

Bioacumulación de metales tóxicos en aletas de tiburón: Un peligro invisible para los consumidores

Bioaccumulation of toxic metals in shark fins: An invisible danger to consumers

Elmer Horna¹; Jhon Gutierrez¹

¹ Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Trujillo. Ciudad Universitaria, Av. Juan Pablo II S/N, Trujillo. Perú.

* Autor correspondiente: t052400720@unitru.edu.pe (E. Horna).

ORCID de los autores:

E. Horna: <https://orcid.org/0009-0007-7678-9940>

J. Gutierrez: <https://orcid.org/0009-0001-9949-2556>

RESUMEN

Este artículo de revisión aborda la grave problemática de la pesca indiscriminada de tiburones, impulsada por la demanda de aletas en mercados asiáticos, y su consecuente impacto en las poblaciones y los ecosistemas marinos. Se destaca la bioacumulación de metales pesados como mercurio, plomo y cadmio en los tejidos de los tiburones, representando riesgos significativos para la salud humana y la biodiversidad marina. La investigación empleó técnicas avanzadas como la espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente para la detección precisa de estos contaminantes. Aunque se han logrado avances tecnológicos, persisten desafíos en la estandarización de métodos y la obtención de datos consistentes globalmente. Se enfatiza la necesidad urgente de fortalecer las regulaciones internacionales y promover prácticas pesqueras sostenibles para mitigar los impactos ambientales y garantizar la conservación a largo plazo de los tiburones como componentes clave de los ecosistemas marinos globales.

Palabras clave: tiburón; metal; bioacumulación; metales pesados; aleta de tiburón.

ABSTRACT

This review article addresses the serious issue of indiscriminate shark fishing driven by the demand for fins in Asian markets and its consequential impact on shark populations and marine ecosystems. It highlights the bioaccumulation of heavy metals such as mercury, lead, and cadmium in shark tissues, posing significant risks to human health and marine biodiversity. Advanced techniques such as inductively coupled plasma mass spectrometry were employed for precise detection of these contaminants. Despite technological advancements, challenges persist in standardizing methods and obtaining consistent global data. The urgent need to strengthen international regulations and promote sustainable fishing practices is emphasized to mitigate environmental impacts and ensure the long-term conservation of sharks as key components of global marine ecosystems.

Keywords: shark; metal; bioaccumulation; heavy metals; shark fins.

Recibido: 08-06-2024.

Aceptado: 28-08-2024.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

INTRODUCCIÓN

La caza indiscriminada e ilegal de animales marinos, especialmente de tiburones, se ha vuelto alarmantemente común (Lemrabott et al., 2023). De acuerdo a Agyeman et al. (2021), aunque la pesca de estos peces cartilaginosos está prohibida en muchos países, la práctica persiste. Por ejemplo, en Australia, Henderson et al. (2024), señalan que la sobrepesca está poniendo a un tercio de las especies de tiburones y rayas en riesgo de extinción. Además, Fields et al. (2020) afirman que más del 75% de las aletas de tiburón martillo provienen del Océano Pacífico, especialmente del Pacífico Oriental.

Finucci et al. (2024) mencionan que la tercera parte de los tiburones de aguas profundas en peligro están siendo blanco de la pesca. Así mismo Lima et al. (2023) subrayan que la desaparición de estos depredadores de alto nivel de las cadenas alimentarias marinas genera un efecto altamente perjudicial, ya que se pierden las funciones cruciales que estas especies desempeñan en sus ecosistemas. Según Murillo Rengifo et al. (2024), en las últimas dos décadas, las poblaciones de numerosas especies de elasmobranquios (tiburones y rayas) han disminuido significativamente en todo el mundo. Esta disminución se atribuye al rápido aumento de las pesquerías no reguladas y a la captura incidental, como ocurre en Angola (Soares & Jabado, 2024). La pesca indiscriminada de estos grandes peces no solo se realiza por sus propiedades, sino también porque en muchas ciudades asiáticas se consume la sopa de aleta de tiburón, un platillo extremadamente costoso. En relación a esto, Van Houtan et al. (2020) señalan que el comercio de aletas de tiburón está valorado en casi 400 millones de dólares y puede causar la muerte de aproximadamente 100 millones de tiburones al año. De igual manera, Klangnurak et al. (2023), confirman que las aletas de tiburón se encuentran entre los productos pesqueros más valiosos a nivel mundial y que han sido consumidas en grandes cantidades en Asia durante las últimas décadas.

Por otro lado, Lamas & Massa (2024) destacan que el consumo de aletas de tiburón también se justifica por su valor nutricional, ya que son fundamentales para el crecimiento, desarrollo y mantener una buena salud; de igual manera Rechimont et al. (2024), coincide indicando que el objetivo principal de la pesca de tiburones son las aletas. Haque et al. (2023) agregan que la gran demanda de aletas de tiburón es uno de los principales impulsores de la drástica disminución de las poblaciones de elasmobranquios, que son particularmente susceptibles a la sobreexplotación.

