio nivel de Hg (mg/kg^{-1}) w.w	Niveles de Hg (mg/kg^{-1}) w.w	Referencia
97 - 258	Islas Azores e Islas Canarias, Noreste del Océano Atlántico	Músculo	-	Min: 0.00016; Máx: 0.00184	Branco et al., 2004
130 - 310	Baja California Sur, México	Músculo	0.82±034	Min: 0.75; Máx: 3.43	López-Vera y Maz-Courrau (2006)
84 - 265	Oceano Atlántico	Músculo	-	Min: 0.0002; Máx: 0.0025	Branco et al., 2007
113 - 287	Baja California Sur, México	Músculo	0.0013±0.0015	Min: 0.0002; Máx: 0.0076	Escobar-Sánchez et al., 2011
117 - 269	Baja California Sur, México	Músculo	1.03 ± 0.08	Promedios: Min: 0.58 ± 0.05; Máx: 1.69 ± 0.18	Barrera-García (2013)
		Hepático	0.22 ± 0.06	Min: 0.12 ± 0.03; Máx: 0.65 ± 0.38	
		Renal	0.38 ± 0.06	Min: 0.4 ± 0.08; Máx: 0.31 ± 0.04	
97 - 290	Santa Rosa, Ecuador	Músculo	-	Min: 0.02; Máx: 0.29	García-Arevalo y Castro-Rendón (2014)
74 - 284	Península Ibérica y Archipiélago de Azores, Océano Atlántico	Músculo	0.52±0.35	Min: 0.14; Máx: 1.71	Biton-Porsmoguer et al., 2018
146.3 - 234.2	Sur del Perú	Músculo	-	Min: 0.09; Máx: 0.50	Reátegui-Quispe y Pariona-Velarde (2019)

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

97 - 290	Santa Rosa, Ecuador	Músculo	-	Min: 0.17; Máx: 2.94	Castro-Rendón et al., 2021
43 - 231	Oeste del Océano Mediterráneo, Islas Canarias y Sur de Portugal	Músculo	1.58±1.62	Min: 0.12; Máx: 9.83	Riesgo et al., 2023
123 - 201	Sur del Perú	Músculo	0.15 ± 0.05	Min: 0.04; Máx: 0.29	Presente estudio

Tabla 2. Coeficiente de riesgo e ingesta semanal máxima (g) de *Prionace glauca*.

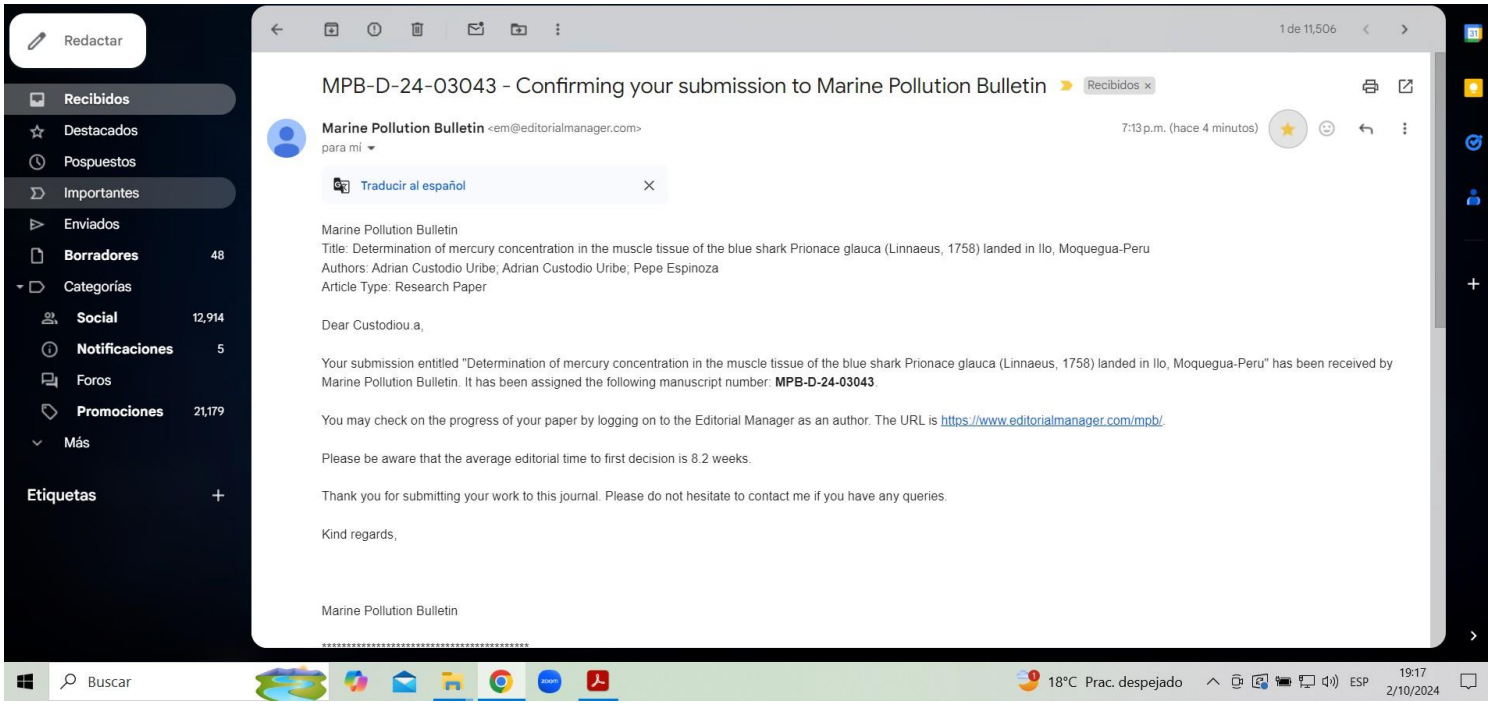
THg (mg.kg^{-1}. peso húmedo)	RfD (mg.kg^{-1}.día^{-1})	THQ	ISM (g)
Min: 0.04	0.0001	0.001	2560
Max: 0.29		0.007	353
Mean: 0.1495		0.003	685

*RfD = Dosis de ingesta de alimento (g/día), THQ = Coeficiente de riesgo (siglas en inglés), ISM = Ingesta semanal máxima.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Anexos

Evidencia de envío a la revista científica



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Copia de documento de aprobación del comité de ética

COMITÉ INSTITUCIONAL DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN CON ANIMALES Y BIODIVERSIDAD

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Constancia N° 114-CIEI-AB-CIENTÍFICA-2020

El presidente del Comité Institucional de Ética en Investigación con Animales y Biodiversidad de la Universidad Científica del Sur (CIEI-AB-CIENTÍFICA) da constancia que el proyecto de investigación, cuyos datos se registran a continuación, ha sido **aprobado**.

Código de registro:	**702-2019-PRE5**
Título:	**Determinación de la concentración de mercurio en el tejido muscular del tiburón azul, *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758), desembarcado en Ilo, Moquegua-Perú**
Investigador(a):	**Adrián Eduardo Custodio Uribe**

La aprobación del proyecto de investigación implica que el documento presentado a evaluación cumple con los lineamientos de Universidad en materia de investigación y ética, los cuales se sustentan en la normativa internacional vigente. Adicionalmente, en el contexto de la pandemia de enfermedad por COVID-19, le recomendamos cumplir con las normas publicadas por el estado peruano.

En tal sentido, esta aprobación carecerá de valor si es que el proyecto de investigación arriba indicado es modificado de cualquier forma. Toda enmienda, añadido, eliminación o eventualidad (eventos adversos, etc.) posterior a la fecha de aprobación debe ser reportado al CIEI-AB-CIENTÍFICA.

La vigencia de la aprobación de este documento es de dieciocho (18) meses (**hasta el 20 de enero del 2022**), periodo en el que puede desarrollarse el proyecto. Cualquier trámite para su renovación deberá ser enviado antes del término de la vigencia de este documento, debiendo suspenderse todo desarrollo hasta que la renovación sea aprobada.

Villa El Salvador, 21 de julio de 2020

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR - UCSUR - Comité Institucional de Ética en Investigación con Animales y Biodiversidad

Méd. Vet. Gianmarco Paolo Rojas Moreno
Presidente
Comité Institucional de Ética en Investigación
con Animales y Biodiversidad

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

COPIA DE RESOLUCIÓN DIRECTORAL DE APROBACIÓN DEL PROYECTO DE TESIS

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N° 046-DACBM-DAFCVB-U. CIENTÍFICA-2020

Lima, 01 de setiembre de 2020

Visto el proyecto de tesis presentado por el Sr. **CUSTODIO URIBE ADRAIN EDUARDO**, alumno de la Carrera de Biología Marina, se expide la presente Resolución:

CONSIDERANDO:

- Que, para optar el título profesional en Biología Marina, de la Carrera de Biología Marina de la Facultad de Ciencias Veterinarias y Biológicas de la Universidad Científica del Sur, es necesario la realización y sustentación de una tesis.
- Que, el Reglamento de Tesis pertinente, dispone que el Proyecto de Tesis debe ser presentado a la Carrera de acuerdo al perfil aprobado, el cual debe ser dictaminado por el Comité de Investigación.
- Que, el alumno **CUSTODIO URIBE ADRAIN EDUARDO** ha cumplido con presentar su proyecto de tesis titulado "**DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN EL TEJIDO MUSCULAR DEL TIBURÓN AZUL, *Prionace glauca* (LINNAEUS, 1758), DESEMBARCADO EN ILO, MOQUEGUA-PERÚ**" bajo la asesoría del Mg. Pepe Antonio Espinoza Silvera y la revisión de la Blga. Keny Kanagusuku Gondo y el Dr. Jose Alberto Iannacone Oliver.
- Que la Comisión de Grados y Títulos de la Dirección ha emitido una evaluación favorable y recomienda la inscripción del proyecto citado.

