



Fecha de recibido: 12-12-2023
Fecha de aceptado: 20/06/2024
DOI: 10.22490/21456453.7659

EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE SELENIO EN PECES DE ALTO VALOR COMERCIAL EN DIVERSOS AMBIENTES ACUÁTICOS EN EL NORTE DE COLOMBIA

EVALUATION OF SELENIUM LEVELS IN FISH OF HIGH COMMERCIAL VALUE IN DIFFERENT AQUATIC ENVIRONMENTS IN NORTHERN COLOMBIA

Camila Padilla Ramírez ¹
Leonimir Córdoba-Tovar ²
José Luís Marrugo-Negrete ³

¹ Magíster en Ciencias Ambientales, Universidad de Córdoba, Montería, Colombia.
kmilapr_09@hotmail.com

² Doctor en Estudios Ambientales y Rurales, Universidad Tecnológica del Chocó “Diego Luís Córdoba”, Quibdó, Colombia.
d-leonimir.cordoba@utch.edu.co

³ Doctor en Ciencias Químicas, Universidad de Córdoba, Montería, Colombia. jmarrugo@correo.unicordoba.edu.co

Citación: Padilla, C., Córdoba-Tovar, L., y Marrugo-Negrete, J. (2025). Evaluación de los niveles de selenio en peces de alto valor comercial en diversos ambientes acuáticos en el norte de Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 16(1), 299 - 318.
<https://doi.org/10.22490/21456453.7659>

RESUMEN

Contextualización: el selenio (Se) es uno de los metaloides esenciales para el correcto funcionamiento de los organismos que se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza. En concentraciones adecuadas es importante porque ayuda a mejorar el sistema reproductivo y fortalece el sistema inmunológico; en contraste, en elevadas concentraciones puede ejercer efectos adversos. Este papel dual que desempeña el Se hace que sea de especial interés para la comunidad científica.

Vacío de conocimiento: las altas concentraciones de Se en los ecosistemas acuáticos preocupan a la comunidad científica, debido a los impactos que pueden ocasionar en la salud humana y de los ecosistemas; sin embargo, es poco lo que se conoce sobre su comportamiento en relación con sus concentraciones en peces de agua dulce.

Objetivo: evaluar concentraciones de Se en peces de alto valor comercial en diferentes ecosistemas acuáticos en el norte de Colombia, las cuales permitan sentar bases sobre los niveles de contaminación con este elemento.

Metodología: se analizaron las concentraciones de Se en tejido muscular de peces de

alto valor comercial en seis sitios, incluidos embalses y ríos ubicados en cuatro departamentos en el norte de Colombia. Las muestras de pescado fueron obtenidas por compra directa a los pescadores locales de cada sitio, las concentraciones fueron analizadas mediante espectrometría de fluorescencia atómica acoplada a generación de hidruros.

Resultados y conclusiones: un total de 309 muestras de peces fueron analizadas y estuvieron representadas por 28 especies. El 27% equivalente a 84 individuos del total de los peces analizados superaron el valor máximo sugerido (400 $\mu\text{g/kg/día}$) para el consumo humano establecido en el decreto 3863 del 2008 emitido por el Ministerio de la Protección Social. Todas las muestras de las especies *Brycon moorei*, *Roeboides dayi*, *Sorubim cuspicaudus*, *Plagioscion surinamensis* y *Pseudoplatystoma magdaleniatum* superaron este valor. Los hallazgos de este estudio sugieren que la exposición a altas concentraciones de Se con el tiempo podría convertirse en un problema de salud pública y ambiental.

Palabras clave: Colombia, concentraciones, peces, selenio

ABSTRACT

Contextualization: selenium (Se) is one of the essential metalloids for the correct functioning of organisms and is widely distributed in nature. In adequate concentrations it is important because it helps to improve the reproductive system and strengthens the immune system. In contrast, in high concentrations it can have adverse effects. This dual role played by Se makes it of particular interest to the scientific community.

Knowledge gaps: the high concentrations of Se in aquatic ecosystems are of concern to the scientific community because of the impacts they can have on human and ecosystem health. However, little is known about its behavior in relation to its concentrations in freshwater fish.

Objective: to evaluate Se concentrations in fish of high commercial value in different aquatic ecosystems in the north of Colombia, which allow us to establish the basis for the levels of contamination with this element.

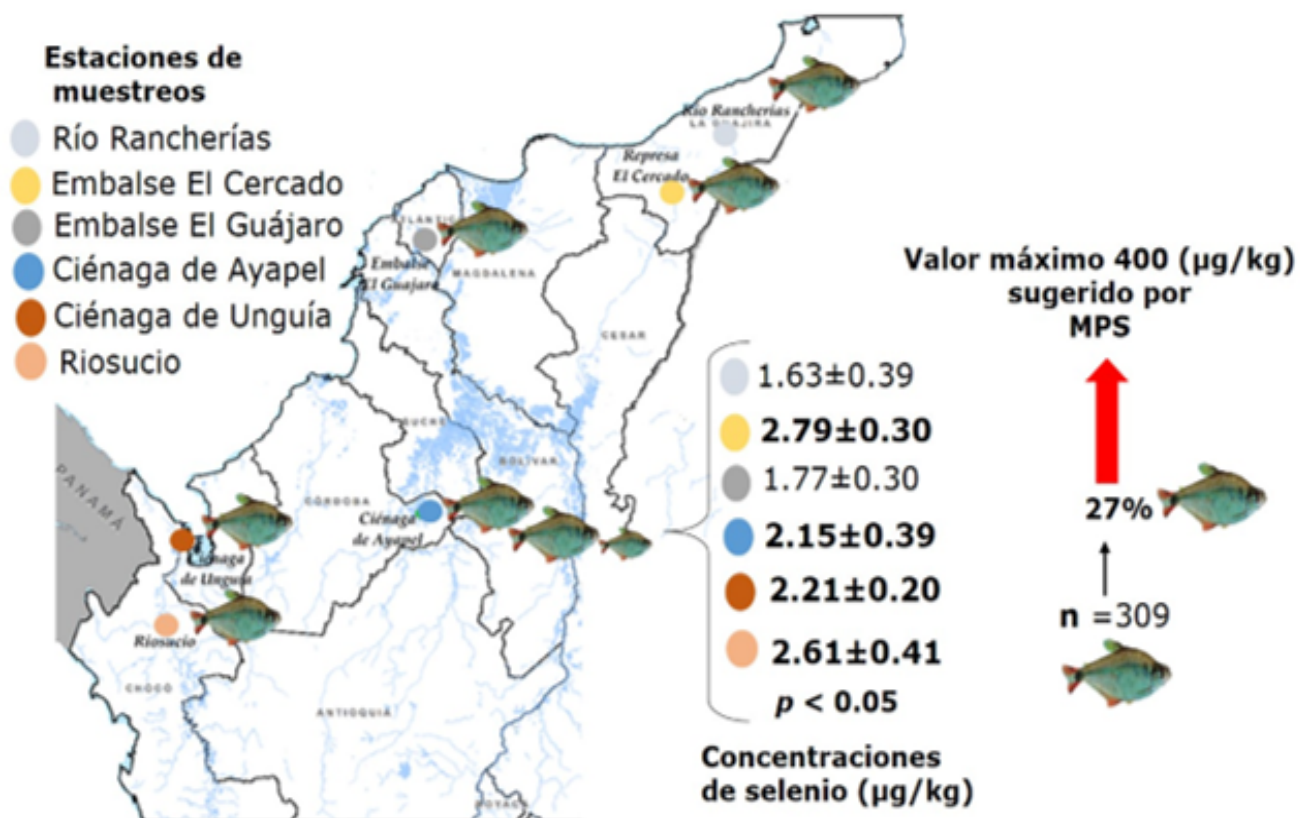
Methodology: Se concentrations in muscle tissue of commercially valuable fish were