García Barcia et al. (2020) señalan que Hong Kong es uno de los mayores importadores y consumidores de aletas de tiburón, recibiendo aletas de diversas especies de elasmobranquios. Por su parte Rodenbiker et al. (2023) afirman que el papel de Hong Kong en el consumo de aletas de tiburón influye en la producción en otros lugares, afectando incluso las políticas ambientales internacionales, como las de Estados Unidos. Sin embargo, Erasmus et al. (2022) advierten que no se toma en cuenta que estos tiburones acumulan y, en algunos casos, biomagnifican metales tóxicos como el arsénico (As) y el mercurio (Hg), lo cual es una preocupación creciente debido al aumento de las emisiones globales y las concentraciones en los océanos. Del mismo modo Boldrocchi et al. (2019) añade que las mayores cargas de estos metales (As, Cd, Cu, Hg) se encuentran en el hígado en comparación con los músculos y las aletas, que presentan concentraciones similares; lo cual también afirma Le Croizier et al. (2023) en su investigación.

Sin embargo, Vélez et al. (2021) alertan sobre los peligros del consumo de aletas de tiburón debido a sus altos niveles de mercurio, que exceden la ingesta semanal provisionalmente tolerable. De manera similar, Chan et al. (2023) encontraron concentraciones de metales tóxicos que exceden los límites seguros para el consumo humano. Es por ello que decimos que esto incrementa el riesgo de efectos tóxicos, especialmente para poblaciones vulnerables como niños y mujeres en edad fértil.



Figura 1. Elasmobranquios con alto contenido de metales pesados en peligro de extinción.

METODOLOGÍA

Criterios para búsqueda de información

Para esta revisión se utilizó la base de datos Scopus, aplicando criterios estrictos de inclusión y exclusión. Se incluyeron estudios como experimentales, estudios de caso y revisiones sistemáticas, mayormente publicados en los últimos 5 años y en inglés. Los artículos revisados se centraron en la determinación de metales pesados en aletas de tiburón mediante análisis instrumental o de trazas de metales pesados. Se excluyeron estudios con diseños pobres o no revisados, publicaciones fuera del rango de fechas especificado (mayor a 5 años) o con información desactualizada, así como estudios en idiomas distintos al inglés y temas que no estuvieran directamente relacionados con el objeto de estudio.

Así mismo se tomó en cuenta las siguientes palabras clave para la búsqueda en Scopus (shark, metal, mercury, bioaccumulation, heavy metal, shark fins,

toxic), mediante el cual se logró obtener 30 referencias bibliográficas.

Tabla 1

Resumen para criterios de búsqueda en Scopus

	Criterios de Inclusión	Criterios de Exclusión
Tipo de estudio	- Experimentales - Revisiones - Art. propios	Estudios pobres o no revisados
Año de Publicación	Últimos 5 años	Mayor a 5 años
Idioma	Inglés	Idioma diferente al inglés
Temática	Metales pesados en aletas de tiburón	Temas no relacionados
Palabras clave	Shark, metal, mercury, toxic, bioaccumulation	Palabras no relacionadas con el tema

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Técnicas para análisis de metales pesados en aletas de tiburón

En el estudio de Leite et al. (2023) se analizó la contaminación por metales y metaloides en el pez guitarra brasileño mediante la descomposición de muestras con ácido nítrico y calentamiento, seguido de dilución con agua Milli-Q. La cuantificación se hizo con un espectrómetro de masas ICP-MS NexIon 300x (Figura 2).

En otro estudio realizado por Alves et al. (2016), se analizaron muestras de hígado y músculo de tintorera (*Prionace glauca*) para detectar trazas y metales pesados. Las muestras se digirieron con HNO_3 en un horno microondas a $175 \pm 5^\circ\text{C}$ durante

10 minutos, seguido de una segunda digestión con H_2O_2 a la misma temperatura durante 5 minutos. La cuantificación de metales se realizó mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS). Este procedimiento es muy similar al que realizó Alves et al. (2023), también con muestras de tintorera (Figura 3).

En la investigación realizada por Martins et al. (2023), se analizaron metales esenciales (Cr, Cu y Fe) y no esenciales (Cd, Hg y Pb) en embriones de elasmobranchios mediante digestión con ácido nítrico, seguida de dilución y cuantificación con espectroscopios: Mercur Duo Plus para Hg y HR-CS GF AAS para los otros elementos (Figura 4).

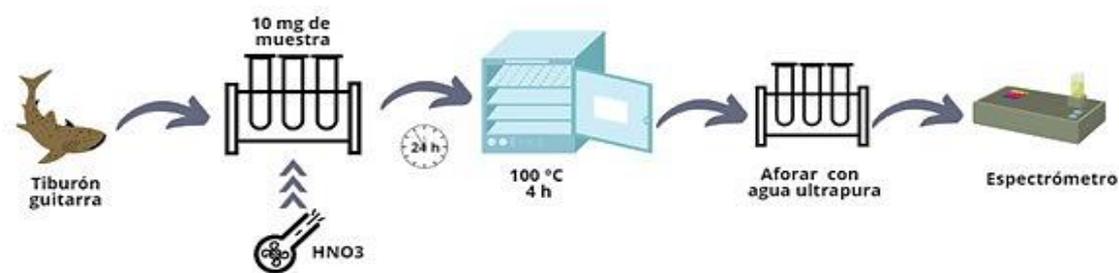


Figura 2. Análisis de metales y metaloides en pez guitarra.