Estando a lo dispuesto por el Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Científica del Sur, el Reglamento de Tesis de la Carrera y a las normas vigentes, en uso de las atribuciones conferidas a la Carrera,

SE RESUELVE:

1° **APROBAR** el Proyecto de Tesis para optar el título profesional en Biología Marina titulado "**DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN EL TEJIDO MUSCULAR DEL TIBURÓN AZUL, Prionace glauca (LINNAEUS, 1758), DESEMBARCADO EN ILO, MOQUEGUA-PERÚ**"

2° Declarar a el Sr. **CUSTODIO URIBE ADRAIN EDUARDO**, expedito para la realización del Proyecto de Tesis aprobado.

3° Nombrar al Mg. Pepe Antonio Espinoza Silvera como Asesor del Proyecto de Tesis, que realizará el alumno citado.

4° Disponer la inscripción del proyecto de tesis aprobado en el Registro de Tesis para

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Regístrese, comuníquese y archívese.

DIRECTORA ACADÉMICA

DRA. SONIA VALLE RUBIO
DIRECTORA ACADÉMICA
CARRERA BIOLOGÍA MARINA

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y BIOLÓGICAS

CARRERA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA MARINA

"DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN EL TEJIDO MÚSCULAR DEL TIBURÓN AZUL *Prionace glauca* (LINNAEUS, 1758) DESEMBARCADO EN ILO, MOQUEGUA-PERÚ"

Tesis para optar el título profesional de:

BIÓLOGO MARINO

Presentado por:

Adrian Eduardo Custodio Uribe (0000-0002-1031-421X)

Asesor:

Pepe Antonio Espinoza Silvera (0000-0001-5149-8310)

Lima - Perú

2024

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Copia del acta de sustentación

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 02 de setiembre de 2024.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Dr. José Alberto Iannacone Oliver
Integrante: Dr. Miguel Ángel Saldaña Serrano
Integrante: Blga. Keny Kanagusuku Gondo

Se reúnen para evaluar la tesis titulada: DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN EL TEJIDO MÚSCULAR DEL TIBURÓN AZUL *Prionace glauca* (LINNAEUS, 1758) DESEMBARCADO EN ILO, MOQUEGUA-PERÚ

Presentada por el tesista:

- Adrián Eduardo Custodio Uribe

Para optar el Título Profesional de Biólogo Marino

Asesorada por: Dr. Pepe Antonio Espinoza Silvera

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño de los estudiantes en la sustentación, concluyen de manera unánime (x) por mayoría simple ( ) calificar a:

Tesista: Adrián Eduardo Custodio Uribe			Nota (escrito): Dieciocho
Aprobado ( )	Aprobado - Muy buena (x)	Aprobado - Sobresaliente ( )	Desaprobado ( )

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.

Dr. José Alberto Iannacone Oliver
Presidente del jurado

Dr. Miguel Ángel Saldaña Serrano
Miembro del jurado

Blga. Keny Kanagusuku Gondo
Miembro del jurado

Dr. Pepe Antonio Espinoza Silvera
Asesor

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Constancia de originalidad

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR	Gestión de Enseñanza y Aprendizaje	**Código**	GEA-IDI-MAN-01
	Investigación, Desarrollo e Innovación	**Versión**	3.0
	Manual para normas y procedimientos de los trabajos de investigación para la obtención de grados académicos y títulos profesionales	**Fecha**	18/11/2022

ANEXO 21: DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE INFORME FINAL DE TESIS

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR
DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS[13]

Lima, 20 de febrero del 2024

Señor,

_____
Carlos Zavalaga Reyes

Director General de Investigación, Desarrollo e Innovación
Universidad Científica del Sur
Presente. –

De nuestra consideración,

Yo: Adrian Eduardo Custodio Uribe, egresado de la carrera de Biología Marina de la Universidad Científica del Sur,en conjunto con el asesor de tesis Pepe Antonio Espinoza Silvera, declaramos que este informe final de tesis/trabajo de investigación titulado: **Determinación de la concentración de mercurio en el tejido muscular del tiburón azul Prionace glauca (Linnaeus, 1758) desembarcado en Ilo, Moquegua-Perú**, sustentado para obtener el título Biólogo Marino es original.

Es decir, no contiene plagio parcial ni total, cuando se utilizó información de fuentes externas se reconoció la autoría mediante la adecuada citación y los resultados obtenidos son producto entero de nuestra investigación y no han sido falseados ni fabricados. Todo esto en cumplimiento del Código de ética en la investigación, Reglamento del Comité de Integridad Científica,Reglamento de Propiedad Intelectual, Normas y procedimientos de los trabajos de investigación para la obtención de títulos profesionales y grados académicos 14, que afirmamos conocer en sutotalidad.

Por ello, en caso de identificarse alguna situación de plagio, falsificación o fabricación de resultados, nos allanamos al proceso de investigación que establezca la Universidad y las posibles sanciones que pudieran surgir.

Firmamos en conformidad con lo declarado,

Firma tesista	**Firma del asesor de tesis**
DNI: 73185378	**DNI: 07157752**

[13] En conformidad con la Resolución del Consejo Directivo N° 084-2022-SUNEDU/CD
[14] Los documentos están en: https://investigacion.cientifica.edu.pe/reglamentos/

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Resumen

Los estudios sobre concentración de mercurio en tejido muscular de elasmobranquios son escasos en Perú y necesarios para estimar riesgos a la salud pública. La concentración de mercurio en el tejido muscular del tiburón azul (*Prionace glauca*) de 40 ejemplares capturados entre mayo del 2019 hasta febrero del 2020, frente al sur de Perú y norte de Chile, y desembarcado en el puerto de Ilo, ha fluctuado entre 0.037 y 0.289 mg.kg-1 de peso húmedo, estando por debajo de los valores encontrados en otros estudios, así como del máximo permisible (1 mg.kg-1 de peso húmedo). La correlación entre la concentración de mercurio y la longitud total estimada fue débil, mediante análisis de covarianza se detectó efecto significativo de las estaciones, pero no del sexo. Según los valores del coeficiente de riesgo (THQ) y la ingesta semanal máxima (ISM) de filetes de tiburón azul, no representan peligro alguno para la salud pública. Se plantea extender este estudio a otras especies de elasmobranquios y en diferentes zonas de la costa peruana.

Abstract

Studies on mercury concentration in muscle tissue of elasmobranchs are scarce in Peru and necessary to estimate public health risks. The mercury concentration in the muscle tissue of blue shark (Prionace glauca) from 40 specimens caught between May 2019 and February 2020, off southern Peru and northern Chile, and landed at the port of Ilo, has fluctuated between 0.037 and 0.289 $mg.kg^{-1}$ wet weight, being below the values found in other studies, as well as the maximum allowable (1 $mg.kg^{-1}$ wet weight). The correlation between mercury concentration and estimated total length was weak; by analysis of covariance, a significant effect of seasons was detected, but not of sex. According to the THQ values and the maximum weekly intake (MWI) of blue shark fillets, they do not represent any danger to public health. It is recommended that this study be extended to other elasmobranch species and in different areas of the Peruvian coast.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Determination of mercury concentration in the muscle tissue of the blue shark *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758) landed in Ilo, Moquegua-Peru

Adrian Custodio Uribe[a,1*], Pepe Espinoza[a,b,2]

[a] Universidad Científica del Sur, Lima, Perú

[b] Instituto del Mar del Perú, Lima, Perú

* Autor correspondiente: Adrian Custodio Uribe / custodiou.a@hotmail.com

[1] número ORCID: 0000-0002-1031-421X

[2] número ORCID: 0000-0001-5149-8310

Abstract

Studies on mercury concentration in elasmobranch muscle tissue are scarce in Peru and necessary to estimate risks to public health. The concentration of mercury in the muscle tissue of the blue shark (*Prionace glauca*) of 40 specimens captured between May 2019 and February 2020, off southern Peru and northern Chile, and landed in the port of Ilo, has fluctuated between 0.04 and 0.29 mg.kg-1 of wet weight, being below the values found in other studies, as well as the maximum permissible (1 mg.kg of wet weight). The correlation between mercury concentration and estimated total length was weak (p=-0.18), and analysis of covariance detected an apparent significant effect of the seasons (p=0.021), but not of sex (p=0.447). According to the values of the risk coefficient (THQ) and the maximum weekly intake (MWI) of blue shark fillets, they do not represent any danger to public health. However, it is proposed to extend this study to different species of elasmobranchs and areas of the Peruvian coast.

Keywords: bioaccumulation, consumption, mercury, risk, pelagic shark.