analyzed at six sites, including reservoirs and rivers located in four departments in northern Colombia. Fish samples were obtained by direct purchase from local fishermen at each site. Concentrations were analyzed by atomic fluorescence spectrometry coupled to hydride generation.

Results and conclusions: a total of 309 fish samples were analyzed and were represented by 28 species. Of the total number of fish analyzed, 27%, equivalent to 84 individuals, exceeded the maximum suggested value (400 µg/kg/day) for human consumption established in decree 3863 of 2008 issued by the Ministry of Social Protection. All samples of the species *Brycon moorei*, *Roeboides dayi*, *Sorubim cuspicaudus*, *Plagioscion surinamensis* and *Pseudoplatystoma magdaleniatum* exceeded this value. The findings of this study suggest that exposure to high concentrations of Se over time could become a public health and environmental problem.

Keywords: Colombia, concentrations, fish, selenium

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: autores.

1 INTRODUCCIÓN

El selenio (Se) es un metaloide esencial para la vida ya que desempeña un papel fundamental en varios procesos biológicos, incluida la función antioxidante y la salud del sistema inmunológico (Hoya-Flórez *et al.*, 2022). Sin embargo, la presencia de altas concentraciones de Se en los ecosistemas acuáticos y su acumulación en peces está siendo objeto de atención debido a su rol dual, es decir, en concentraciones adecuadas resulta vital pero en concentraciones elevadas puede ejercer efectos tóxicos tanto en los peces como en los humanos (Johnson *et al.*, 2020).

Las concentraciones naturales del Se y otros elementos como el mercurio (Hg), cadmio (Cd), plomo (Pb) y arsénico (As), a menudo se ven amplificadas por actividades antrópicas, entre ellas la minería, la industria manufacturera, deforestación y la agricultura (Baragaño *et al.*, 2022; Marrugo-Negrete *et al.*, 2015; Palacios-Torres *et al.*, 2018). Una vez liberados al ambiente, ingresan al suelo, agua y sedimentos, pudiéndose acumular en los organismos y afectando a los ecosistemas como también a las personas que dependen de ellos (Ali y Khan, 2018; Marrugo-Negrete *et al.*, 2015).

Adicionalmente, las concentraciones de Se pueden variar ampliamente en función de

la ubicación geográfica, características físicas y químicas del agua, las prácticas agrícolas y la presencia de actividades industriales, además, la biodisponibilidad en el agua y los sedimentos influye en su acumulación en los peces, lo cual impacta la cadena alimentaria (Torres *et al.*, 2015). Este señalamiento sugiere que las comunidades cercanas a fuentes de contaminación, así como a los ecosistemas naturales (acuáticos y terrestres), son particularmente las más vulnerables a los efectos de la alta acumulación de metales, siendo en estas áreas donde se deberían redoblar los esfuerzos de gestión (Marrugo-Negrete *et al.*, 2023; Perdomo y Furlong, 2022).

Para el caso del Se, se ha informado que cuando se altera su equilibrio natural una cantidad importante puede ingresar en los peces, bien sea en su forma orgánica e inorgánica, la cual no logra ser metabolizada, provocando una absorción desregulada por parte del organismo (Burk y Hill, 2015). Además, cuando los niveles de Se en peces superan los 4 µg/g, se pueden producir efectos perjudiciales como el deterioro del crecimiento, daños en órganos vitales como el hígado y el riñón, reducción de la capacidad reproductiva e incluso la muerte del organismo (Torres *et al.*, 2020). Este fenómeno no solo afecta la salud de los peces, sino que también plantea preocupaciones sobre la seguridad alimentaria, dado que los peces son una importante fuente de proteína animal en todas las regiones del mundo (FAO, 2021;

Farzad y Andrade, 2022).

Autoridades internacionales en el tema, incluidos la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA) y el Programa Mundial de Alimentos (PMA), han informado que el pescado contribuye significativamente a la nutrición y seguridad alimentaria de la población humana (FAO, 2023). Por lo tanto, consumir pescado ayuda a reducir los niveles de desnutrición ya que proporciona al igual que restablece el equilibrio adecuado de aminoácidos y ácidos grasos esenciales para el correcto funcionamiento de los organismos (Ngaisyah y Rohman, 2019). Sin embargo, la seguridad alimentaria, la salud de los ecosistemas, en especial los de agua dulce, y la conservación de la biota se encuentran comprometidas debido a las altas concentraciones de elementos esenciales y no esenciales, un problema de salud pública y ambiental crítico (Córdoba-Tovar *et al.*, 2022; Cruz-Esquivel *et al.*, 2023; Paschoalini y Bazzoli, 2021).