Figura 3. Análisis de metales pesados en músculo e hígado en de *Prionace glauca*.

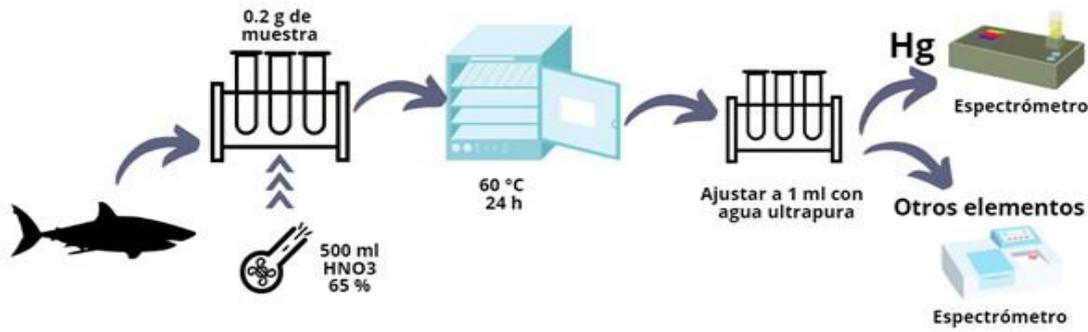


Figura 4. Análisis de metales no esenciales en embriones de elasmobranquios.

Interés científico

Desde 2019 hasta 2022, el número de publicaciones aumentó consistentemente (Figura 5). Esto podría indicar un creciente interés en el tema por parte de la comunidad académica y un aumento de curiosidad también en la investigación por parte de la comunidad científica en el campo de los elasmobranquios.

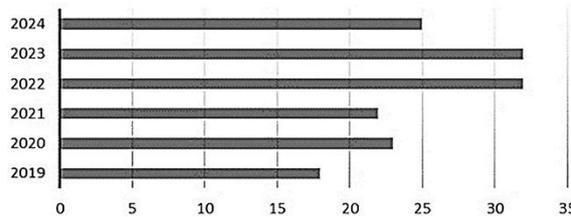


Figura 5. Número de investigaciones desarrolladas durante los últimos 5 años. Adaptada de VOSviewer.

El análisis de artículos científicos revela varios términos clave que destacan las áreas de enfoque en esta investigación (Figura 6 y Tabla 2). Las palabras más prominentes incluyen "sharks," "mercury," "animals," "bioaccumulation," y "heavy metals," lo cual indica que gran parte de los estudios se centran en la presencia de mercurio y otros metales pesados y su bioacumulación. La bioacumulación es un proceso crucial en la cadena alimentaria marina, ya que los tiburones, al estar en la cima de esta cadena, tienden a acumular mayores concentraciones de contaminantes.

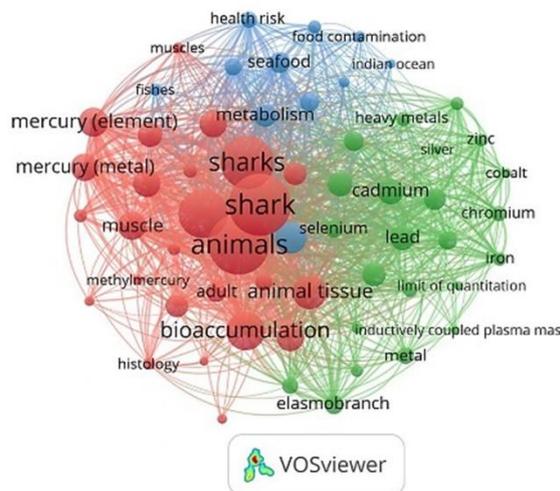


Figura 6. Análisis de Frecuencia: Palabras clave en la investigación de metales pesados en tiburones.

Tabla 2

Tabla Resumen de frecuencia de palabras en investigación de metales pesados en tiburones

Palabras (Resumen)	Repeticiones
tiburón	170
mercurio	162
bioacumulación	102
animal	88
artículo	87
cadmio	73
tiburones	72
músculo	63
selenio	58
digerir	55
masculino	54
humano	53
pez	52
evaluación de riesgos	51
contaminante del agua	48
oligoelemento	46
tejido animal	45
arsénico	42
Metal pesado	42

La Tabla 2 presenta un análisis de frecuencia de palabras extraídas de los resúmenes de artículos científicos relacionados con la investigación de metales pesados en tiburones. La palabra "tiburón" aparece con mayor frecuencia, con 170 repeticiones, lo que indica su centralidad en los estudios. Le siguen "mercurio" con 162 repeticiones, reflejando el interés significativo en este metal pesado específico debido a sus efectos tóxicos y su tendencia a bioacumularse en la cadena alimentaria marina. Otros términos destacados incluyen "bioacumulación" (102 repeticiones), que es clave para entender cómo los contaminantes se concentran en los organismos a través de la cadena trófica.

Además, el estudio de Sarker et al. (2021) encontraron una compensación positiva para el mercurio (Hg) en biopsias de machos de tiburones, con concentraciones de mercurio y selenio (Se) en zooplancton que indican un factor de biomagnificación significativa en los tiburones. Esto subraya la importancia de estos términos en la literatura científica, ya que la bioacumulación de Hg y otros metales pesados en tiburones no solo afecta su salud, sino que también tiene implicaciones significativas para la salud humana debido al consumo de productos del mar contaminados.