1. Introduction

In the Eastern South Pacific, studies on the concentration of metals such as mercury in elasmobranchs are scarce (Tiktak et al., 2020), despite being an area with a great variety of species of rays and sharks (Bezerra et al., 2019; Tiktak et al., 2020). In Peru, studies carried out on elasmobranchs have mostly focused on reproductive, ecological and taxonomic aspects (Coasaca-Céspedes et al., 2018; Córdova-Zavaleta et al., 2018; Landini et al., 2019; Valderrama-Herrera, 2019; Valderrama-Herrera et al., 2022). Recently, studies have been published focusing on the concentration of mercury (Gonzalez-Pestana et al., 2017; Reátegui-Quispe and Pariona-Velarde, 2019) and the risk it may represent for public health (Cordero-Maldonado and Espinoza, 2022).

Mercury has no biological function and can be found naturally in the earth's crust due to rock erosion, volcanic action and natural degassing of the earth's crust (Priyadarshanee et al., 2022). However, much of the mercury in the environment comes from anthropogenic activities such as industry, mining and burning of fossil fuels (Chalkidis et al., 2020). The most toxic chemical form of mercury is monomethyl-Hg (MMHg) whose abbreviated form is methyl-Hg (MeHg) (Abud Zeid et al., 2021). Methylation is caused by anaerobic sulfate-reducing bacteria present in soils and

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

sediments (Chalkidis et al., 2020). This form of mercury is widely bioavailable, with a great capacity to bioaccumulate and biomagnify in the food chain (Priyadarshanee et al., 2022).

Mercury is expected to be present in high concentrations in the tissues of top predators due to their position in the food chain (Pethybridge et al., 2010). One of these predators is the blue shark *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758), which belongs to the Carcharhinidae family and is a pelagic, long-lived species with coastal and oceanic habits (Vandeperre et al., 2014). Being a top predator, it is considered a regulator of population growth of different species in the marine ecosystem (Calle et al., 2016). In Peru, it is considered one of the main species in the shark fishery (Gonzalez-Pestana et al., 2016), particularly in the port of Ilo, intended for direct human consumption (Gonzalez-Pestana et al., 2016), representing a source of population exposure to mercury (González-Estecha et al., 2014). Thus, mercury concentrations in resources intended for direct human consumption, such as shark meat, can vary due to various biological, environmental and anthropogenic factors (Paz et al., 2017; Biton-Porsmoguer et al., 2018).

Although the foundations for the study of metals such as mercury in sharks have already been consolidated, it has been recommended to extend this type of research to different species and trophic levels in different regions of the country (Gonzalez-Pestana et al., 2017). Therefore, the present study aims to quantify the concentration of mercury in the muscle of the blue shark *P. glauca* landed in the port of Ilo-Moquegua in relation to its length, sex and seasonal variation, as well as to evaluate the potential risk to public health.

2. Material and methods

2.1. Period of study

P. glauca specimens were captured off southern Peru and northern Chile between May 2019 and February 2020, in order to cover the four seasons of the year. The sampling months were: May (autumn = O), August (winter = I), December (spring = P) and February (summer = V) (Figure 1).

2.2. Sample and data collection

A cut was made of the muscle in the anterior dorsal part of the animal from the blue sharks that landed from the artisanal longline fishery at the artisanal fishing landing of Ilo - Moquegua (17°38’40” S – 71°20’50” W). It was then stored in an airtight polyethylene bag and then immediately taken to the laboratory of the Peruvian Sea Institute (IMARPE) in Ilo, Peru for further manipulation.

Since the sharks were landed without heads (Supreme Decree No. 010-2017-PRODUCE), eviscerated and without fins, the Romero-Camarena trunk identification manual (2018) was used for their correct identification. The data collected, such as total length (TL), was estimated using the interdorsal length (IDL) and using the equation: TL (total length) = 4.4321 IDL (interdorsal length) + 14.4326 (Maquera, 2016). On the other hand, the sex of each individual from which the samples were obtained was determined by the presence or absence of claspers. Finally, the geographic coordinates of the capture area O (autumn) = 25°30’S-75°10’O, I (winter) = 23°30’S-75°40’O, P (spring) = 17°36’36.4’’S 72°42’02.84’’O and 18°13’35.43’’S-75°52’08.24’’O, V (summer) = 17°30’S 74°00’O (Fig. 1) were recorded by an onboard GPS operated by the skipper of the vessel from which the samples were collected.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

2.3. Cleaning and storage of samples

Sample processing was carried out in the IMARPE laboratory in Ilo, using gloves, hermetic polyethylene bags, scissors, tweezers and dissection scalpels, as well as abundant distilled water.

The methodology proposed by Escobar-Sánchez et al. (2011) and Barrera-García (2013) was adapted and used as a reference. The first step was to wash the collected sample with plenty of distilled water, then with the help of scissors, tweezers and dissection scalpels previously cleaned and washed with distilled water, a piece of muscle of approximately 50 g was separated. The acquired muscle subsample was washed with plenty of distilled water once more and immediately placed in an airtight polyethylene bag with its respective label. Finally, together with the other subsamples, they were stored in a freezer at a temperature of -20 °C until their subsequent analysis in the laboratory.

2.4. Determination of mercury concentration

Preprocessing was carried out using a microwave system for acid digestion with 65% nitric acid (HNO3). The resulting aqueous solution was filtered on 0.45 µm Whatman 541 paper. Finally, the mercury concentration in the subsamples was determined by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry "ICP-MS (EPA METHOD 6020A)", with an LCM (limit of quantification of the method) of 0.01 mg/kg. This process was carried out in the certified laboratory of Certificaciones Perú SA – CERPER.

2.5. Human health risk assessment

The potential risk to human health from consumption of blue shark fillet in the long term was estimated using the risk coefficient (THQ) (Chien et al., 2002):

$$THQ = \frac{EF.ED.FIR.C}{RfD.BW.AT}.10^{-3}$$

Where, EF= 1 time per week "frequency of exposure (days/year)", ED= 70 years "duration of exposure (years)", FIR= 8.2 "feed intake rate (g/day)", C= heavy metal concentration (mg/g, wet weight), RfD= 0.0001 "oral reference dose for heavy metal (mg/kg/day)", BW= 64 "average weight of the consuming population (Kg)" and AT= 3640 "average time of exposure (days/year) *number of years of exposure". If the index results are less than 1, the consumption of this product does not represent a risk to human health in the long term (Chien et al., 2002).

On the other hand, the maximum weekly intake (MWI) of shark meat by the population has been calculated (World Health Organization, 2018).

$$MWI = \frac{PTWI.HBM}{THg}$$

Where: PTWI = Provisional acceptable weekly intake (1.6 µg monomethyl-Hg (MMHg)/kg); HBM = 64 "average body weight of the population (kg)"; THg = total mercury concentration (mg/kg wet weight).

2.6. Statistical analysis of the data

The normal distribution of the mercury concentration data was verified using the Kolmogorov-Smirnov test; homogeneity of variances was performed using the Levene test; the Pearson correlation test was applied between the mercury concentration and the only numerical covariate, which is size; finally, the covariance test between mercury concentrations with sex

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

and seasons of the year was applied (Sokal and Rohlf, 2012). All tests were run at the 0.05 confidence level in the R Studio program (R Core Team, 2021).

3. Results

A total of 40 dorsal muscle samples of *P. glauca* were collected during the four seasons, autumn (n = 13), winter (n = 2), spring (n = 10) and summer (n = 15). A total of 21 samples were collected for females and a total of 19 samples for males. Individuals sampled in autumn and winter were captured in Chilean waters. In spring and summer, they were captured in Peruvian waters (Figure 1). Due to the small sample size, winter samples were removed when performing data analysis.

The overall estimated range of TL for all sampled individuals ranged from 122.6 to 200.6 cm. The estimated TL for females ranged from 122.6 to 200.6 cm, and males ranged from 127 to 185.1 cm (Table 1).

The mercury concentration in dorsal muscle tissue of *P. glauca* generally ranged from 0.04 to 0.29 mg kg-1 w.w (w.w = wet weight) (Table 1).

The Pearson correlation between mercury concentration and the only numerical covariate TL was weak (ρ = -0.18). According to the analysis of covariance, sex would have no effect on mercury concentrations (ANCOVA, F = 0.592, p = 0.447), likewise, it can be verified that the regressions show very low values between mercury concentration and LT: R^2 of females = 0.096 and R^2 of males = 0.001 (Figure 2); in contrast to the seasons of the year, spring being the one with an apparently opposite effect to that of the fall and summer seasons (ANCOVA, F = 4.344, p = 0.021) (Figure 3), however the variability of the data does not allow us to identify a defined pattern of the relationship between mercury concentration and seasonality.

None of the mercury concentrations reported for *P. glauca* exceeded the maximum permissible level of 1.0 mg Hg/kg established by the Safety Manual for Fishery and Aquaculture Products for National and Export Markets (Executive Directorate No. 057-2016-SANIPES).

According to the values obtained for THQ, none were close to 1 (Table 2), therefore, they do not represent a risk for human consumption. Likewise, according to the minimum, maximum and average values of the mercury concentration, the MWI indicates the amount of food consumed by the population that will not be harmful. According to the results, it is clear that there is a direct relationship between the MWI and the consumer's body weight, as well as an inverse relationship between the MWI and the concentration of mercury in the muscle tissue of *P. glauca* (Table 2).