Los trabajos sobre concentraciones de Se en peces se han intensificado en respuesta a la creciente preocupación por la calidad

de los ecosistemas naturales y la seguridad alimentaria, con lo cual se busca comprender la variabilidad geográfica y temporal de las concentraciones de este elemento en los ecosistemas acuáticos, así como los efectos potenciales en la salud de los peces y en quienes consumen productos pesqueros (Al-Saleh *et al.*, 2015; FAO, 2023). En respuesta a estas preocupaciones, los trabajos sobre concentraciones de Se en peces se han centrado en comprender las variaciones geográficas al igual que sus implicaciones en los ecosistemas acuáticos, además de la necesidad de evaluar y gestionar los riesgos asociados (McCormack *et al.*, 2020; Schneider *et al.*, 2015; Terrazas-López *et al.*, 2019; Torres *et al.*, 2015, 2020). En este sentido, el registro de concentraciones de Se en peces es un paso importante, en primer lugar, porque contribuye a la construcción de una base de información sólida sobre su comportamiento en ambientes acuáticos, y en segundo lugar, los resultados podrían contribuir en la elaboración de políticas que aseguren la conservación de la biota acuática y en consecuencia a la salud de las comunidades que dependen de ellos (Farzad y Andrade, 2022; Hoya-Flórez *et al.*, 2022).

Bajo este escenario y debido a que las investigaciones sobre concentraciones de Se son escasas no solo en Colombia sino a escala global (Córdoba-Tovar *et al.*, 2022; Zhu *et al.*, 2024), en esta primera etapa de la in-

vestigación el objetivo principal fue evaluar concentraciones de Se en peces de alto valor comercial en diferentes ambientes, en cuatro departamentos en el norte de Colombia.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios de muestreo

Se analizaron concentraciones de Se en peces provenientes de seis sitios en diferentes zonas del norte de Colombia (Figura 1): Ciénaga de Ayapel (A) ubicada en el departamento de Córdoba, Embalse El Guájaró (B) en el departamento del Atlántico, Río Ranchería (C) y Embalse El Cercado (D) en el departamento de La Guajira, y ciénaga de Unguía (E) y Riosucio (F) en el departamento del Chocó. Estos sitios fueron escogidos debido a que tienen influencia de actividades pecuarias, agrícolas, industriales y mineras (Argumedo y Deluque, 2015; Fuentes-Gandara *et al.*, 2018; Salazar-Camacho *et al.*, 2022; Torres *et al.*, 2015).

Las muestras de pescado fueron adquiridas directamente de pescadores locales en cada área de estudio. Además, acompañamos las faenas de pesca para garantizar que los peces capturados provinieran de los sitios designados y fueran de alto valor comercial (Córdoba-Tovar *et al.*, 2023). De cada pescado se obtuvieron muestras de tejido muscular dorsal no menor a 300 mg, las cuales se empacaron en bolsas plásticas y refrigeradas hasta su traslado al laboratorio de Toxicología y Gestión Ambiental de la Universidad de Córdoba. La identificación de los peces se realizó mediante claves taxonómicas, conocimiento propio de los investigadores y consulta a expertos. Adicionalmente, se revisó la base de datos www.fishbase.org (FishBase, 2024) para comprobar la taxonomía y posición trófica de cada especie (Salazar-Camacho *et al.*, 2021).

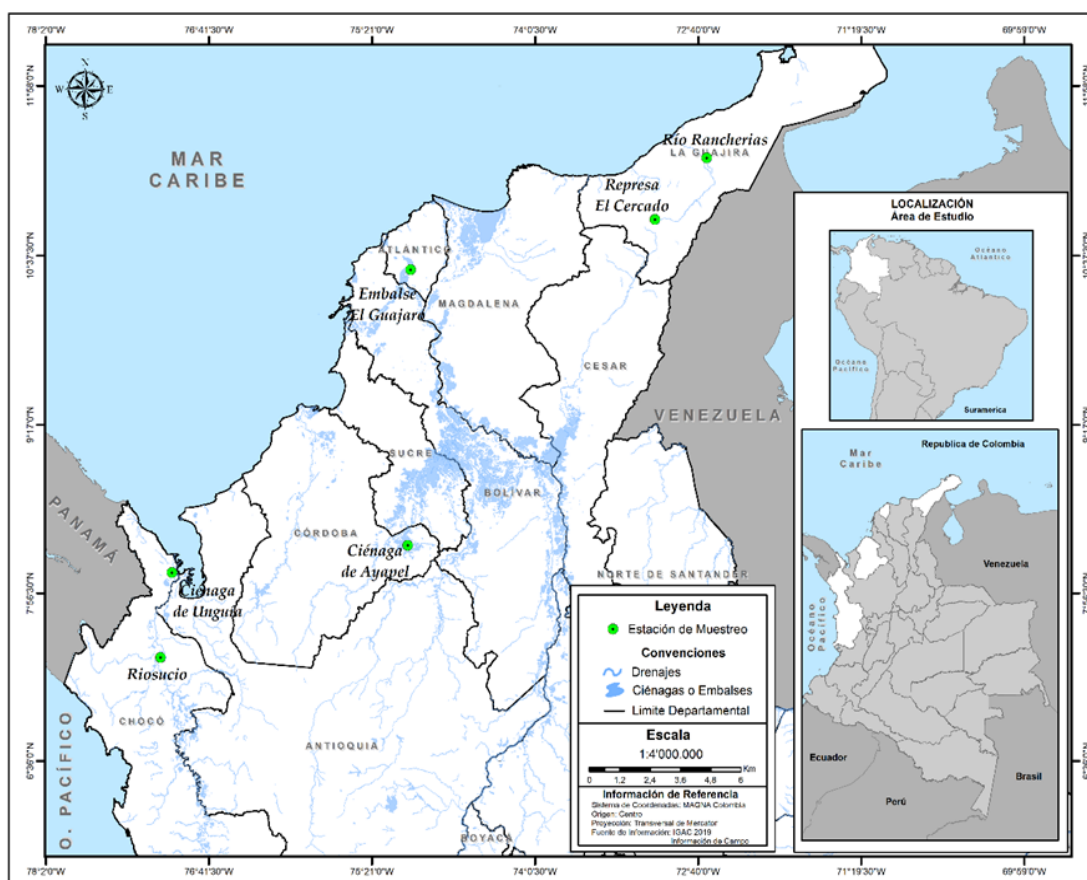


Figura 1. Localización y distribución geográfica de los seis sitios de estudio en el norte de Colombia

Fuente: autores.

Análisis de laboratorio

Para el análisis de Se en las muestras de pescado se realizó una digestión ácida asistida por microondas, siguiendo el método 3052 definido por la Agencia para la Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA, 2007). Se pesaron cerca de 300 mg de músculo y utilizando vasos de teflón se adicionaron 8 mL de HNO_3 y 2 mL de H_2O_2 . Las muestras se sometieron a radiación por mi-

croondas a $180 \pm 5^\circ\text{C}$ durante 30 minutos. El extracto de la muestra obtenida se filtró utilizando membranas de politetrafluoroetileno (PTFE) de $0.45 \mu\text{m}$ y cada muestra se diluyó con 25 mL de agua desionizada. Finalmente, se tomaron 5 mL del extracto para convertir todo el selenio a Se^{4+} utilizando HCl y calor. Se utilizó un volumen de 25 mL para realizar el análisis mediante generación de hidruros acoplados por medio de espectrometría de fluorescencia atómica (HG-AFS).

Análisis estadístico

Se empleó una prueba de Kolmogórov-Smirnov para verificar la normalidad de los datos de las concentraciones de Se. Se evaluaron diferencias de las concentraciones entre especies de peces, para lo cual, se usó una prueba de Kruskal-Wallis. Una prueba de Mann-Whitney para comparar las concentraciones de Se, según la dieta o el nivel trófico de los peces. Además, comparamos las concentraciones entre sitios de estudio, mediante un ANOVA y una prueba de comparaciones múltiples de Tukey. Para este último análisis, los datos fueron trans-

formados a logaritmo natural para mejorar la visualización gráfica e interpretación de los resultados. En general, los resultados se presentan mediante estadística descriptiva como la media, mediana, desviación estándar y rangos, considerando un p valor de 0.05 como indicador de significancia. Durante el proceso analítico se utilizaron hojas de cálculo de Microsoft Excel y GraphPad Prisma 8.0. Así, es importante informar que los datos biométricos como longitud y peso de los peces no fueron considerados en este estudio debido a que serán considerados para una evaluación a largo plazo.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presentan las medianas de las concentraciones de Se en músculos de peces recolectados en sistemas de agua dulce distribuidos en cuatro provincias en el norte de Colombia. El total de peces recolectado fue de 309 individuos distribuidos en 28 especies. El 27% (84 individuos) del total de los peces analizados superaron el valor límite sugerido ($400 \mu\text{g/kg/día}$) para el consumo humano establecido por el Ministerio de la Protección Social (Vinchira y Muñoz-Ramírez, 2010). Además, todos los individuos de las especies *B. moorei*, *R. dayi*, *S. cuspidatus*, *P. surinamensis*, *P. magdalenia-*

tum superaron este valor y exhibieron concentraciones elevadas de Se independientemente de la dieta alimentaria (Figura 2). Sin embargo, la prueba de Mann Whitney indicó que las medianas de las concentraciones eran estadísticamente diferentes en las especies carnívoras ($210.6 \pm 389.1 \mu\text{g/kg}$, $p < 0.05$, $n=146$) en comparación con las especies no carnívoras ($124.0 \pm 388.2 \mu\text{g/kg}$, $n=163$). Resultados similares fueron reportados por Lino *et al.* (2018), quienes observaron que las medianas de las concentraciones de Se fueron superiores en peces carnívoros del río Tapajós en la Amazonia brasilera.

Tabla 1.

Medianas de las concentraciones de selenio + desviación estándar ($\mu\text{g/kg}$) en músculos de peces, factor de condición de Fulton (K) y nivel trófico (C= carnívoros, NC= no carnívoros)

Especies	n	K	Nivel trófico	Se ($\mu\text{g/kg}$)	Rango	
					Mínimo	Máximo
<i>Brycon moorei</i>	8	1.0 \pm 0.3	NC	1024 \pm 606	200.5	2003
<i>Roeboides dayi</i>	5	1.1 \pm 0.1	NC	799.9 \pm 328.3	290.5	1156
<i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i>	9	1.1 \pm 0.2	C	764.4 \pm 110.5	652.9	983.2
<i>Plecostomus hondae</i>	6	1.0 \pm 0.2	NC	734.5 \pm 483	323.8	1387
<i>Plagioscion surinamensis</i>	10	1.0 \pm 0.1	C	650.2 \pm 222.3	230.3	910.8
<i>Sorubim cuspicaudus</i>	10	0.9 \pm 0.1	C	559.3 \pm 148	375.4	855.7
<i>Caquetaia kraussii</i>	28	1.7 \pm 0.2	C	434.6 \pm 561	8.36	1984
<i>Hoplias malabaricus</i>	26	1.0 \pm 0.1	C	376.7 \pm 427.5	92.99	1634
<i>Ageneiosus pardalis</i>	8	1.7 \pm 0.2	C	336.7 \pm 212.6	165.4	686.5
<i>Geophagus pellegrini</i>	4	2.5 \pm 0.9	NC	267.4 \pm 16.3	250.1	289.1
<i>Prochilodus magdalenae</i>	13	2.3 \pm 0.3	NC	194.3 \pm 48.2	124	331.9
<i>Oreochromis spp.</i>	14	1.3 \pm 0.2	NC	180.1 \pm 244.9	67.99	746.5
<i>Prochilodus spp.</i>	24	1.5 \pm 0.5	NC	178.8 \pm 565.9	46.55	1797
<i>Triportheus magdalenae</i>	12	1.0 \pm 0.2	C	137.8 \pm 42.4	87.84	219.9
<i>Sternopygus macrurus</i>	3	1.0 \pm 0.1	C	135.4 \pm 36.4	107.7	179.9
<i>Haemulon plumierii</i>	7	1.4 \pm 0.1	C	127 \pm 56.3	53.13	210.1
<i>Centropomus undecimalis</i>	3	0.9 \pm 0.1	C	123.7 \pm 33.5	119.7	179.6
<i>Ctenolucius hujeta</i>	4	1.0 \pm 0.1	C	122.3 \pm 56.7	109.8	229.2
<i>Trachelyopterus spp.</i>	6	2.1 \pm 0.2	NC	117.3 \pm 50.9	50.13	204.1
<i>Astyanax magdalenae</i>	5	1.3 \pm 0.2	NC	98.4 \pm 15.7	70.4	113.6

<i>Leporinus muyscorum</i>	14	1.1 ± 0.2	NC	89.93±66.8	23.84	290.4
<i>Sciades proops</i>	8	0.9 ± 0.2	C	87.1±26.4	59.82	143.3
<i>Cyphocharax magdalenae</i>	19	1.8 ± 0.4	NC	85.93±36.8	37.99	172
<i>Lutjanus campechanus</i>	8	1.0 ± 0.2	C	84.21±27.8	45.76	132.4
<i>Pimelodus blochii</i>	10	1.0 ± 0.1	NC	69.28±16.9	52.1	101.3
<i>Oreochromis niloticus</i>	28	1.6 ± 0.6	NC	65.59±111	7.55	303.9
<i>Caranx crysos</i>	10	1.1 ± 0.1	C	52.15±18.3	38.03	89.83
<i>Eugerres plumieri</i>	7	1.4 ± 0.1	NC	51.7±35.5	32.67	132.9
Total	309					

Fuente: autores.

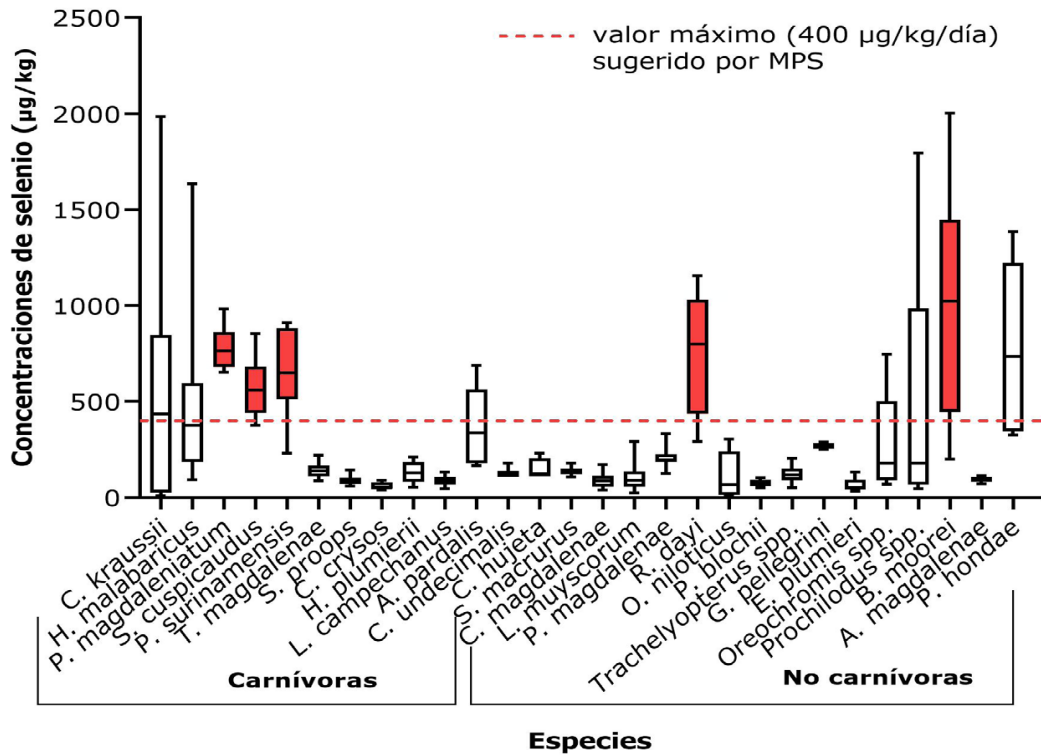


Figura 2. Distribución de las concentraciones totales de Se en los peces analizados
Nota. La línea roja discontinua indica el valor máximo sugerido para el consumo humano sugerido por MPS (Vinchira y Muñoz-Ramírez, 2010). Las barras rojas representan las especies cuyo número total de individuos superaron este valor

Fuente: autores.

El intervalo de las concentraciones de Se en esta investigación osciló entre 7.5 y 1.024 $\mu\text{g/kg}$, el cual fue superior a los valores (0.01 y 0.53 $\mu\text{g/kg}$) reportados por Alcalá-Orozco *et al.* (2020) en peces del río Amazonas (Colombia), pero también fue superior a los reportados (0.02 – 0.44 $\mu\text{g/kg}$) por Lino *et al.* (2018) en peces del río Tapajós en la Amazonia brasilera. Las altas concentraciones de Se documentadas en el presente estudio indican que a largo plazo podrían suponer un riesgo para la población por la ingesta de peces contaminados con este elemento, pero también podría resultar tóxico para los peces (Espejo *et al.*, 2020; Johnson *et al.*, 2020). Sin embargo, para determinar con precisión los efectos de las altas concentraciones de Se en la salud humana y la biota acuática, se necesitan evaluaciones integrales que ayuden a descifrar los efectos beneficiosos y adversos de las interacciones del Se con otros elementos, incluido el Hg (Alcalá-Orozco *et al.*, 2020; Farzad y Andrade, 2022; Terrazas-López *et al.*, 2019).

Al respecto, diversos investigadores han informado sobre los efectos positivos resultantes de la relación de las porciones molares entre Se:Hg (Amlund *et al.*, 2015; Arcagni *et al.*, 2013; Luo *et al.*, 2020; Terrazas-López

et al., 2019) y Se:Cd (Al-Saleh *et al.*, 2015). Estas investigaciones indican que cuando la relación es igual o superior a uno, existe un efecto protector del Se contra las concentraciones de un determinado elemento, pero se desconocen las concentraciones de Se adecuadas para ejercer un efecto protector (Córdoba-Tovar *et al.*, 2022).

Las concentraciones de Se también mostraron diferencias ($p < 0.05$) entre sitios de muestreo, siendo en su orden de magnitud D>F>E>A los sitios con las mayores medias de concentraciones (Tabla 2, Figura 3). Estos resultados en gran medida pueden explicarse por la intensidad de las actividades antrópicas incluyendo el enriquecimiento de dietas a base de Se (Hoya-Flórez *et al.*, 2022), pero también por procesos biogeoquímicos como la meteorización de rocas (Terrazas-López *et al.*, 2019; Torres *et al.*, 2020).

Al respecto, es importante destacar el aporte de Baragaño *et al.* (2022) quienes explican que las concentraciones anormales de Se están influenciadas por la alteración de los ciclos naturales de la tierra, siendo inducido principalmente por la minería. Por ejemplo, durante la perforación del suelo, algunos materiales geológicos incluido el skarn magnésico, skarn cálcico y la caliza

masiva, pueden provocar lixiviados enriquecidos con Se, y la interacción agua-roca que se produce durante el proceso de drenaje puede favorecer el aumento de las concen-

traciones y su movilidad en los cuerpos de agua. En la Tabla 3 se presentan algunos estudios que informan concentraciones de Se en peces de diferentes regiones del mundo.

Tabla 2.

Resultados del ANOVA para las concentraciones de selenio comparadas entre los sitios de muestreo

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	p - valor
Tratamientos	24.66	5	4.932	0.001
Residuos	19.43	157	0.1238	
Total	44.09	162		

Fuente: autores.

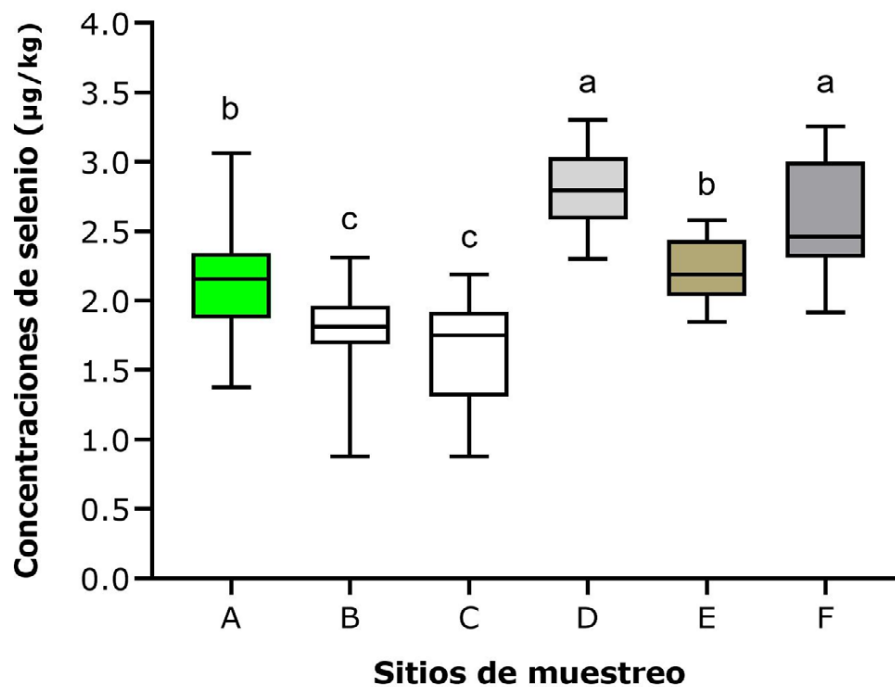


Figura 3. Comparación de las concentraciones medias (logaritmo natural) de selenio usando el test de ANOVA para los seis sitios de muestreo

Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. A (Ciénaga de Ayapel), B (Embalse El Guájaro), C (Río Ranchería), D (Embalse El Cercado), E (Ciénaga de Unguía), F (Riosucio).

Fuente: autores.

Tabla 3.

Comparación de concentraciones de selenio en peces en diferentes partes del mundo

Especies	n	Se ($\mu\text{g/kg}$)	País	Referencia
<i>Prochilodus magdalenae</i>	17	223	Colombia	Alcala-Orozco <i>et al.</i> (2020)
<i>Caquetaia kraussii</i>	2	334	Colombia	
<i>Hoplias malabaricus</i>	5	305	Colombia	
<i>Hemiodus unimaculatus</i>	6	145	Brasil	da Silva <i>et al.</i> (2013)
<i>Semaprochilodus insignis</i>	15	27.0	Brasil	Lino <i>et al.</i> (2018)
<i>Leporinus friderici</i>	3	28.0	Brasil	
<i>Leiarius marmoratus</i>	6	22.0	Brasil	
<i>Hoplias malabaricus</i>	ND	0.7	Argentina	Villalba, (2021)
<i>Bryconamericus iheringii</i>	ND	1.2	Argentina	
<i>Rhamdia quelen</i>	ND	1.4	Argentina	
Grass carp	ND	0.14	China	Yang <i>et al.</i> (2021)
Crucian carp	ND	0.22	China	
<i>Hypophthalmichthys nobilis</i>	ND	0.15	China	
<i>Prochilodus magdalenae</i>	13	194	Colombia	Este estudio
<i>Caquetaia kraussii</i>	28	434	Colombia	
<i>Hoplias malabaricus</i>	26	376	Colombia	

ND=no disponible

Fuente: autores.

4 CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio confirmaron la presencia de Se en el músculo de especies ícticas en elevadas concentraciones. El 27% de las muestras, equivalentes a 84 individuos, superaron el valor máximo sugerido ($400 \mu\text{g/kg/día}$) para el consumo humano establecido por el Ministerio de la Protección Social. Las mayores concentraciones se observaron en peces carnívoros, en comparación con los no carnívoros. En general, los hallazgos de este estudio sugieren que la exposición a altas concentraciones de

Se, con el tiempo, podría convertirse en un problema de salud pública y ambiental. En consecuencia, futuros estudios deberían determinar si el exceso de Se en los peces está relacionado con procesos biogeoquímicos o con actividades humanas, con el fin de implementar medidas preventivas adecuadas. Hasta donde sabemos, este es el primer estudio que compila información sobre las concentraciones de Se en un amplio número de especies y localidades de Colombia.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Camila Padilla Ramírez: investigación, conceptualización, análisis de información, escritura. **Leonomir Córdoba-Tovar:** análisis y diseño estadístico, escritura, revisión

y edición. **José Luís Marrugo-Negrete:** investigación, supervisión y adquisición de recursos, análisis de información y revisión.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad de Córdoba, Montería, por su valioso apoyo financiero y logístico. También queremos expresar nuestro agradecimiento a todas las

personas de las comunidades en las que se llevaron a cabo los muestreos, por su colaboración y disposición, que han sido esenciales para el éxito de nuestra investigación.

FINANCIAMIENTO

Este trabajo fue financiado por la Universidad de Córdoba a través del proyecto con código FBC-01-19.

LITERATURA CITADA

- Al-Saleh, I., Al-Rouqi, R., Obsum, C. A., Shinwari, N., Mashhour, A., Billedo, G., Al-Sarraj, Y., & Rabbah, A. (2015). Interaction between cadmium (Cd), selenium (Se) and oxidative stress biomarkers in healthy mothers and its impact on birth anthropometric measures. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 218(1), 66–90. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2014.08.001>
- Alcala-Orozco, M., Caballero-Gallardo, K., & Olivero-Verbel, J. (2020). Biomonitoring of Mercury, Cadmium and Selenium in Fish and the Population of Puerto Nariño, at the Southern Corner of the Colombian Amazon. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 79(3), 354–370. <https://doi.org/10.1007/s00244-020-00761-8>
- Ali, H., & Khan, E. (2018). Bioaccumulation of non-essential hazardous heavy metals and metalloids in freshwater fish. Risk to human health. *Environmental Chemistry Letters*, 16(3), 903–917. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0734-7>
- Amlund, H., Lundebye, A. K., Boyle, D., & Ellingsen, S. (2015). Dietary selenomethionine influences the accumulation and depuration of dietary methylmercury in zebrafish (*Danio rerio*). *Aquatic Toxicology*, 158, 211–217. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2014.11.010>
- Arcagni, M., Campbell, L., Arribére, M., Marvin-DiPasquale, M., Rizzo, A., & Ribeiro, S. (2013). Differential mercury transfer in the aquatic food web of a double basined lake associated with selenium and habitat. *Science of the Total Environment*, 170–180. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.03.008>
- Argumedo, C., & Deluque, H. (2015). Niveles y distribución de metales pesados en el agua de la zona de playa de Riohacha , La Guajira , Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(1), 123–131. <https://www.semanticscholar.org/reader/ab57aaf3ef30993ddeb6adca13cd8ceb-18c0a957>
- Baragaño, D., Berrezueta, E., Fernández, E., y Gallego, J. L. R. (2022). Aplicación de

- la geoquímica ambiental a la gestión de aguas enriquecidas en selenio en explotaciones auríferas subterráneas. *Geogaceta*, 71, 83–86. <https://doi.org/10.55407/geogaceta99926>
- Burk, R., & Hill, K. (2015). Regulation of Selenium Metabolism and Transport. *Annual Review of Nutrition*, 35(1), 109–134. <https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-071714-034250>
- Córdoba-Tovar, L., Marrugo-Negrete, J., Barón, P. R., & Díez, S. (2022). Drivers of biomagnification of Hg, As and Se in aquatic food webs: A review. *Environmental Research*, 204(October 2021), 112226. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112226>
- Córdoba-Tovar, L., Marrugo-Negrete, J., Ramos Barón, P. A., Calao-Ramos, C. R., & Díez, S. (2023). Toxic metal(loids) levels in the aquatic environment and nuclear alterations in fish in a tropical river impacted by gold mining. *Environmental Research*, 224(February), 115517. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115517>
- Cruz-Esquivel, Á., Díez, S., & Marrugo-Negrete, J. L. (2023). Genotoxicity effects in freshwater fish species associated with gold mining activities in tropical aquatic ecosystems. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 253(February), 114670. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114670>
- da Silva, D., Lucotte, M., Paquet, S., Brux, G., & Lemire, M. (2013). Inverse mercury and selenium concentration patterns between herbivorous and piscivorous fish in the Tapajos River, Brazilian Amazon. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 97, 17–25. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.06.025>
- Espejo, W., Padilha, J. de A., Kidd, K. A., Dorneles, P., Malm, O., Chiang, G., & Celis, J. E. (2020). Concentration and Trophic Transfer of Copper, Selenium, and Zinc in Marine Species of the Chilean Patagonia and the Antarctic Peninsula Area. *Biological Trace Element Research*, 197(1), 285–293. <https://doi.org/10.1007/s12011-019-01992-0>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2021). *Fish and seafood consumption per capita, 2021*. <https://ourworldindata.org/grapher/fish-and-seafood-consumption-per-capita>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2023). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2023. Urbanización, transformación de los sistemas agroalimentarios y dietas saludables a lo largo del continuo rural-urbano*. <https://doi.org/10.4060/cc3017es>
- Farzad, R., & Andrade, J. (2022). Selenium and Mercury toxicity: the tale of fish. *Edis*, 2–4. <https://doi.org/https://doi.org/10.32473/edis-FS437-2022>
- FishBase. (2024). *FisBase*. FishBase-SeaLifeBase Symposium: 30 Years of FishBase -15 Years of SeaLifeBase. <https://www.fishbase.se/search.php>