La investigación de Alves et al. (2023) complementa estos hallazgos, al identificar la contaminación química como una gran amenaza para los ecosistemas marinos. En su estudio encontraron que más del 75% de los tiburones presentaron concentraciones musculares de al menos un contaminante (arsénico, mercurio o plomo) por encima de los límites legales para el consumo humano. Términos como "inductively coupled plasma mass spectrometry" y "atomic absorption spectrometry" destacan los métodos analíticos más comúnmente empleados para la cuantificación de estos metales. La espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) y la espectrometría de absorción atómica (AAS) son técnicas precisas y sensibles que permiten la detección de trazas de metales pesados en muestras biológicas. Otros elementos como "lead," "cadmium," y "chromium" también aparecen con frecuencia, sugiriendo que estos metales, junto con el mercurio, son los principales contaminantes estudiados. La inclusión de términos como "health risk" y "food contamination" subraya la preocupación por los riesgos para la salud humana asociados con el consumo de productos del mar contaminados. El estudio de Le Bourg et al. (2019) refuerza estos hallazgos al determinar Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Mercurio (Hg) y Plomo (Pb) mediante espectrometría atómica, utilizando muestras previamente digeridas con ácido. Entre los metales no esenciales, el Cd tuvo las concentraciones medias más altas para todas las especies, seguido por el Pb y el Hg, mientras que el Fe tuvo los niveles medios más altos entre los metales esenciales analizados, seguido por el Cu y el Cr. Las muestras de hígado y músculo presentaron diferentes concentraciones, siendo el hígado el que presentó las concentraciones más altas.

Análisis de colaboración

El análisis de los países que más han investigado sobre la cuantificación de metales pesados en aletas de tiburón muestra una fuerte presencia de colaboración y producción científica en esta área (Figura 7). Estados Unidos destaca significativamente como el país con mayor número de publicaciones e interacciones en esta temática, lo cual sugiere un liderazgo en la investigación de metales pesados en tiburones. Este país muestra conexiones sólidas con otros países como México, Francia y Australia, lo que indica colaboraciones internacionales frecuentes y un interés global en la salud de los ecosistemas marinos y los riesgos para la salud humana asociados con la contaminación por metales pesados. México también aparece como un actor importante en esta área de investigación, con vínculos notables con Francia, Portugal y España. Estos lazos sugieren una red de investigación activa en el ámbito hispano y europeo, centrada en la evaluación de la contaminación en regiones con alta biodiversidad marina. Otros países como China, Italia y Brasil, aunque con menor visibilidad que Estados Unidos y México, también contribuyen de manera significativa a la literatura científica, indicando una preocupación extendida por la

contaminación marina y sus efectos en la fauna y la salud pública.

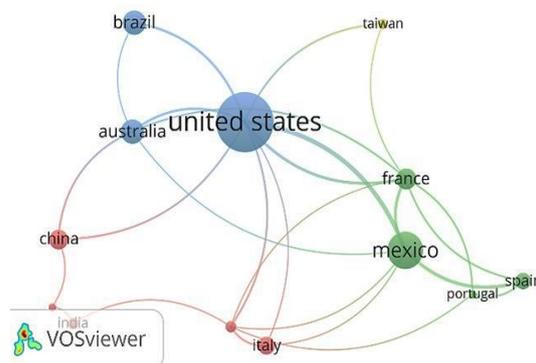


Figura 7. Análisis de coautoría por países.

El estudio de Terrazas-López et al. (2019) ejemplifica esta colaboración internacional y el enfoque en la contaminación marina. En su investigación, se determinaron las concentraciones de mercurio y selenio en los tejidos musculares y hepáticos del tiburón sedoso (*Carcharhinus falciformis*) y el tiburón liso (*Sphyrna zygaena*) capturados en Baja California, México. Las concentraciones promedio de mercurio excedieron el límite permisible de 1,0 mg/kg establecido por el gobierno mexicano, indicando un problema significativo de contaminación. Además, los factores de biomagnificación calculados mostraron que el mercurio se biomagnifica a lo largo de la cadena alimentaria.

Análisis factorial

La Figura 8 muestra un mapa bidimensional donde las categorías como palabras clave se representan median-te puntos. La proximidad de los puntos entre sí indica una alta precisión o asociación. Por ejemplo, si los términos "mercurio" y "bioacumulación" aparecen cercanos en el gráfico, esto sugiere que muchos estudios que mencionan "mercurio" también discuten "bioacumulación". De igual manera, la cercanía de ciertos países con temas específicos puede indicar una concentración de investigación en esas áreas geográficas sobre dichos temas. Este tipo de análisis es útil para descubrir tendencias de investigación.