4. Discussion

The weak relationship between mercury concentration in muscle tissue and TL of *P. glauca* in the present study coincides with that reported by Reategui-Quispe and Pariona-Velarde (2019) in southern Peru. However, in other areas of the Pacific, and in other oceans, significant differences and a strong direct relationship between mercury concentration in muscle and TL of *P. glauca* have been reported (Branco et al., 2004; López-Vera and Maz-Courrau, 2006; Branco et al., 2007; Barrera-García et al., 2013; Castro-Rendón et al., 2022, Riesgo et al., 2023). This positive relationship is associated with the decrease in detoxification capacity as they grow, due to their metabolism, slow growth and high longevity, increasing the capacity to accumulate contaminants (Amlund et al., 2007; Dang and Wang, 2012; Li et al., 2020). Likewise, we must also mention that *P. glauca* is considered a top predator (Castro-Rendón et al., 2022). For all

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

these reasons mentioned above, high levels of contaminants such as mercury are expected to be found as they grow (Rand et al., 1995; Castro-Rendón et al., 2022), which may vary due to changes in their habitat, diet and sexual maturity, being coastal when juveniles and oceanic when adults (Vögler et al., 2012; Vandeperre et al., 2014).

The direct relationship between mercury levels and the size of the diamond shark *Isurus oxyrinchus* (Rafinesque, 1810) (Biton-Porsmoguer et al., 2018) has been reported to be due to its high aerobic metabolism (Shadwick and Goldbogen, 2012), being able to maintain the temperature of various parts and organs of its body up to 10 °C above the ambient temperature (Carey, 1982). To do so, it needs to eat larger quantities compared to *P. glauca*, which would indicate a greater possibility of accumulation of contaminants such as mercury. If we add to this that the increase in temperature favors greater methylation of mercury, as has been demonstrated in some coastal areas (Cinnirella et al., 2019; Cossa et al., 2022), it would favor the exposure not only of predators but also of prey.

Diet is the main source of exposure to mercury or other contaminants that elasmobranchs may have (Boening, 2000; De Pinho et al., 2002; Lahaye et al., 2005). In the case of *P. glauca*, ontogenetic changes in diet are associated with variations in mercury levels in juvenile and adult individuals (Álvaro-Berlanga et al., 2021), as well as the amount of food consumed and the concentration of contaminants in prey (Cossa et al., 2012; Li et al., 2020; Castro-Rendón et al., 2022). In the central and south Pacific, cephalopods have been reported to be the main prey of *P. glauca*, from *Argonauta* spp. (Linnaeus, 1758) in juvenile individuals, passing to *Ancistrocheirus lesueurii* (A. d'Orbigny, 1842), *Gonatus* spp. (Gray, 1849) and *Dosidicus gigas* (A. d'Orbigny, 1835) in adults (Markaida and Sosa-Nishizaki, 2010; García-Arévalo and Castro-Rendón, 2014; Córdova-Zavaleta et al., 2018).

Studies on cephalopods such as *A. lesueurii* and *D. gigas* have shown low levels of mercury between 0.007 and 0.11 mg/kg-1 w.w, compared with the highest levels detected in teleost such as *Auxis thazard* (Lacepède, 1800) (0.27±0.22 mg/kg-1 w.w), *Scomber japonicus* (Houttuyn, 1782) (0.570±0.02 mg/kg-1 w.w), *Symbolophorus evermanni* (Gilbert, 1905) (0.34±0.13 mg/kg-1 w.w) as well as in unidentified cetaceans (0.24±0.22 mg/kg-1 w.w) (López-Vera and Maz-Courrau, 2006; Escobar-Sánchez et al., 2011; Barrera-García, 2013; García-Arévalo and Castro-Rendón, 2014). The difference in these mercury levels is explained by the long distance from the coast where these cephalopods can be found and therefore by having less exposure to coastal pollution (De Pinho et al., 2002; López-Vera and Maz-Courrau, 2006; Cherel and Hobson, 2007).

Various authors indicate that the low levels of mercury in cephalopods such as *D. gigas* may be due to the efficient processes of detoxification of contaminants, related to their rapid metabolism, high growth rate and short life span (Ehrhardt et al., 1986; Gilly et al., 2006; Barrera-García, 2013). Therefore, if we consider that their main prey are not exposed to coastal pollution, having more oceanic habits, and that they naturally present an efficient detoxification of pollutants, it is expected that the concentrations of mercury in the muscle of *P. glauca* for the present study would be low. However, it is important to consider that *P. glauca* has a great trophic adaptive capacity (Henderson et al., 2001), so we do not rule out an interaction with other types of prey with higher mercury levels as mentioned above.

Sexual maturity for *P. glauca* is reached at approximately 200 cm total length (Bustamante and Bennett, 2013). However, in the present study, most specimens except one were below this size. These specimens were captured between 50 and 520 nautical miles from the coast. This distance from the coast and therefore exposure to an environment with low levels of mercury (Cherel

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

and Hobson, 2007) could explain the results of the present study. It has been shown that there are no differences in mercury concentration according to sex in the muscle tissue of *P. glauca* (Branco et al., 2004; Branco et al., 2007 Escobar-Sánchez et al., 2011; Biton-Porsmoguer et al., 2018; Castro-Rendón et al., 2022; Riesgo et al., 2023), which has been verified in this study. However, this species exhibits sexual segregation in its distribution area, being able to migrate to different areas and potentially exposing itself to different contaminants (Vandeperre et al., 2014), with diet being the main source of contaminant accumulation (Boening, 2000; De Pinho et al., 2002; Lahaye et al., 2005). In the case of females, when they move towards breeding areas near the coast, where mercury concentrations due to anthropogenic activity are higher compared to the oceanic zone (Cherel and Hobson, 2007), the possibility of incorporating mercury into themselves increases, which can then be transferred to their offspring, representing a detoxification mechanism (Cadena-Cárdenas, 2004; Pethybridge et al., 2010).

In Peru, *P. glauca* is the most important species landed by the artisanal shark fishery (Pérez-Huaripata et al., 2021). It is estimated that in areas such as the northern region of Peru, around 25 kg of meat from this species is consumed per person per year (López de la Lama et al., 2018), and considering that meat consumption is the main source of exposure to contaminants such as mercury in humans (Gonzáles-Estecha et al., 2014), we could be facing a possible accumulation of mercury in the coastal population. For these reasons, it is very important to calculate the risk coefficient (THQ) for consumption of shark fillet, as well as the maximum weekly intake of shark meat by the population (MWI). According to this study, the THQ values were below 1; given the maximum concentration of Hg recorded (0.29 mg/kg of wet weight), the MWI should not exceed 353 g of blue shark fillet. The MWI calculation was also made with the maximum concentration (0.50 mg/kg wet weight) recorded by Reátegui-Quispe and Pariona-Velarde (2019) because the samples were captured in similar areas and landed from the same fishing port as the present study, resulting in an MWI of 205 g. For this reason, although according to the THQ values and the MWI of *P. glauca* fillets they do not represent a danger to public health, we must be cautious because the calculations have been based on a single body weight reference, without taking into account the differences according to the sex and age of an average inhabitant.

5. Conclusions and recommendations

The present study shows that the consumption of blue shark fillets by the population does not represent any risk to public health in the area studied. However, it is suggested to evaluate the effect taking into account the sex and age of the consumers, as well as the origin of the samples. It is also recommended to continue this type of studies in different species of sharks, additionally considering their most important prey and other types of sampled tissue, in this way we will better understand the routes of transfer of contaminants.

6. Declaration of contribution to authorship

Adrian Custodio: Conceptualization, Formal analysis, Investigation, Writing - original draft, Writing - review and editing, Funding acquisition. **Pepe Espinoza:** Conceptualization, Formal analysis, Writing - review and editing, Supervision.

7. Declaration of conflicts of interest

The authors declare that they have no competing financial interests or personal relationships that could influence the work presented in this article.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

8. Acknowledgements

We would like to thank the longline fishermen of the port of Ilo, and the colleagues of the Peruvian Sea Institute (IMARPE) Ilo headquarters, for their support in the field work for the collection and initial processing of the samples.

9. Availability of data

The data will be available upon request.

10. References

Abud Zeid, E. H., Khalifa, B. A., Said, E. N., Arisha A. H., y Reda, R. M. (2021). Neurobehavioral and immune-toxic impairments induced by organic methyl mercury diertary exposure in Nile tilapia Oreochromis niloticus. *Aquatic Toxicology, 230*, 105702. https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2020.105702

Álvaro-Berlanga, S., Calatayud-Pavia, C. E., Cruz-Ramirez, A., Soto- Jimenez, M. F., y Linan-Cabello, M. A. (2021). Trace elements in muscle tissue of three commercial shark species: *Prionace glauca, Carcharhinus falciformis*, and *Alopias pelagicus* off the Manzanillo, Colima coast, Mexico. *Environmental Science and Pollution Research, 28*(18), 22679–22692. https://doi.org/10.1007/s11356-020-12234-5

Amlund, H., Lundebye, A. K., y Berntssen, M. H. G. (2007). Accumulation and elimination of methylmercury in Atlantic cod (*Gadus morhua*) following dietary exposure. *Aquatic Toxicology,83*(4), 323–330. https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2007.05.008

Barrera-García, A. M. (2013). *Elementos traza e indicadores de estrés oxidativo en el tiburón azul (Prionace glauca) de la costa occidental de Baja California Sur, México*. (Tesis doctoral). Centro de Investigaciones Biólogicas del Nor Oeste, S.C., La Paz, Baja California Sur.