- Fuentes-Gandara, F., Pinedo, J., y Marrugo, J. (2018). Metales pesados en especies ícticas de la ciénaga de Mallorquín, Colombia. *Espacios*, 39(3).
- Hoya-Flórez, J., Estrada-Posada, A., y Yepes, J. A. (2022). Uso del selenio en organismo acuáticos. Una revisión. *Intropica*, 17(1), 97–113. <https://doi.org/10.21676/23897864.4546>
- Johnson, R. C., Stewart, A. R., Limburg, K. E., Huang, R., Cocherell, D., & Feyrer, F. (2020). Lifetime Chronicles of Selenium Exposure Linked to Deformities in an Imperiled Migratory Fish. *Environmental Science & Technology* Vol 54(5). 2892-2901. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b06419>
- Lino, A. S., Kasper, D., Guida, Y. S., Thomaz, J. R., & Malm, O. (2018). Mercury and selenium in fishes from the Tapajós River in the Brazilian Amazon: An evaluation of human exposure. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 48(2010), 196–201. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.04.012>
- Luo, H., Yang, Y., Wang, Q., Wu, Y., He, Z., & Yu, W. (2020). Protection of *Siganus oramin*, rabbitfish, from heavy metal toxicity by the selenium-enriched seaweed *Gracilaria lemaneiformis*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 206(March), 111–183. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111183>
- Marrugo-Negrete, J., Pinedo-Hernández, J., & Díez, S. (2015). Geochemistry of mercury in tropical swamps impacted by gold mining. *Chemosphere*, 134, 44–51. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.03.012>
- Marrugo-Negrete, J., Rodríguez-Espinosa, P. F., Godwyn-Paulson, P., Paternina-Urbe, R. J., Ibarguen Amud, M. Y., Rosso-Pinto, M., Enamorado-Montes, G., Urango-Cárdenas, I., Gutiérrez-Mosquera, H., Salas-Moreno, M. H., Salazar-Camacho, C., Córdoba-Tovar, L., Ospino, J. C., Bolívar, W. M., Arbeláez, J. D., Valdés, S. M., Varela, R. D., & Jonathan, M. P. (2023). Detecting mass sediment transport and movement tainted by decades of mining activities in river Quito, Western Colombia. *Journal of Cleaner Production*, 394(February), 136293. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136293>
- McCormack, M. A., Jackson, B. P., & Dutton, J. (2020). Relationship between mercury and selenium concentrations in tissues from stranded odontocetes in the northern Gulf of Mexico. *Science of the Total Environment*, 749, 141350. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141350>
- Ngaisyah, D., & Rohman, A. (2019). Effect of Fish Consumption as a Local Food Alternative for the Reduction of Stunting in Toddlers. *Pakistan Journal of Nutrition*, 18(5), 496–500. <https://doi.org/10.3923/pjn.2019.496.500>
- Palacios-Torres, Y., Caballero-Gallardo, K., & Olivero-Verbel, J. (2018). Mercury pollution by gold mining in a global biodiversity hotspot, the Chocó biogeographic region, Colombia. *Chemosphere*, 193, 421–430. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.160>

- Paschoalini, A. L., & Bazzoli, N. (2021). Heavy metals affecting Neotropical freshwater fish: A review of the last 10 years of research. *Aquatic Toxicology*, 237(July), 105906. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2021.105906>
- Perdomo, J., & Furlong, K. (2022). Producing mining territories: The centrality of artisanal and small-scale gold mining in Colombia from colonization to the present. *Geoforum*, 137(December), 22–31. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2022.10.001>
- Salazar-Camacho, C., Salas-Moreno, M., Marrugo-Madrid, S., Paternina-Urbe, R., Marrugo-Negrete, J., & Díez, S. (2022). A human health risk assessment of methylmercury, arsenic and metals in a tropical river basin impacted by gold mining in the Colombian Pacific region. *Environmental Research Journal*, 212(November 2021), 113120. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113120>
- Salazar-Camacho, C., Salas-Moreno, M., Paternina-Urbe, R., Marrugo-Negrete, J., & Díez, S. (2021). Mercury species in fish from a tropical river highly impacted by gold mining at the Colombian Pacific region. *Chemosphere*, 264, 2–10. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128478>
- Schneider, L., Maher, W. A., Potts, J., Taylor, A. M., Batley, G. E., Krikowa, F., Chariton, A. A., & Gruber, B. (2015). Modeling food web structure and selenium biomagnification in lake macquarie, New South Wales, Australia, using stable carbon and nitrogen isotopes. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 34(3), 608–617. <https://doi.org/10.1002/etc.2847>
- Terrazas-López, R., Arreola-Mendoza, L., Galván-Magaña, F., Sujitha, S. B., & Jonathan, M. P. (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>
- Torres, J., Colina, M., Cano, Y., Rivas, Z., y Andrade, C. (2015). Concentración de selenio en agua y en fracciones de sedimentos del río Catatumbo. *Multiciencias*, 15(2), 163–171. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90443048006>
- Torres, J., Sanquiz, M., y Ávila, H. (2020). Evaluación de las concentraciones totales de selenio en agua, sedimento y tejidos de peces del río Catatumbo, Venezuela durante los años 2001-2002. *Acta Oceanográfica Del Pacífico*, 2(June 2019), 17–37. <http://portal.amelica.org/ameli/journal/648/6482950003/%0AAbstract:>
- United State Environmental Protection Agency (USEPA). (2007). Environmental Protection Agency Method 3052. Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices. In *Tetrahedron*.
- Villalba, M. (2021). *Las concentraciones de mercurio y arsénico en peces del embalse Río Tercero podrían afectar la salud de quienes los consumen*. UNCiencia. <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/19906>

- Vinchira, J., y Muñoz-Ramírez, A. (2010). Selenio: Nutriente objetivo para mejorar la composición nutricional del pescado cultivado. *Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 48–64.
- Yang, L., Guo, M., Xin, C., Ren, X., Wang, L., & Liu, Y. (2021). Comparison of trace element concentrations in freshwater fish and marine fish consumed in Shandong Province, China, and their potential risks to human health. *Marine Pollution Bulletin*, 165(18877), 112114. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112114>
- Zhu, C., Liu, Q., Wang, Y., Wang, X., Ma, Y., Yang, F., Dong, W., & Ji, H. (2024). A screening for optimal selenium enrichment additives for selenium-enriched fish production: Application of a HPLC-ICP-MS method. *Food Chemistry: X*, 21(July 2023), 101088. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.101088>

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional License.