El análisis de los artículos científicos mediante un mapa temático reveló varias tendencias clave en la investigación sobre metales pesados en aletas de tiburón. En el cuadrante superior derecho, se encuentran los temas motores como "mercurio" y "bioacumulación", que son tanto densos como centrales, indicando que son aspectos fundamentales y bien desarrollados en este campo de estudio. Estos temas son cruciales porque los tiburones, como depredadores tope en la cadena alimentaria marina, tienden a acumular altas concentraciones de contaminantes, lo que tiene implicaciones significativas para la salud ecológica y humana (Le Croizier et al., 2020). En los ecosistemas costeros, los principales depredadores están expuestos a una amplia variedad de fuentes de nutrientes y contaminantes debido a la diversidad de redes tróficas dentro de los hábitats marinos costeros.

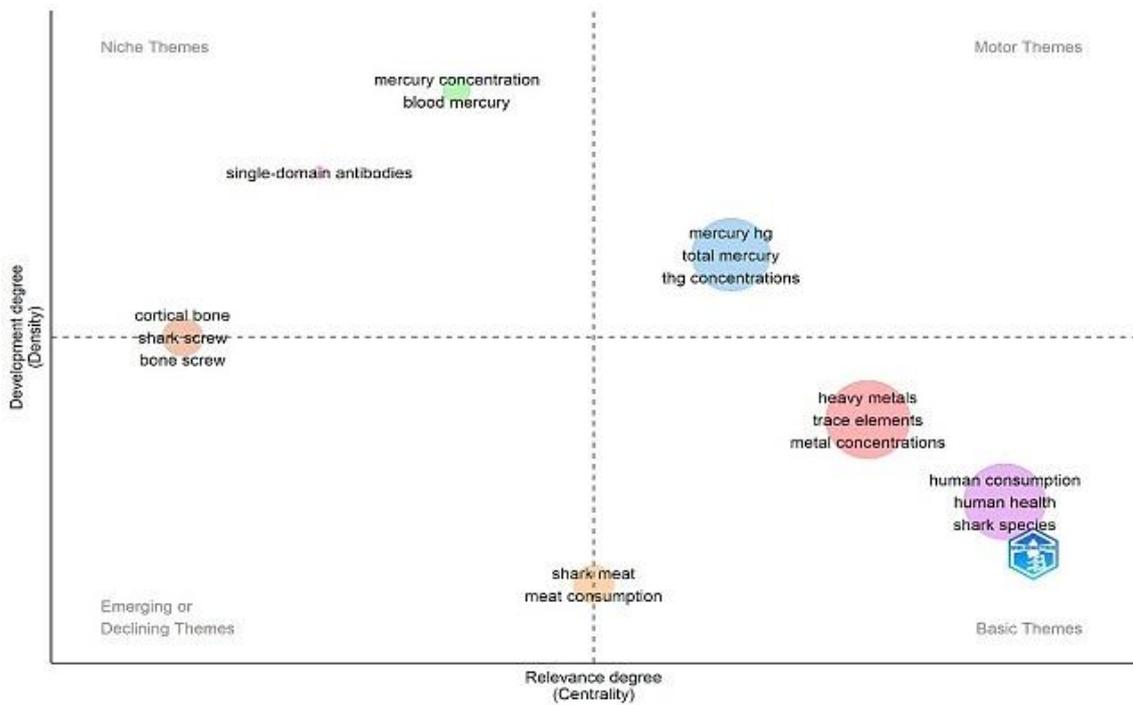


Figura 8. Temático de palabras clave en investigaciones sobre metales pesados en tiburones.

La contaminación por mercurio podría representar una amenaza adicional para las poblaciones de tiburones que están disminuyendo en todo el mundo.

En el cuadrante superior izquierdo, se encuentran temas altamente desarrollados, pero más aislados, como "espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente" y "espectrometría de absorción atómica". Estos términos reflejan los métodos analíticos especializados utilizados en la cuantificación de metales pesados. En el cuadrante inferior derecho, temas básicos y transversales como "metales pesados", "riesgo para la salud" y "contaminación de alimentos" son ampliamente discutidos y sirven como base para la investigación, destacando su relevancia continua. Por último, el cuadrante inferior izquierdo incluye temas emergentes o en declive como "selenio" y "cadmio", señalando áreas de investigación que están ganando atención o perdiendo relevancia, respectivamente. Este panorama temático destaca las diversas facetas

y la colaboración internacional en el estudio de la contaminación marina y sus efectos (Gelsleichter et al., 2020).

Las líneas que conectan los campos muestran cómo los temas de investigación están interrelacionados a nivel global. Por ejemplo, Estados Unidos y México están fuertemente conectados con estudios sobre "mercury" y "bioaccumulation", mientras que otros países como China y Australia también están involucrados en investigaciones similares. Esto sugiere una red internacional de colaboración científica que aborda problemas ambientales y de salud pública globales. En resumen, el gráfico de tres campos de Bibliometrix revela un panorama global y multifacético de la investigación sobre la contaminación por metales pesados en tiburones, destacando las colaboraciones internacionales y los temas clave de interés, como la bioacumulación de mercurio y sus efectos ecotoxicológicos y en la salud pública.