Bezerra, M. F., Lacerda, L. D., y Lai, C. T. (2019). Trace metals and persistent organic pollutants contamination in batoids (Chondrichthyes: Batoidea): A systematic review. *Environmental Pollution, 248*, 684-695. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.02.070

Biton-Porsmoguer, S., Bănaru, D., Boudouresque, C. F., Dekeyser, I., Bouchoucha, M., Marco-Miralles, F., Lebreton, B., Guillou, G., y Harmelin-Vivien, M. (2018). Mercury in blue shark (*Prionace glauca*) and shortfin mako (*Isurus oxyrinchus*) from north-eastern Atlantic: Implication for fishery management. *Marine Pollution Bulletin, 127*, 131–138. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.12.006

Boening, D. X. (2000). Ecological effects, transport, and fate of mercury: A general review. *Chemosphere, 40*(12), 1335–1351. https://doi.org/10.1016/S0045-6535(99)00283-0

Branco, V., Carário, J., Vale, C., Raimundo, J., y Reis, C. (2004). Total and organic mercury concentrations in muscle tissue of the blue shark (*Prionace glauca* L. 1758) from de Northeast Atlantic. *Marine Pollution Bulletin,49* (9-10), 871-874. 10.1016/j.marpolbul.2004.09.002

Branco, V., Vale, C., Canário, J., y dos Santos, M. N. (2007). Mercury and selenium in blue shark (*Prionace glauca*, L. 1758) and swordfish (*Xiphias gladius*, L. 1758) from two areas of the Atlantic Ocean. *Environmental Pollution, 150*(3), 373–380. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.01.040

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Bustamante, C., y Bennett, M. B. (2013). Insights into the reproductive biology and fisheries of two commercially exploited species, shortfin mako (*Isurus oxyrinchus*) and blue shark (*Prionace glauca*), in the south-east Pacific Ocean. *Fisheries Research, 143*, 174–183. https://doi.org/10.1016/j.fishres.2013.02.007

Cadena-Cárdenas, L. (2004). *Mercurio total en peces elasmobranquios y teleósteos del Golfo de California* (Tesis de maestría). Instituto Tecnológico del Mar, Guaymas, Sonora.

Calle, M. M., Castro, R. R., García, A. I., y Cucalón, H. A. (2016). Revisión histórica de los estudios sobre la biología, ecología del tiburón azul *Prionace glauca* en aguas del Pacífico ecuatoriano. *Revista Ciencia UNEMI, 9* (19): 106-109. https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol9iss19.2016pp106-109p

Carey, F. G. (1982). Warm fish. En: C. R. Taylor., K. Johansen., L. Bolis. (Ed), *A Companion to Animal Physiology* (pp. 216-233). United Kingdom, Cambridge University Press.

Castro-Rendón, R. D., Calle-Morán, M. D., García-Arévalo, I., Ordiano-Flores, A., y Galván-Magaña, F. (2022). Mercury and cadmium concentrations in muscle tissue of the blue shark (*Prionace glauca*) in the central eastern Pacific Ocean. *Biological Trace Element Research, 200*(7), 3400-3411. https://doi.org/10.1007/s12011-021-02932-7

Chalkidis, A., Jampaiah, D., Aryana, A., Wood, D. C., Hartley, P. G., Sabri, Y. M., y Bhargava, S. K. (2020). Mercury-bearing wastes: Sources, policies and treatment technologies for mercury recovery and safe disposal. *Journal of Environmental Management, 270*(15), 110945. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110945

Cherel, Y., y Hobson, K. A. (2007). Geographical variation in carbon stable isotope signatures of marine predators: a tool to investigate their foraging areas in the Southern Ocean. *Marine Ecology Progress. Series, 329*, 281–287. https://doi.org/10.3354/meps329281

Chien, L.-C., Hung, T.-C., Choang, K.-Y., Yeh, C.-Y., Meng, P.-J., Shieh, M.-J., y Han, B.-C. (2002). Daily intake of TBT, Cu, Zn, Cd and As for fishermen in Taiwan. *Science of the Total Environment, 285* (1), 177–185. https://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)00916-0

Cinnirella, S., Bruno, D. E., Pirrone, N., Horvat, M., Živkovićc, I., Evers, D. C., Johnson, S., y Sunderland, E. M. (2019). Mercury concentrations in biota in the Mediterranean Sea, a compilation of 40 years of surveys. *Scientific Data, 6* (205). https://doi.org/10.1038/s41597-019-0219-y

Coasaca-Céspedes, J. J., Segura-Cobeña, E., Montero-Taboada, R., Gonzales-Pestana, A., Alfaro-Córdova, E., Alfaro-Shigueto, J., y Mangel, J. C. (2018). Preliminary analysis of the feeding habits of batoids from the genera *Mobula* and *Myliobatis* in Northern Peru. *Revista de Biología Marina y Oceanografía,53*(3), 367-374. https://doi.org/10.22370/rbmo.2018.53.3.1368

Cordero-Maldonado, C., y Espinoza, P. (2022). Cadmium and lead levels in muscle tissue of blue shark (*Prionace glauca*) in the Southeastern Pacific Waters. *Marine Pollution Bulletin, 177*, 113523. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113523

Córdova-Zavaleta, F., Mendo, J., Briones-Hernández, S. A., Acuña-Perales, N., Gonzalez-Pestana, A., Alfaro-Shigueto, J., y Mangel, J. C. (2018). Food habits of the blue shark, *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758), in waters off northern Peru. *Fishery Bulletin, 116*(3-4), 310-322. https://doi.org/10.7755/FB.116.3-4.9

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Cossa, D., Harmelin-Vivien, M., Mellon-Duval, C., Loizeau, V., Averty, B., Crochet, S., Chou, L., y Cadiou, J. F. (2012). Influence of bioavaibility, trophic position and growth on methylmercury in hakes (*Merluccius merluccius*) from northwestern Mediterranean and northeast Atlantic. *Environmental Science & Technology, 46*(9), 4885–4893. https://doi.org/10.1021/es204269w

Cossa, D., Knoery, J., Bănaru, D., Harmelin-Vivien, M., Sonke, J. E., Hedgecock, I. M., Bravo, A. G., Rosati, G., Canu, D., Horvat, M., Sprovieri, F., Pirrone, N., y Heimbürger-Boavida, L. E. (2022). Mediterranean mercury assessment 2022: an updated budget, health consequences, and research perspectives. *Environmental Science & Technology, 56*(7), 3840–3862. https://doi.org/10.1021/acs.est.1c03044

Dang, F., y Wang, W. X. (2012). Why mercury concentration increases with fish size? Biokinetic explanation. *Environmental Pollution, 163*, 192–198. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.12.026

De Pinho, A. P., Guimarães, J. R. D., 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 of feeding habit, sex, and length. *Environmental Research, 89*(3), 250–258. https://doi.org/10.1006/enrs.2002.4365

Dirección Ejecutiva N° 057-2016-SANIPES-DE. Manual "Indicadores Sanitarios y de Inocuidad para los Productos Pesqueros y Acuícolas para Mercado Nacional y de Exportación" (23 de junio del 2016). https://www.gob.pe/institucion/sanipes/normas-legales/364044-057-2016-sanipes-de

Decreto Supremo N° 010-2017-PRODUCE. Decreto Supremo que modifica el Decreto Supremo N° 021-2016-PRODUCE, que establece medidas de ordenamiento para la pesquería del recurso tiburón (16 de agosto del 2017). https://faolex.fao.org/docs/pdf/per171700.pdf

Ehrhardt, N., Jacquemin, J., Ulloa, P., Gonzales, G., y Garcia, F. (1986). Análisis de la biología y condiciones del stock del calamar gigante *Dosidicus gigas* en el Golfo de California, México, durante 1980. *Ciencia Pesquera. Inst. Nac. Pesca. Sria. Pesca. México, 65(*5), 63-76. Recuperado de: https://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/cienciapesquera/CP05/CP05-05.pdf

Escobar-Sánchez, O., Galván-Magaña, F., y Rosíles-Martínez, R. (2011). Biomagnification of mercury and selenium in blue shark *Prionace glauca* from the Pacific Ocean off Mexico. *Biological Trace Element Research, 144*, 550-559. Doi: https://doi.org/10.1007/s12011-011-9040-y

García-Arévalo, I., y Castro-Rendón, R. D. (2014). *Bioacumulación y biomagnificación de mercurio en tiburón azul Prionace glauca (Linnaeus, 1758) de las costas adyacentes al puerto de Santa Rosa de Salinas-Ecuador* (Tesis de pregrado). Universidad de Especialidades Espíritu Santo, Samborondón.

Gilly, W. F., Markaida, U., Baxter, C. H., Block, B. A., Boustany, A., Zeidberg, L., Reisenbichler, K., Robison, B., Bazzino, G., y Salinas, C. (2006). Vertical and horizontal migrations by the jumbo squid *Dosidicus gigas* revealed by electronic tagging. *Marine Ecology Progress Series, 324*, 1–17. https://doi.org/10.3354/meps324001

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

González-Estecha, M., Bodas-Pinedo, A., Guillén-Pérez, J. L., Rubio-Herrera, M. A., Ordóñez-Iriarte, J. M., Trasobares-Iglesias, E. M., ...Calle-Pascual, A. (2014). Exposición al metilmercurio en la población general; toxicocinética; diferencias según el sexo, factores nutricionales y genéticos. *Nutrición Hospitalaria, 30* (5), 968-988. https://dx.doi.org/10.3305/nh.2014.30.5.7727

Gonzalez-Pestana, A., Alfaro-Shigueto, J., Mangel, J. C., y Espinoza, P. (2017). Mercury levels in the smooth hammerhead Shark *Sphyrna zygaena* (Carcharhiniformes: Sphyrnidae) from Northern Perú. *Revista Peruana de Biología, 24*(4), 407–411. https://doi.org/10.15381/rpb.v24i4.14066

Gonzalez-Pestana, A., Kouri J, C., y Velez-Zuazo, X. (2016). Shark fisheries in the Southeast Pacific: A 61-year analysis from Peru. *F1000 Research, 3*, 164. https://doi.org/10.12688/f1000research.4412.2

Henderson, A. C., Flannery, K., y Dunne, J. (2001). Observations on the biology and ecology of the blue shark in the North-east Atlantic. J. *Fish Biology, 58*(5), 1347-1358. https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2001.tb02291.x

Lahaye, V., Bustamente, P., Spitz, J., Dabin, W., Das, K., Pierce, G. J., y Caurante, F. (2005). Long-term dietary segregation of common dolphins *Delphinus delphis* in the Bay of Biscay, determined using cadmium as an ecological tracer. *Marine Ecology Progress Series, 305*, 275-285. doi:10.3354/meps305275

Landini, W., Collareta, A., Di Celma, C., Malinverno, E., Urbina, M., y Bianucci, G. (2019). The early Miocene elasmobranch assemblage from Zamaca (Chilcatay Formation, Peru). *Journal of South American Earth Sciences, 91*, 352-371. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2018.08.004

Li, M., Juang, C. A., Ewald, J. D., Yin, R., Mikkelsen, B., Krabbenhoft, D. P., Balcom, P. H., Dassuncao, C., y Sunderland, E. M. (2020). Selenium and stable mercury isotopes provide new insights into mercury toxicokinetics in pilot whales. *Science of the Total Environment, 710*, 136325. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136325

López de la Lama, R., De la Puente, S., y Riveros, J. C. (2018). Attitudes and misconceptions towards sharks and shark meat consumption along the Peruvian coast. *PLOS ONE, 13*(8), e0202971. . https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202971

Lopez, S. A., Abarca, N. L. y Meléndez, R. C. (2013). Heavy metal concentrations of two highly migratory sharks (Prionace glauca and Isurus oxyrinchus) in the Southeastern 23 Pacific waters: Comments on public health and conservation. Trop. Conserv. Sci. 6(1), 126-137. https://doi.org/10.1177/194008291300600103

López-Vera, C., y Maz-Courrau, A. (2006). *Biomagnifcación y Biomaculuación de Mercurio en Cuatro Especies de Tiburón de la Península de Baja California Sur, México* (Tesis de pregrado). Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá D.C.

Maquera, A. (2016). Estimación de las longitudes total y horquilla de *Prionace Glauca* tiburón azul a partir de longitudes alternativas (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Moquegua, Moquegua, Perú. Recuperado de https://repositorio.unam.edu.pe/server/api/core/bitstreams/b748e09e-82ee-47d9-9466-c934790a2936/content

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Markaida, U., y Sosa-Nishizaki, O. (2010). Food and feeding habits of the blue shark *Prionace glauca* caught off Ensenada, Baja California, Mexico, with a review on its feeding. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 90*(5), 977–994. https://doi.org/10.1017/S0025315409991597

Paz, S., Burgos, A., Gutiérrez, A., Hernández, C., Lozano, G., Rubio, C., y Hardisson, A. (2017). El mercurio contaminante marino y alimentario. *Ars Clinica Academica, 3*(3), 5-11. Recuperado de https://www.ramedtfe.es/docs/ArsClinicaAcademicaVol3Num3.pdf

Pérez-Huaripata, M., Argumedo, E., Tacuri, P., Lau, W., Castillo, G., Saldarriaga, M., Palacios, J., y Guevara-Carrasco, R. (2021). Indicadores poblacionales del tiburón diamante *Isurus oxyrinchus* y tiburón azul *Prionace glauca* en el litoral peruano. *Informe IMARPE, 48*(4), 578-593. Recuperado de https://repositorio.imarpe.gob.pe/handle/20.500.12958/3649

Pethybridge, H., Cossa, D., y Butler, E. C. V. (2010). Mercury in 16 demersal sharks from southeast Australia: Biotic and abiotic sources of variation and consumer health implications. *Marine Environmental Research, 69*(1), 18–26. https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2009.07.006

Priyadarshanee, M., Chatterjee, S., Rath, S., Dash, H. R., y Das, S. (2022). Cellular and genetic mechanism of bacterial mercury resistance and their role in biogeochemistry and bioremediation. *Journal of Hazardous Materials, 423*(A), 126985. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126985

Rand, G.M., Wella, P. G., y McCarthy, L. S. (1995). Introduction to aquatic ecology. In: G. M. Rand. (Ed). *Fundamentals of aquatic toxicology* (pp. 3-53). London: Taylor & Francis.

Reátegui-Quispe, A., y Pariona-Velarde, D. (2019). Determinación de plomo, cadmio, mercurio y bases volátiles nitrogenadas totales (NBVT) en el músculo de tiburón azul *Prionace glauca* procedente de la zona sur del Perú. *Revista de Biología Marina y Oceanografía, 54*(3), 336-342. https://doi.org/10.22370/rbmo.2019.54.3.2029

Riesgo, L., Sanpera, C., García-Barcelona, S., Sánchez-Fortún, M., Coll, M., y Navarro, J. (2023). Understanding the role of ecological factores affecting mercury concetrations in the blue shark (*Prionace glauca*). *Chemosphere, 313*, 137642. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137642

Romero-Camarena, M. (2018). Manual para de identificación de troncos de tiburones de importancia comercial en el Perú. Lima, Instituto del Mar del Perú (IMARPE). 16 pp. Recuperado de https://repositorio.imarpe.gob.pe/handle/20 500.12958/3305

R Core Team. (2021). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.

Shadwick, R. E., y Goldbogen, J. A. (2012). Muscle function and swimming in sharks. *Journal of Fish Biology, 80*(5), 1904–1939. https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2012.03266.x

Sokal, R. R., y Rohlf, F. J. (2012). Biometry. 4th edition, Freeman, New York.

Tiktak, G. P., Butcher, D., Lawrence, P. J., Norrey, J., Bradley, L., Shaw, K., Preziosi, R., y Megson, D. (2020). Are concentrations of pollutants in sharks, rays and skates (Elasmobranchii) a cause for concern? A systematic review. *Marine Pollution Bulletin, 160*, 111701. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111701

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Valderrama-Herrera, M. A. (2019). *Biología Reproductiva de Myliobatis peruvianus "Raya Águila" (Garman, 1913) Proveniente del Puerto Salavaerry, La Libertad, Perú* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo.

Valderrama-Herrera, M., Kanagusuku, K., y Ramírez-Amaro, S. (2022). Morphological abnormalities in the Chilean eagle ray *Myliobatis chilensis* (Myliobatiformes: Myliobatidae) off the Peruvian coast, Southeast Pacific. *Universitas Scientiarum, 27*(3), 292-312. https://doi.org/10.11144/Javeriana.SC273.mait

Vandeperre, F., Aires-da-Silva, A., Fontes, J., Santos, M., Serrão-Santos, R., y Alfonso, P. (2014). Movements of blue sharks (*Prionace glauca*) across their life history. *PLOS ONE, 9*(8), e103538. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103538

Vögler, R., Beier, E., Ortega-García, S., Santana-Hernández, H., y Valdez-Flores, J. J. (2012). Ecological patterns, distribution and population structure of *Prionace glauca* (Chondrichthyes: Carcharhinidae) in the tropical-subtropical transition zone of the north-eastern Pacific. Marine *Environmental Research, 73*, 37–52. https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2011.10.009

World Health Organization (2018). (http://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/chemical.aspx?chemID=1806)