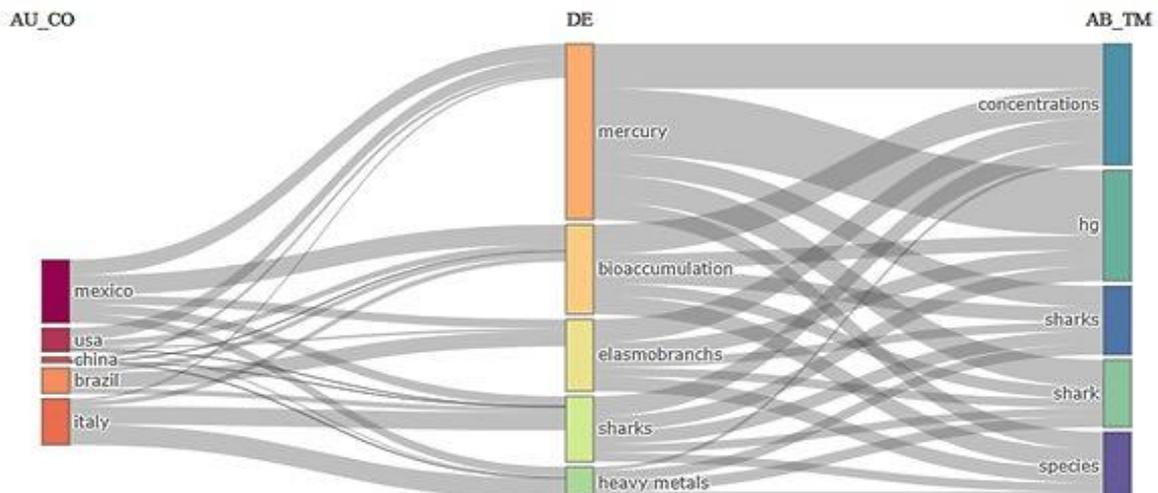


Figura 8. Análisis Three-Field Plot de Investigaciones sobre metales pesados en tiburones: palabras clave, resumen y países.

El estudio de Poong et al. (2020) proporciona un ejemplo de este tipo de investigación colaborativa. Ellos examinaron la presencia y concentración de metales pesados (Cd, Cu, Pb y Zn) en los tiburones bambú (*Chiloscyllium*) en Malasia. Utilizando la espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), encontraron que la concentración de metales pesados en los tejidos musculares estaba en orden decreciente: Zn > Cu > Pb > Cd. Este tipo de estudios es crucial para comprender la bioacumulación de metales pesados y sus efectos ecotoxicológicos y en la salud pública, destacando la importancia de las colaboraciones internacionales en esta área de investigación.

Retos actuales y futuros

La pesca ilegal de tiburones persiste por la alta demanda de aletas y la débil aplicación de leyes, llevando a la sobrepesca y al borde de la extinción de muchas especies. La falta de datos precisos y la bioacumulación de metales pesados, que afecta tanto a tiburones como a humanos, agravan la

situación. La desaparición de tiburones puede tener impactos ecológicos no comprendidos, y las limitaciones en acceso y estandarización de técnicas avanzadas de análisis dificultan la evaluación precisa de la contaminación.

Para enfrentar los desafíos en la conservación de tiburones, es esencial reforzar las políticas de protección a nivel global, especialmente en áreas críticas con poblaciones en riesgo. La colaboración internacional para compartir datos entre científicos y organizaciones es crucial. También es necesario fomentar alternativas sostenibles al consumo de productos de tiburón y concienciar al público sobre los riesgos asociados. Innovaciones en tecnologías de monitoreo son fundamentales para abordar eficazmente la contaminación y la sobrepesca. Además, evaluaciones exhaustivas de riesgo que consideren aspectos ecológicos y de salud pública pueden orientar estrategias más integradoras y efectivas para la gestión sostenible de los recursos marinos y la protección de los tiburones.

CONCLUSIONES

La pesca de tiburones, aunque prohibida en muchos países, sigue siendo una práctica común debido a la alta demanda de aletas de tiburón, especialmente en Asia. Este comercio está detrás de la disminución de las poblaciones de tiburones a nivel global, con una mortalidad estimada de hasta 100 millones de tiburones al año. La desaparición de los tiburones, depredadores de alto nivel, provoca desequilibrios en los ecosistemas marinos, alterando las cadenas tróficas, afectando la biodiversidad y la salud de los océanos.

El tiburón acumula metales tóxicos (mercurio, arsénico, plomo, cadmio y selenio) en sus tejidos, especialmente en el hígado. Estos metales se encuentran en niveles alarmantemente altos, lo que implica un riesgo considerable de toxicidad para quienes consumen tiburón.

Técnicas para la detección de metales pesados, como la espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) y la espectrometría de absorción atómica (AAS), son esenciales para entender la extensión de la contaminación y sus implicaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agyeman, N. A., Blanco-Fernandez, C., Steinhassen, S. L., Garcia-Vazquez, E., & Machado-Schiaffino, G. (2021). Illegal, unreported, and unregulated fisheries threatening shark conservation in african waters revealed from high levels of shark mislabelling in ghana. *Genes*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/genes12071002>
- Alves, L. M. F., Lemos, M. F. L., Moutinho, A. B., Ceia, F. R., Muñoz-Arnanz, J., Jiménez, B., Cabral, H., & Novais, S. C. (2023). Assessment of contaminants in blue sharks from the Northeast Atlantic: Profiles, accumulation dynamics, and risks for human consumers. *Environmental Pollution*, 316, 120467. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120467>
- Alves, L. M. F., Nunes, M., Marchand, P., Le Bizec, B., Mendes, S., Correia, J. P. S., Lemos, M. F. L., & Novais, S. C. (2016). La tintorera (*Prionace glauca*) como bioindicadores de la contaminación y la salud en el Océano Atlántico: Niveles de contaminación y respuestas al estrés bioquímico. *Science of The Total Environment*, 563-564, 282-292. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.085>
- Boldrocchi, G., Monticelli, D., Omar, Y. M., & Bettinetti, R. (2019). Trace elements and POPs in two commercial shark species from Djibouti: Implications for human exposure. *Science of the Total Environment*, 669, 637-648. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.122>
- Erasmus, J. H., Smit, N. J., Gerber, R., Schaeffner, B. C., Nkabi, N., & Wepener, V. (2022). Total mercury concentrations in sharks, skates and rays along the South African coast. *Marine Pollution Bulletin*, 184. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114142>
- Fields, A. T., Fischer, G. A., Shea, S. K. H., Zhang, H., Feldheim, K. A., & Chapman, D. D. (2020). DNA Zip-coding: Identifying the source populations supplying the international trade of a critically endangered coastal shark. *Animal Conservation*, 23(6), 670-678. <https://doi.org/10.1111/acv.12585>
- Finucci, B., Pacoureaux, N., Rigby, C. L., Matsushiba, J. H., Faure-Beaulieu, N., Samantha Sherman, C., VanderWright, W. J., Jadoo, R. W., Charvet, P., Mejía-Falla, P. A., Navia, A. F., Derrick, D. H., Kyne, P. M., Pollom, R. A., Walls, R. H. L., Herman, K. B., Kinattumkara, B., Cotton, C. F., Cuevas, J.-M., ... Dulvy, N. K. (2024). Fishing for oil and meat drives irreversible defaunation of deepwater sharks and rays. *Science*, 383(6687), 1135-1141. <https://doi.org/10.1126/science.ade9121>
- García Barcia, L., Argiro, J., Babcock, E. A., Cai, Y., Shea, S. K. H., & Chapman, D. D. (2020). Mercury and arsenic in processed fins from nine of the most traded shark species in the Hong Kong and China dried seafood markets: The potential health risks of shark fin soup. *Marine Pollution Bulletin*, 157. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.11.1281>
- Haque, A. B., Oyanedel, R., & Cavanagh, R. D. (2023). Mitigating elasmobranch fin trade: A market analysis for made-to-measure interventions. *Science of the Total Environment*, 862. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160716>
- Henderson, C. J., Gilby, B. L., Turschwell, M. P., Goodridge Gaines, L. A., Mosman, J. D., Schlacher, T. A., Borland, H. P., & Olds, A. D. (2024). Long term declines in the functional diversity of sharks in the coastal oceans of eastern Australia. *Communications Biology*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s42003-024-06308-0>
- Klangnarak, W., Arunrugstichai, S., Manopawit, P., & Krajangdar, T. (2023). DNA-based species identification of shark fins traded in thai markets. *Conservation Genetics*, 24(4), 537-546. <https://doi.org/10.1007/s10592-023-01519-0>
- Lamas, D. L., & Massa, A. E. (2024). Narrownose smoothhound (*Mustelus schmitti*) shark liver: From a residue to a high added value biocompounds. *Food Chemistry Advances*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100623>
- Leite, R. D., Wosnick, N., Lopes, A. P., Saint-Pierre, T. D., Vianna, M., & Hauser-Davis, R. A. (2023). Ecotoxicology applied to conservation: Potential negative metal and metalloid

- contamination effects on the homeostatic balance of the critically endangered Brazilian guitarfish, *Pseudobatos horkelii* (Elasmobranchii: Rhinobatidae). *Chemosphere*, 341. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140119>
- Lemrabott, S. Y. C., El-Hacen, E.-H. M., Piersma, T., Sall, A. A., Sidina, E., Mahmoud, L. Y. A., Olf, H., & van Leeuwen, A. (2023). Twenty years of monitoring reveal overfishing of bony fish stocks in the coastal national park Banc d'Arguin, in Mauritania. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 33, 833-844. <https://doi.org/10.1002/aqc.3948>
- Lima, F. D., Parra, H., Alves, R. B., Santos, M. A. R., Bjørndal, K. A., Bolten, A. B., & Vandeperre, F. (2023). Effects of gear modifications in a North Atlantic pelagic longline fishery: A multiyear study. *PLoS ONE*, 18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0292727>
- Martins, M. F., Costa, P. G., Guerreiro, A. D. S., & Bianchini, A. (2023). Consequences of prenatal exposure to contaminants in elasmobranchs: Biochemical outcomes during the embryonic development of *Pseudobatos horkelii*. *Environ Pollut*, 323. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121276>
- Murillo Rengifo, N., Choy, C. P. P., Gowidjaja, J. A. P., Urera, M. Q., Kibat, C., Nott, D. J., & Wainwright, B. J. (2024). Determining the species composition of the shark fin trade in Singapore: A globally significant Southeast Asian market. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. <https://doi.org/10.1007/s11160-024-09861-3>
- Rechimont, M. E., Ruelas-Inzunza, J., Amezcua, F., Paéz-Osuna, F., & Castillo-Géniz, J. L. (2024). Hg and Se in Muscle and Liver of Blue Shark (*Prionace glauca*) from the Entrance of the Gulf of California: An Insight to the Potential Risk to Human Health. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 86, 165-177. <https://doi.org/10.1007/s00244-024-01054-0>
- Rodenbiker, J., Therkildsen, N. O., & Li, C. C. (2023). Global shark fins in local contexts: Multi-scalar dynamics between Hong Kong markets and Mid-Atlantic fisheries. *Ecology and Society*, 28(3). <https://doi.org/10.5751/ES-14229-280305>
- Soares, A. L. F., & Jabado, R. W. (2024). Fisher perceptions of catch and trade of sharks and rays in Angolan small-scale fisheries. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 34(5), e4168. <https://doi.org/10.1002/aqc.4168>
- Van Houtan, K. S., Gagné, T. O., Reygondeau, G., Tanaka, K. R., Palumbi, S. R., & Jorgensen, S. J. (2020). Coastal sharks supply the global shark fin trade: Sourcing shark fins. *Biology Letters*, 16(10). <https://doi.org/10.1098/rsbl.2020.0609>
- Vélez, N., Bessudo, S., Barragán-Barrera, D. C., Ladino, F., Bustamante, P., & Luna-Acosta, A. (2021). Mercury concentrations and trophic relations in sharks of the Pacific Ocean of Colombia. *Marine Pollution Bulletin*, 173. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113109>
- Le Bourg, B., Kiszka, J. J., Bustamante, P., Heithaus, M. R., Jaquemet, S., & Humber, F. (2019). Effect of body length, trophic position and habitat use on mercury concentrations of sharks from contrasted ecosystems in the southwestern Indian Ocean. *Environmental Research*, 169, 387-395. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.11.024>
- Terrazas-López, R., Arreola-Mendoza, L., Galván-Magaña, F., S.B., S., & M.P., J. (2019). Understanding the antagonism of Hg and Se in two shark species from Baja California South, México. *Science of The Total Environment*, 650, 202-209. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.261>
- Poong, J.-H., Tee, L.-S., Tan, E., Yip, T.-H., Ramli, M. H., Hassan, A. R. A., Ali, A., Meng-Hsien, C., Wah, J. L. C., & Chuan, O. M. (2020). Level of heavy metals in bamboo sharks (*Chiloscyllium sp.*) in straits of malacca, malaysia. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 24(4), 546-557.
- Le Croizier, G., Lorrain, A., Sonke, J. E., Jaquemet, S., Schaal, G., Renedo, M., Besnard, L., Cherel, Y., & Point, D. (2020). Mercury isotopes as tracers of ecology and metabolism in two sympatric shark species. *Environmental Pollution*, 265, 114931. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114931>
- Gelsleichter, J., Sparkman, G., Howey, L., Brooks, E., & Shipley, O. (2020). Elevated accumulation of the toxic metal mercury in the Critically Endangered oceanic whitetip shark *Carcharhinus longimanus* from the northwestern Atlantic Ocean. *Endangered Species Research*, 43, 267-279. <https://doi.org/10.3354/esr01068>
- Sarker, S., Masud-Ul-Alam, M., Hossain, M. S., Rahman Chowdhury, S., & Sharifuzzaman, S. (2021). A review of bioturbation and sediment organic geochemistry in mangroves. *Geological Journal*, 56(5), 2439-2450. <https://doi.org/10.1002/gj.3808>
- Rechimont, M. E., Ruelas-Inzunza, J., Amezcua, F., Paéz-Osuna, F., & Castillo-Géniz, J. L. (2024). Hg and Se in Muscle and Liver of Blue Shark (*Prionace glauca*) from the Entrance of the Gulf of California: An Insight to the Potential Risk to Human Health. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 86(2), 165-177. <https://doi.org/10.1007/s00244-024-01054-0>
- Le Croizier, G., Lorrain, A., Hoyos-Padilla, M., Ketchum, J. T., Amezcua-Martínez, F., Le Loc'h, F., Munaron, J.-M., Schaal, G., & Point, D. (2023). Do marine protected areas influence mercury exposure? Insights from a shark community in the tropical Northeast Pacific. *Environmental Pollution*, 336. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122352>
- Chan, K. H., Gowidjaja, J. A. P., Urera, M. Q., & Wainwright, B. J. (2023). Analysis of Toxic Metals Found in Shark Fins Collected from a Global Trade Hub. *Environmental Science and Technology*, 57(34), 12620-12631. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c02585>
- Finucci, B., Pacoureaux, N., Rigby, C. L., Matsushiba, J. H., Faure-Beaulieu, N., Samantha Sherman, C., VanderWright, W. J., Jabado, R. W., Charvet, P., Mejía-Falla, P. A., Navia, A. F., Derrick, D. H., Kyne, P. M., Pollom, R. A., Walls, R. H. L., Herman, K. B., Kinattumkara, B., Cotton, C. F., Cuevas, J.-M., ... Dulvy, N. K. (2024). Fishing for oil and meat drives irreversible defaunation of deepwater sharks and rays. *Science*, 383(6687), 1135-1141. <https://doi.org/10.1126/science.ade9121>