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

11. Figures and tables

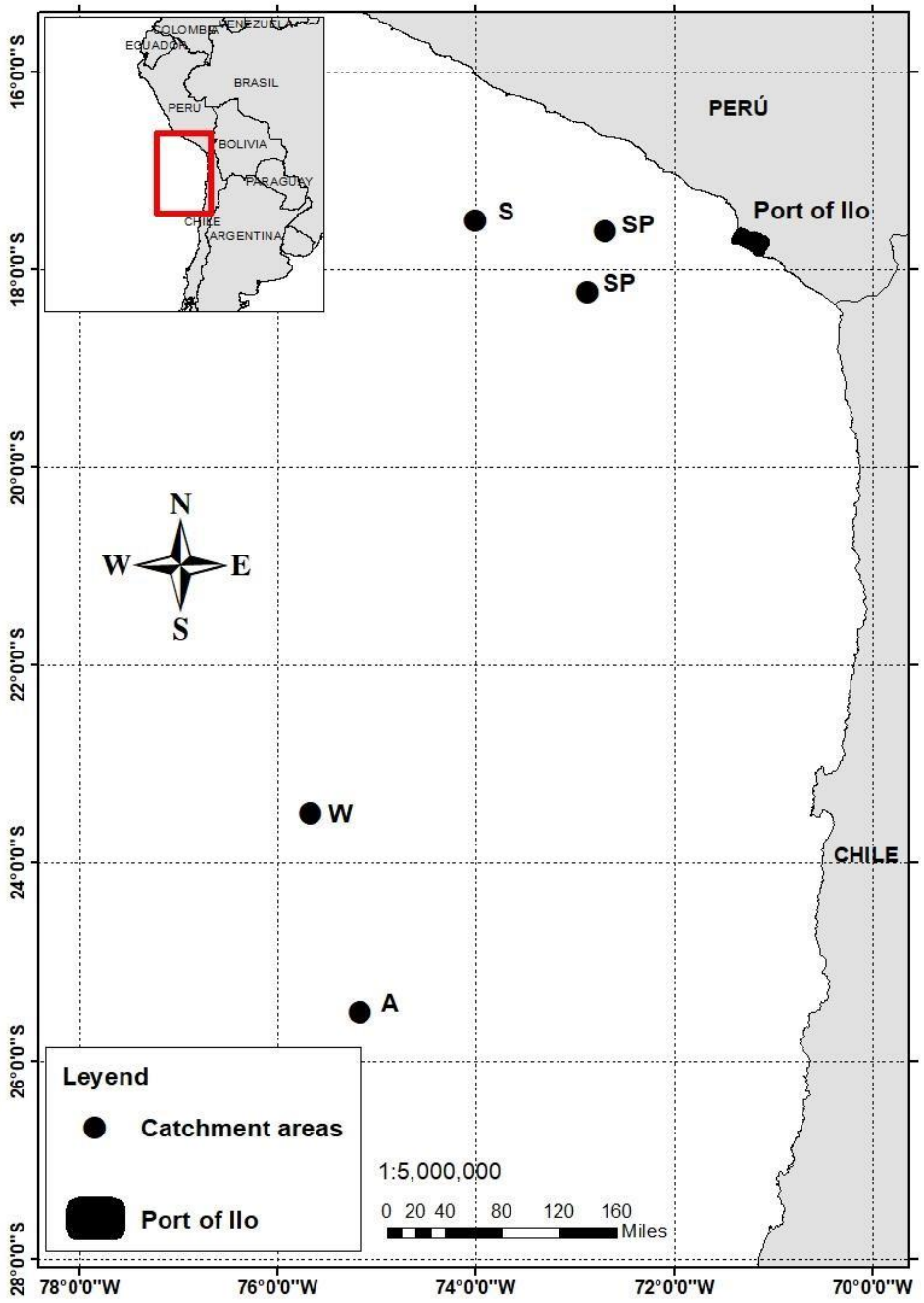


Figure 1. Approximate capture areas of *Prionace glauca* for each season of the year. S = Summer, A = Autumn, W = Winter, SP = Spring.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

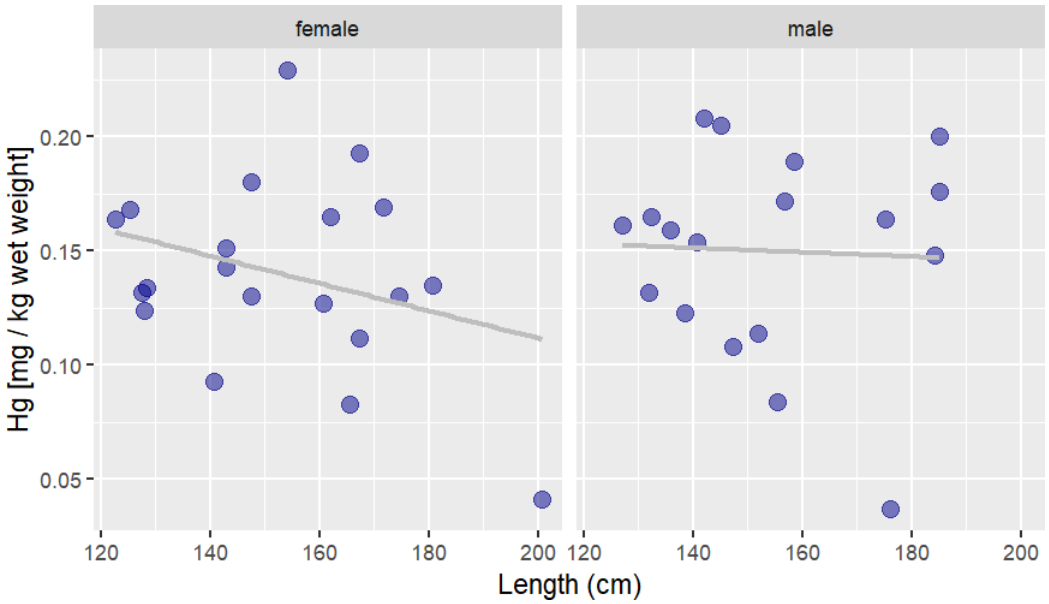


Figure 2. Relationship between body size and mercury concentrations according to sex of *Prionace glauca*. (Females: Y = 0.23 – 0.00006X, R^2 = 0.096; males: Y = 0.16 – 0.000094X, R^2 = 0.001)

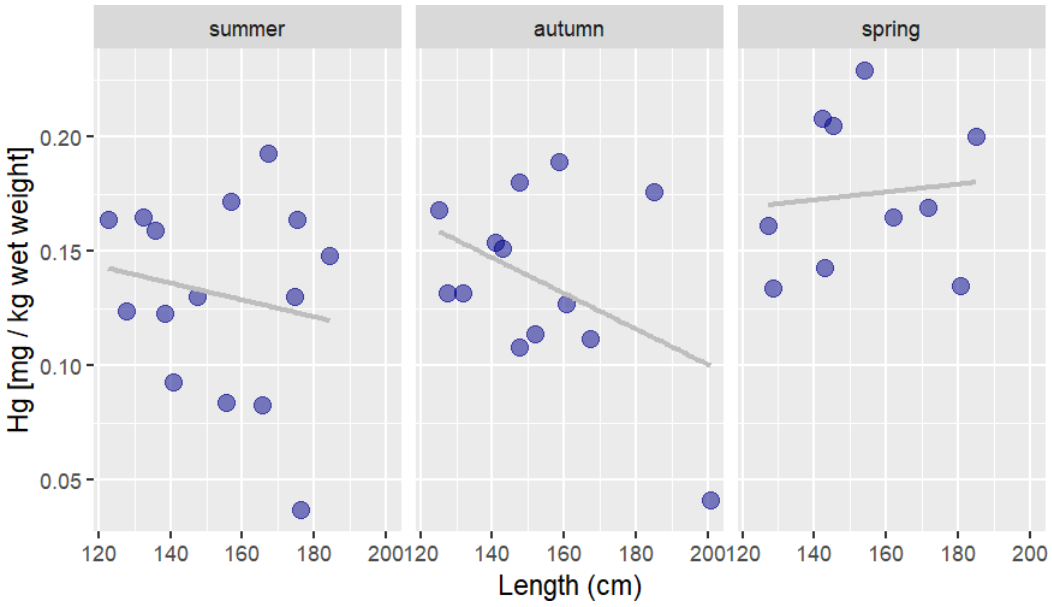


Figure 3. Relationship between body size and mercury concentrations of *Prionace glauca* according to seasons of the year. (Summer: Y = 0.10 – 0.00037X, R^2 = 0.03; autumn: Y= 0.26 – 0.00078X, R^2 = 0.19; spring: Y = 0.15 + 0.00017, R^2 = 0.01)

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Table 1. Comparison of mercury (Hg) values in the muscle of the blue shark *Prionace glauca* from different parts of the world with the present study.

Total lenght (cm)	Location	Tissue	Mean concentration of Hg (mg/kg^{-1}) w.w	Concentration of Hg (mg/kg^{-1}) w.w	Reference
97 - 258	Islas Azores e Islas Canarias, Noreste del Océano Atlántico	Muscle	-	Min: 0.00016; Max: 0.00184	Branco et al., 2004
130 - 310	Baja California Sur, México	Muscle	0.82±034	Min: 0.75; Max: 3.43	López-Vera y Maz-Courrau (2006)
84 - 265	Oceano Atlántico	Muscle	-	Min: 0.0002; Max: 0.0025	Branco et al., 2007
113 - 287	Baja California Sur, México	Muscle	0.0013±0.0015	Min: 0.0002; Max: 0.0076	Escobar-Sánchez et al., 2011
117 - 269	Baja California Sur, México	Muscle	1.03 ± 0.08	Means: Min: 0.58 ± 0.05; Max: 1.69 ± 0.18	Barrera-García (2013)
		Hepatic	0.22 ± 0.06	Min: 0.12 ± 0.03; Max: 0.65 ± 0.38	
		Renal	0.38 ± 0.06	Min: 0.4 ± 0.08; Max: 0.31 ± 0.04	
97 - 290	Santa Rosa, Ecuador	Muscle	-	Min: 0.02; Max: 0.29	García-Arevalo y Castro-Rendón (2014)
74 - 284	Península Ibérica y Archipiélago de Azores, Océano Atlántico	Muscle	0.52±0.35	Min: 0.14; Max: 1.71	Biton-Porsmoguer et al., 2018
146.3 - 234.2	Sur del Perú	Muscle	-	Min: 0.09; Max: 0.50	Reátegui-Quispe y Pariona-Velarde (2019)

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

97 - 290	Santa Rosa, Ecuador	Muscle	-	Min: 0.17; Max: 2.94	Castro-Rendón et al., 2021
43 - 231	Oeste del Océano Mediterráneo, Islas Canarias y Sur de Portugal	Muscle	1.58±1.62	Min: 0.12; Max: 9.83	Riesgo et al., 2023
123 - 201	Sur del Perú	Muscle	0.15 ± 0.05	Min: 0.04; Max: 0.29	Present study

Table 2. The risk coefficient and maximum weekly intake (g) of blue shark *Prionace glauca*.

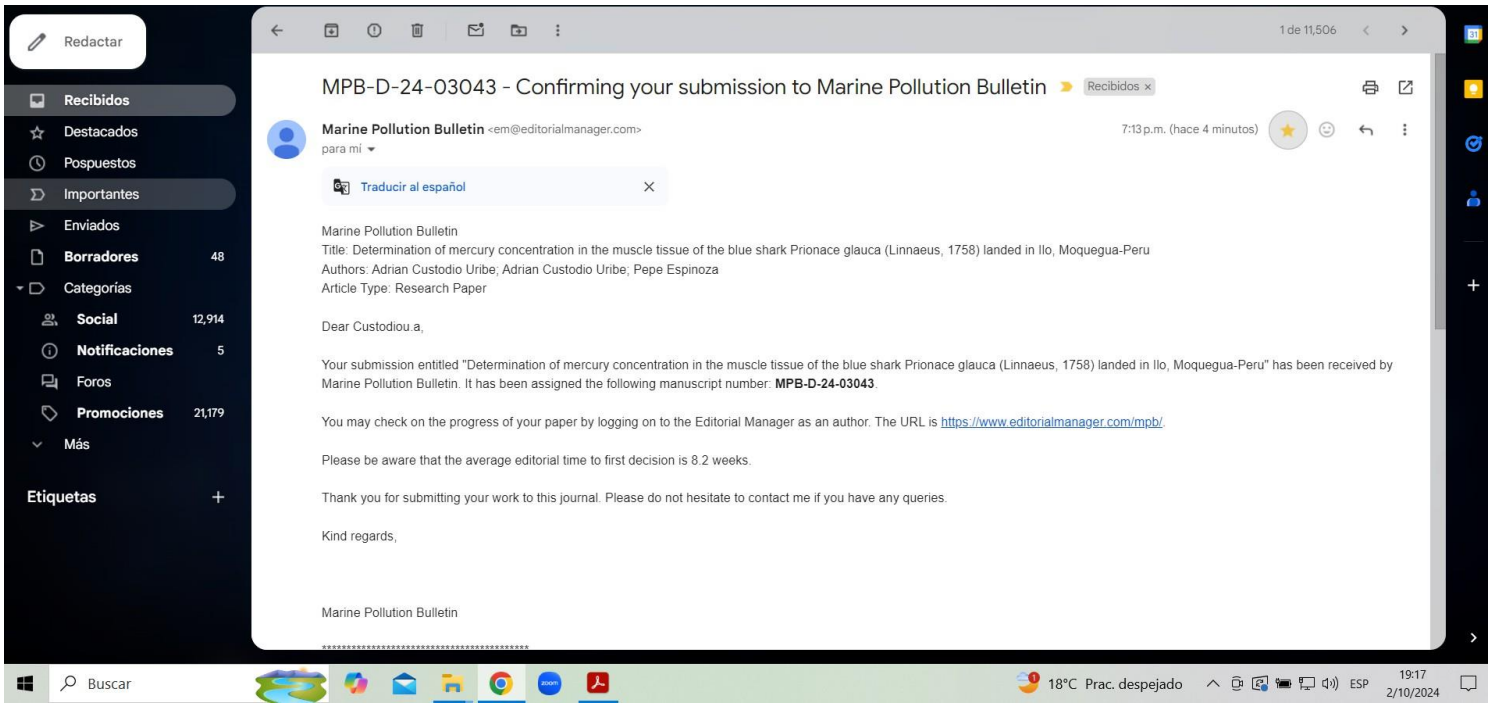
THg ($mg.kg^{-1}$. wet weight)	RfD ($mg.kg^{-1}.day^{-1}$)	THQ	MSI (g)
Min: 0.04	0.0001	0.001	2560
Max: 0.29		0.007	353
Mean: 0.1495		0.003	685

*RfD = Food intake dose (g/day), THQ = Risk coefficient, MSI = Maximum weekly intake.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Anexos

Evidencia de envío a la revista científica



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Copia de documento de aprobación del comité de ética

COMITÉ INSTITUCIONAL DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN CON ANIMALES Y BIODIVERSIDAD

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Constancia N° 114-CIEI-AB-CIENTÍFICA-2020

El presidente del Comité Institucional de Ética en Investigación con Animales y Biodiversidad de la Universidad Científica del Sur (CIEI-AB-CIENTÍFICA) da constancia que el proyecto de investigación, cuyos datos se registran a continuación, ha sido **aprobado**.

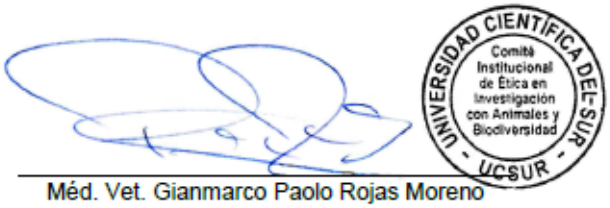
Código de registro:	**702-2019-PRE5**
Título:	**Determinación de la concentración de mercurio en el tejido muscular del tiburón azul, *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758), desembarcado en Ilo, Moquegua-Perú**
Investigador(a):	**Adrián Eduardo Custodio Uribe**

La aprobación del proyecto de investigación implica que el documento presentado a evaluación cumple con los lineamientos de Universidad en materia de investigación y ética, los cuales se sustentan en la normativa internacional vigente. Adicionalmente, en el contexto de la pandemia de enfermedad por COVID-19, le recomendamos cumplir con las normas publicadas por el estado peruano.

En tal sentido, esta aprobación carecerá de valor si es que el proyecto de investigación arriba indicado es modificado de cualquier forma. Toda enmienda, añadido, eliminación o eventualidad (eventos adversos, etc.) posterior a la fecha de aprobación debe ser reportado al CIEI-AB-CIENTÍFICA.

La vigencia de la aprobación de este documento es de dieciocho (18) meses (**hasta el 20 de enero del 2022**), periodo en el que puede desarrollarse el proyecto. Cualquier trámite para su renovación deberá ser enviado antes del término de la vigencia de este documento, debiendo suspenderse todo desarrollo hasta que la renovación sea aprobada.

Villa El Salvador, 21 de julio de 2020



Méd. Vet. Gianmarco Paolo Rojas Moreno
Presidente
Comité Institucional de Ética en Investigación
con Animales y Biodiversidad

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

COPIA DE RESOLUCIÓN DIRECTORAL DE APROBACIÓN DEL PROYECTO DE TESIS

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N° 046-DACBM-DAFCVB-U. CIENTÍFICA-2020

Lima, 01 de setiembre de 2020

Visto el proyecto de tesis presentado por el Sr. **CUSTODIO URIBE ADRAIN EDUARDO**, alumno de la Carrera de Biología Marina, se expide la presente Resolución:

CONSIDERANDO:

- Que, para optar el título profesional en Biología Marina, de la Carrera de Biología Marina de la Facultad de Ciencias Veterinarias y Biológicas de la Universidad Científica del Sur, es necesario la realización y sustentación de una tesis.
- Que, el Reglamento de Tesis pertinente, dispone que el Proyecto de Tesis debe ser presentado a la Carrera de acuerdo al perfil aprobado, el cual debe ser dictaminado por el Comité de Investigación.
- Que, el alumno **CUSTODIO URIBE ADRAIN EDUARDO** ha cumplido con presentar su proyecto de tesis titulado **"DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN EL TEJIDO MUSCULAR DEL TIBURÓN AZUL, *Prionace glauca* (LINNAEUS, 1758), DESEMBARCADO EN ILO, MOQUEGUA-PERÚ"** bajo la asesoría del Mg. Pepe Antonio Espinoza Silvera y la revisión de la Blga. Keny Kanagusuku Gondo y el Dr. Jose Alberto Iannacone Oliver.
- Que la Comisión de Grados y Títulos de la Dirección ha emitido una evaluación favorable y recomienda la inscripción del proyecto citado.

Estando a lo dispuesto por el Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Científica del Sur, el Reglamento de Tesis de la Carrera y a las normas vigentes, en uso de las atribuciones conferidas a la Carrera,

SE RESUELVE:

1° **APROBAR** el Proyecto de Tesis para optar el título profesional en Biología Marina titulado **"DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN EL TEJIDO MUSCULAR DEL TIBURÓN AZUL, Prionace glauca (LINNAEUS, 1758), DESEMBARCADO EN ILO, MOQUEGUA-PERÚ"**

2° Declarar a el Sr. **CUSTODIO URIBE ADRAIN EDUARDO**, expedito para la realización del Proyecto de Tesis aprobado.

3° Nombrar al Mg. Pepe Antonio Espinoza Silvera como Asesor del Proyecto de Tesis, que realizará el alumno citado.

4° Disponer la inscripción del proyecto de tesis aprobado en el Registro de Tesis para

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Regístrese, comuníquese y archívese.

DIRECTORA ACADÉMICA

DRA. SONIA VALLE RUBIO
DIRECTORA ACADÉMICA
CARRERA BIOLOGÍA MARINA

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis