

Bioaccumulation of mercury in shrimp with respect to the concentration in waters and sediments of the Ocoña River (Camaná-Arequipa)

Jorge Delgado-Pacheco, Mg¹, Grace Acevedo-Obando, Mg¹, Jonathan Almirón, Dr², Yosheff Ortiz -Valdivia, Dr², Camila Aguilar-Ccuno, Br² y Danny Tupayachy-Quispe, Dr³

¹Universidad Tecnológica del Perú, Perú, C16220@utp.edu.pe, C16537@utp.edu.pe

²Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú, jalmiron@unsa.edu.pe, yortizv@unsa.edu.pe, caguilarcc@unsa.edu.pe

³Universidad Católica de Santa María, Perú, dtupayachy@ucsm.edu.pe

Abstract– This study aims to analyze the relationship between mercury concentration in the Ocoña River and the presence of mercury in shrimp. For this purpose, samples of water, sediments, and shrimp were taken at three specific locations in the basin: Alto Molino, Secocha, and Urasqui. Mercury concentration results were obtained in mg/kg and mg/L. The average values of mercury in shrimp were 0.0169, 0.0162, and 0.0151 mg/kg, in sediments were 0.0474, 0.0471, and 0.0470 mg/kg, and in surface water were 0.00049, 0.00041, and 0.00038 mg/L for the three locations respectively. The results indicate that the concentration of mercury in shrimp is related to that of sediments, but not with that of surface water in the Ocoña River. This study supports the importance of sediment quality in mercury contamination in shrimp in the Ocoña River basin.

Keywords– Mercury concentration, Ocoña River, shrimp, contamination.

Bioaccumulation of mercury in shrimp with respect to the concentration in waters and sediments of the Ocoña River (Camaná-Arequipa)

Bioacumulación de mercurio en camarones respecto a la concentración en aguas y sedimentos del río Ocoña (Camaná-Arequipa)

Jorge Delgado-Pacheco, Mg¹, Grace Acevedo-Obando, Mg¹, Jonathan Almirón, Dr², Yosheff Ortiz -Valdivia, Dr², Camila Aguilar-Ccuno, Br² y Danny Tupayachy-Quispe, Dr³

¹Universidad Tecnológica del Perú, Perú, C16220@utp.edu.pe, C16537@utp.edu.pe

²Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú, jalmiron@unsa.edu.pe, yortizv@unsa.edu.pe, caguilarcc@unsa.edu.pe

³Universidad Católica de Santa María, Perú, dtupayachy@ucsm.edu.pe

Abstract– This study aims to analyze the relationship between mercury concentration in the Ocoña River and the presence of mercury in shrimp. For this purpose, samples of water, sediments, and shrimp were taken at three specific locations in the basin: Alto Molino, Secocha, and Urasqui. Mercury concentration results were obtained in mg/kg and mg/L. The average values of mercury in shrimp were 0.0169, 0.0162, and 0.0151 mg/kg, in sediments were 0.0474, 0.0471, and 0.0470 mg/kg, and in surface water were 0.00049, 0.00041, and 0.00038 mg/L for the three locations respectively. The results indicate that the concentration of mercury in shrimp is related to that of sediments, but not with that of surface water in the Ocoña River. This study supports the importance of sediment quality in mercury contamination in shrimp in the Ocoña River basin.

Keywords– Mercury concentration, Ocoña River, shrimp, contamination.

I. INTRODUCCIÓN

La provincia de Camaná, ubicada en la región de Arequipa, Perú, alberga al río Ocoña, conocido por ser uno de los cauces fluviales más caudalosos en la región. No obstante, este río se encuentra inmerso en una problemática ambiental de gran envergadura, la cual afecta tanto a su ecosistema como a las comunidades que dependen de él, siendo la raíz de este problema la intervención humana, concretamente en las actividades mineras informales que liberan vertimientos contaminados hacia sus aguas [1]. La proliferación de vertimientos de residuos mineros ha dado lugar a un problema

ambiental crítico, con una influencia notable en la calidad del agua en la región. Estos vertimientos, cargados de metales pesados, plantean una amenaza sustancial a la biodiversidad acuática de la cuenca del río Ocoña, en particular al camarón (*Cryphiops caementarius*), una especie presente en sus aguas y cuya extracción es el sustento económico de muchos de los pobladores de la zona.

El río Ocoña, con su caudal abundante, ha sido una fuente de subsistencia ancestral para las comunidades locales, suministrando peces, camarones y otros recursos acuáticos esenciales para su dieta y economía. Sin embargo, la contaminación generada por la actividad minera ha comprometido la sostenibilidad de esta fuente de alimento y la salud de quienes dependen de ella. El mercurio, un metal pesado altamente tóxico, es una de las sustancias contaminantes más preocupantes en esta problemática, este metal se utiliza con frecuencia en la recuperación de oro, y su liberación no controlada en los vertimientos mineros constituye una seria amenaza. Una vez liberado en los cuerpos de agua, el mercurio se convierte en metilmercurio, una forma altamente peligrosa que puede ser disuelta en el agua y absorbida por los sedimentos del río [3]. Este proceso de conversión y acumulación puede tener efectos adversos tanto en las aguas del río como en los sedimentos. La problemática de la minería informal cobra particular relevancia en el contexto de la bioacumulación de mercurio en el camarón (*Cryphiops caementarius*) del río Ocoña [4].

El metilmercurio en el agua es peligroso para la salud de los organismos acuáticos y, por extensión, para las cadenas alimentarias locales; a medida que este compuesto se acumula,

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

su presencia en el ecosistema se refleja en la fauna acuática, incluyendo el camarón, un organismo esencial en la dieta de la población local y un eslabón clave en la cadena trófica. Dado que el camarón actúa como un eslabón en la cadena alimentaria, su capacidad de bioacumular mercurio es una preocupación central, ya que esta sustancia puede acumularse en sus tejidos con el tiempo, y posteriormente ser ingerida por seres humanos y otros depredadores acuáticos, generando efectos perjudiciales en la salud de los consumidores y elevando los riesgos asociados a la exposición al mercurio [5].

El trabajo tiene el propósito de examinar la concentración de mercurio en agua superficial y sedimentos del río Ocoña, la investigación pretende demostrar que hay presencia de mercurio, reflejando la contaminación en la cuenca hidrográfica; por lo que se llevó a cabo muestreos en diferentes puntos del río Ocoña. Paralelamente, se recolectaron muestras de camarones con el fin de cuantificar la cantidad de mercurio presente en sus tejidos. El análisis de los datos recopilados permitió establecer relaciones entre la contaminación del río y la concentración de mercurio en los camarones, por ende, la posible amenaza que esto conlleva para la salud de quienes consumen estos organismos [6].

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Ubicación de la Zona de Estudio: Puntos de monitoreo y recolección de muestras

La zona de estudio se encuentra en la quebrada del río Ocoña, la cual se ubica en el sur peruano, abarcando partes de las regiones de Arequipa (provincias de La Unión, Caravelí, Condesuyos y Camaná), Ayacucho (provincias Parinacochas y Paucar del Sara Sara) y Apurímac (provincia de Aymares). Geográficamente se ubica en la longitud Oeste, 72°20', 74°00' con el paralelo 14° 15' y 16° 30' orientada a la latitud Sur, al interior de la cuenca de Ocoña [1], como se puede apreciar en la Fig. 1.



Fig. 1 Cuenca de Ocoña
Extraído de ANA [1]

La investigación se centró en tres centros poblados aledaños a la quebrada del río Ocoña, los cuales pertenecen a la provincia de Camaná, los cuales fueron Alto Molino, Secocha y Urasqui.

Por lo que se definió un punto de monitoreo por cada centro poblado al que se le denominó sector, en donde se realizó la captura de camarón, monitoreo de sedimentos y monitoreo de calidad de agua superficial. Estos son detallados en la Tabla I.

Asimismo, los sectores evaluados son mostrados en la Fig.2.

TABLA I
IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO

Sector	Descripción	Ubicación de coordenadas UTM WGS84	
		Norte	Este
S-1	Sector Alto Molino	8'232,819	697,823
S-2	Sector Secocha	8'231,431	696,187
S-3	Sector Urasqui	8'229,241	695,255



Fig. 2 Sectores de investigación (Alto Molino, Secocha, Urasqui)
Extraído de Google Earth.

B. Evaluación de la concentración de mercurio en agua superficial

La evaluación de la concentración de mercurio en agua superficial se llevó a cabo utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer modelo 5100 con sistema óptico de doble haz, monocromador de doble rendija y fotomultiplicador de amplio rango (189-852nm) y siguiendo el Método 3112-B: Método Espectrométrico de Absorción Atómica de Vapor Frío para medición de mercurio, según el manual " Métodos Estándar para el Examen de Agua y Aguas Residuales. Parte 3000. Edición 23, 2017"

Para esta evaluación, se empleó una muestra por cada sector.

C. Evaluación de la concentración de mercurio en sedimentos

La evaluación de la concentración de mercurio en sedimentos se llevó a cabo utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer modelo 5100, y siguiendo el método 7471B (SW-846) de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) titulado "Mercurio en desechos sólidos o semisólidos (técnica manual de vapor frío)".

Para esta evaluación, se empleó una muestra por cada sector.

D. Evaluación de la concentración de mercurio en camarón

La evaluación de la concentración de mercurio en camarón se llevó a cabo mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frío, utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer modelo 5100 ; y siguiendo el protocolo de laboratorio BHIOS-FQ-008, titulado "Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frío" (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc), Versión 02-2011.

La muestra empleada para dicha evaluación constó de 10 camarones por cada sector.

E. Análisis y evaluación de la correlación estadística

Primero, se definieron las variables de interés, las cuales se pueden apreciar en el siguiente diagrama:

$$X_1 \text{-----} X_2$$

Donde:

X₁: Concentración de mercurio en las aguas y sedimentos del río Ocoña.

X₂: Concentración de mercurio en el camarón.

Debido a ello, en el presente estudio se empleó la evaluación estadística inferencial paramétrica del coeficiente de correlación de Pearson [7], porque las variables independiente y dependiente son cuantitativas, indicando relación lineal de las variables de acuerdo al Baremo anotado en la Tabla II.

TABLA II
BAREMO PARA ESTIMAR LA CORRELACIÓN DEL R DE PEARSON

Coefficiente	Interpretación de relación
r = 1	Positiva perfecta
r = 0.90	Positiva muy fuerte
r = 0.75	Positiva considerable
r = 0.50	Positiva media
r = 0.25	Positiva débil
r = 0.10	Positiva muy débil
r = 0	No existe correlación alguna

Asimismo, para poder contrastar la relación estadística de la data recogida, se empleó los softwares SPSS (Versión 18) y Microsoft Excel.

III. RESULTADOS

A. Análisis de la concentración de mercurio en agua superficial

Tras el análisis químico para mercurio en agua superficial del río Ocoña, se obtuvieron resultados los cuales se encuentran en la Tabla III.

TABLA III
CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN AGUA SUPERFICIAL

Código	Hg Total (mg/L)
S1-01-AG	0.00049
S2-01-AG	0.00041
S3-01-AG	0.00038

B. Análisis de la concentración de mercurio en sedimentos

Tras el análisis químico para mercurio en sedimentos del lecho del río Ocoña, se obtuvieron los siguientes resultados los cuales se encuentran en la Tabla IV.

TABLA IV
CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN SEDIMENTOS

Código	Hg Total (mg/kg)
S1-01-SE	0.0474
S2-01-SE	0.0451
S3-01-SE	0.0470

C. Análisis de la concentración de mercurio en camarón

Tras el análisis químico para mercurio en camarón, se obtuvieron los resultados que son indicados en la Tabla V.

TABLA V
CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN CAMARÓN

Código	Hg Total (mg/kg)	Promedio de Hg Total
S1-01-CA	0.0155	0.0169 (mg/kg)
S1-02-CA	0.0134	
S1-03-CA	0.0153	
S1-04-CA	0.0154	
S1-05-CA	0.0171	
S1-06-CA	0.0182	
S1-07-CA	0.0183	
S1-08-CA	0.0189	
S1-09-CA	0.0191	
S1-10-CA	0.0180	
S2-01-CA	0.0192	0.0162 (mg/kg)
S2-02-CA	0.0119	
S2-03-CA	0.0110	
S2-04-CA	0.0179	
S2-05-CA	0.0198	
S2-06-CA	0.0155	
S2-07-CA	0.0168	
S2-08-CA	0.0163	
S2-09-CA	0.0169	
S2-10-CA	0.0166	
S3-01-CA	0.0161	0.0151 (mg/kg)
S3-02-CA	0.0167	
S3-03-CA	0.0199	
S3-04-CA	0.0178	
S3-05-CA	0.0145	
S3-06-CA	0.0136	
S3-07-CA	0.0127	
S3-08-CA	0.0111	
S3-09-CA	0.0123	
S3-10-CA	0.0166	

D. Análisis estadístico

Para las pruebas estadísticas como de correlación se empleó el software SPSS (Versión 18) como Microsoft Excel.

Prueba estadística de normalidad

Para la prueba estadística de la variable dependiente se empleó el método de Shapiro-Wilk, siendo entonces el número de muestras es menor de 50 mostrado en la Tabla VI.

TABLA VI
PRUEBA DE NORMALIDAD SHAPIRO-WILK

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estad.	gl	Sig.	Estad.	gl	Sig.
Camarón	0.114	30	0.200	0.948	30	0.146

Correlación entre concentración de mercurio en camarón y agua superficial

La correlación entre la variable dependiente concentración de mercurio en camarón y la variable independiente concentración de mercurio en agua superficial se detalla en la Tabla VIII.

TABLA VIII
CORRELACIÓN CAMARÓN CON AGUA SUPERFICIAL

		Camarón	Agua Superficial
Camarón	Correlación de Pearson	1	0.336
	Sig. (bilateral)		0.782
	N	30	3
Agua Superficial	Correlación de Pearson	0.336	1
	Sig. (bilateral)	0.782	
	N	3	3

Correlación entre concentración de mercurio en camarón y sedimentos

La correlación entre la variable dependiente (concentración de mercurio en camarón) y la variable independiente (concentración de mercurio en sedimentos) se detalla en la Tabla VII.

TABLA VII
CORRELACIÓN CAMARÓN CON SEDIMENTOS

		Camarón	Sedimentos
Camarón	Correlación de Pearson	1	0.996
	Sig. (bilateral)		0.049
	N	30	3
Sedimentos	Correlación de Pearson	0.996	1
	Sig. (bilateral)	0.049	
	N	3	3

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A. Resultado de la concentración de mercurio en agua superficial

Según los resultados presentados en la Tabla III, se determina que la concentración de mercurio en agua superficial del río Ocoña es de 0,00049 mg/L para Alto Molino (S1-01-AG), 0,00041 mg/L para Secocha (S2-01-AG) y 0,00038 mg/L para Urasqui (S3-01-AG).

El rango de las concentraciones encontradas en la presente investigación se encuentra por debajo del valor límite señalado en el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua, de

acuerdo al D. S. N° 004-2017-MINAM, Categoría 3 cuyo valor límite es de 0,001 mg/L [8].

Asimismo, los resultados hallados en esta investigación son propios del año 2020, los cuales son significativamente menores a los identificados en una investigación realizada por D. Medina en el mismo sector en el año 2019 [9], que señala una concentración de mercurio de 0.0013 mg/L la cual si sobrepasa el valor límite del ECA; en donde indica además que este valor elevado es producto de que la zona evaluada se encuentra debajo del poblado de Secocha donde se identificó una mayor actividad por parte de la minería informal a pesar de que esta se encuentre en toda la cuenca.

La Fig. 3 ilustra la concentración de mercurio en agua superficial del río Ocoña en comparación al ECA para agua.

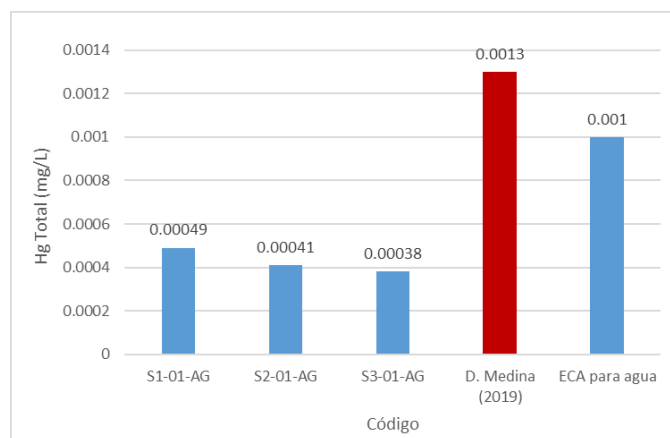


Fig. 3 Concentración de mercurio en agua superficial del río Ocoña

Y si bien este es un sector minero informal, en el cual se libera mercurio al ambiente debido al proceso de amalgamación del metal con el oro durante todo el año, de acuerdo a la investigación de M. Corrales en el año 2021 [10] en donde los niveles de mercurio en el río Ocoña fueron no detectables, señalando que estas concentraciones son menores debido a la reducción del trabajo en las minas debido a la pandemia por COVID-19, pero también señala que la reducción del contaminante no solo podría estar ligada a un menor vertido de este en el río, sino que este ha podido depositarse en sedimentos o en especies biológicas.

B. Resultado de la concentración de mercurio en sedimentos

Según los resultados presentados en la Tabla IV, se determina que la concentración de mercurio en sedimentos del río Ocoña es de 0,0474 mg/kg para Alto Molino (S1-01-SE), 0,0451 mg/kg para Secocha (S2-01-SE) y 0,047 mg/kg para Urasqui (S3-01-SE).

El rango de los valores encontrados se encuentra en nivel inferior al valor límite señalado para la evaluación de calidad de sedimentos establecido por las tablas de referencia rápida de detección (SQiRTs) elaboradas por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA) [11], que indica que el Nivel de Efectos Umbral (TEL) es de 0,13 mg/kg y el Nivel Probable de Efectos (PEL) es de 0,7 mg/kg. En la investigación de D. Medina [9], analizó

también la concentración de mercurio en sedimentos del mismo sector, en donde se encontró una concentración de 0.06 mg/kg la cual, si es superior a los valores hallados en la presente investigación, es menor a los rangos de TEL y PEL. En la Fig. 4 se ilustra la concentración de mercurio en agua superficial del río Ocoña en comparación a los rangos TEL y PEL.

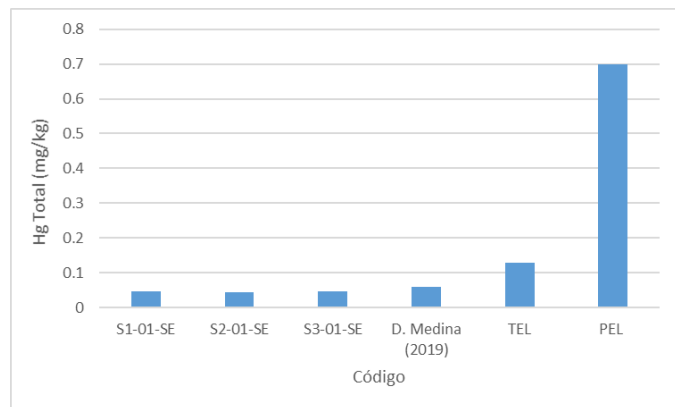


Fig. 4 Concentración de mercurio en sedimentos del río Ocoña en función de los rangos TEL y PEL

Como se pudo apreciar en la Fig. 4, los niveles de mercurio en agua en el año 2019 sobrepasan el ECA para agua [9], mientras que en la Fig. 4 la concentración del contaminante en el sedimento es por mucho menor a los valores límites de TEL y PEL, por lo que es posible que el metal pesado esté siendo arrastrado por el agua o peor, siendo absorbido por especies biológicas como el camarón debido a la afinidad del contaminante con la materia orgánica, hecho que se aprecia en la Fig.5 para la concentración hallada en el año 2018 [14], año próximo y en donde se llevaban las actividades propias de la minería informal de manera normal.

C. Resultado de la concentración de mercurio en camarón

Según los resultados presentados en la Tabla V, se determina que la concentración de mercurio en camarón del río Ocoña oscila en el intervalo de 0,0110 a 0,0199 mg/kg, con promedios de 0,0169 mg/kg para Alto Molino (S1-CA), 0,0162 mg/kg para Secocha (S2-CA) y 0,0151 mg/kg para Urasqui (S3-CA). Los resultados obtenidos se sitúan por debajo del intervalo especificado en la Resolución Ejecutiva N° 057-2016-SANIPES-DE, la cual aprueba el manual de Indicadores Sanitarios y de Inocuidad para los productos Pesqueros y Acuícolas destinados tanto al mercado nacional como de exportación. Según esta normativa, el contenido máximo de mercurio permitido debe ser menor a 0.5 mg/kg, al igual que en el Codex Alimentarius elaborado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y agricultura (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) [12], como en el Reglamento de la Unión Europea 2023/915 relativo a los límites máximos de determinados contaminantes en los alimentos [13]. En consecuencia, los camarones muestreados cumplen con los requisitos establecidos y pueden considerarse aptos para el consumo humano.

Los tres resultados promedio detallados en la línea precedente son aproximadamente significativamente menores a los señalados en la investigación realizada en el año 2018 por C. Monroy [14], que indica una concentración de Hg de 0.51 mg/kg, en el camarón del río Ocoña sobrepasando los valores permisibles para consumo de las tres normas previamente mencionadas que es de 0.5 mg/kg; así como también en una investigación similar realizada por M. Corrales en 2021 indica que la concentración de Hg en camarón es de 0.56 mg/kg [10]. Este comportamiento se representa gráficamente en la Fig. 5.

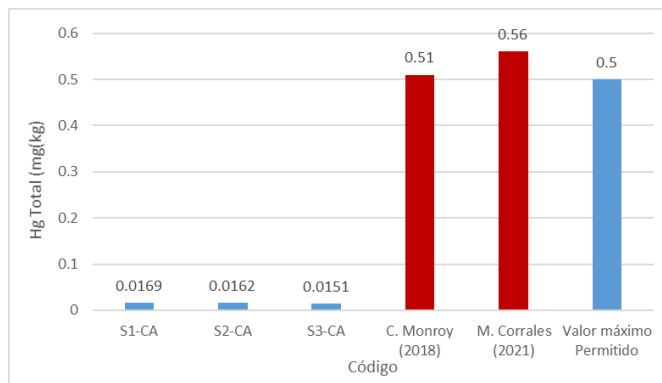


Fig. 5 Concentración de mercurio en camarón del río Ocoña en función del valor máximo determinado por SANIPES

Si bien de acuerdo a C. Monroy los niveles son superiores [14], estos son congruentes con el nivel de contaminación en la zona de estudio debido a la incidencia de la minería informal e incluso otros sectores como el agrícola, además de que los valores obtenidos en la presente investigación no sobrepasan el valor límite de SANIPES como tampoco lo sobrepasan en los análisis de agua superficial respecto a ECA y sedimentos con los rangos TEL y PEL. Hecho que no se vio reflejado en la investigación de M. Corrales [10], la cual afirma que, al no haber concentraciones detectables en agua, esta debía de haberse depositado bien en sedimentos y sobre todo en los camarones, debido a la capacidad del mercurio y metilmercurio a bioacumularse en las especies biológicas.

D. Resultados de la correlación de concentración de mercurio en camarón y agua superficial

Recibiendo los datos anotados en la Tabla VIII; se establece que el p-valor es $>0,05$; y considerando la hipótesis de la investigación: A mayor concentración de mercurio en aguas y sedimentos del río Ocoña, mayor concentración de mercurio en el camarón (*cryphiops caementarius*). Entonces se rechaza la hipótesis de la investigación, porque el p-valor = $0,782 > 0,05$; existiendo bastante convicción estadística para verificar que la variable X_2 concentración de mercurio en camarón no está relacionado con la variable X_1 contaminación del río Ocoña en la dimensión concentración de mercurio en agua superficial.

Adicionalmente frente al valor del coeficiente calculado de correlación de Pearson = 0,336 indica una correlación positiva débil, según lo que se anota en el baremo de la Tabla II, a un nivel de significancia del 95% indicado en la Tabla VIII.

E. Resultados de la correlación de concentración de mercurio en camarón y sedimentos

Recibiendo los datos anotados en la Tabla VII; se establece que el p-valor es <0.05 ; y considerando la hipótesis de la investigación: A mayor concentración de mercurio en aguas y sedimentos del río Ocoña, mayor concentración de mercurio en el camarón (*Cryphiops caementarius*). Entonces se acepta la hipótesis de la investigación, porque el p-valor = $0,049 < 0,05$; existiendo bastante convicción estadística para verificar que la variable X_2 concentración de mercurio en camarón está relacionado con la variable X_1 contaminación del río Ocoña en la dimensión concentración de mercurio en sedimentos.

Adicionalmente frente al valor del coeficiente calculado de correlación de Pearson $r = 0,997$, lo cual indica una relación ‘positiva muy fuerte’, según lo que se anota en el Baremo de la Tabla II, a un nivel de significancia del 95% indicado en la Tabla VII.

V. CONCLUSIONES

Los resultados revelan concentraciones de mercurio en sedimentos del río Ocoña de 0,00049 mg/L para Alto Molino (S1-01-AG), 0,00047 mg/L para Secocha (S2-01-AG), y 0,00038 mg/L para Urasqui (S3-01-AG). Estos valores están por debajo del límite establecido en el Estándar de Calidad Ambiental, para agua (0,001 mg/L), según el D. S. N° 004-2017-MINAM, Categoría 3. La reducción de las concentraciones respecto a los datos de D. Medina en 2019, donde se reportó 0.0013 mg/L, sugiere una disminución de la contaminación durante la pandemia, respaldando hallazgos similares en la investigación de M. Corrales en 2021.

En cuanto a los niveles de mercurio en sedimentos, se registraron 0,0474 mg/kg para Alto Molino (S1-01-SE), 0,0451 mg/kg para Secocha (S2-01-SE), y 0,047 mg/kg para Urasqui (S3-01-SE). Estos valores están por debajo de los límites de la NOAA, con un Nivel de Efectos Umbral de 0,13 mg/kg y un Nivel Probable de Efectos de 0,7 mg/kg. La reducción de las concentraciones en comparación con la investigación de D. Medina en 2019, que reportó 0.06 mg/kg, destaca la mejora en la calidad de los sedimentos. La conexión entre la disminución de la actividad minera y la reducción de mercurio en el agua se refuerza con estos resultados.

Respecto a la concentración de mercurio en camarones, los valores oscilan entre 0,0110 y 0,0199 mg/kg, con promedios de 0,0169 mg/kg para Alto Molino (S1-CA), 0,0162 mg/kg para Secocha (S2-CA), y 0,0151 mg/kg para Urasqui (S3-CA). Estos resultados cumplen con los estándares de la Resolución Ejecutiva N° 057-2016-SANIPES-DE y normativas internacionales de la FAO y la Unión Europea, permitiendo considerar los camarones aptos para el consumo humano.

La correlación estadística entre las concentraciones de mercurio en camarones y sedimentos respalda la hipótesis de que mayores concentraciones en aguas y sedimentos del río Ocoña se traducen en mayores concentraciones en camarones. La relación positiva fuerte, indicada por el coeficiente de correlación de Pearson $r = 0,997$, fortalece la validez de esta asociación.

Sin embargo, la correlación con la concentración de mercurio en agua superficial no muestra una relación significativa, con un p-valor $> 0,05$ y un coeficiente de correlación de Pearson de 0,336, sugiriendo una débil asociación. Este hallazgo destaca la importancia de considerar múltiples factores, como la sedimentación y la bioacumulación, al evaluar la contaminación por mercurio en los ecosistemas acuáticos.

AGRADECIMIENTOS

A K. Mere y M. Ccapa por su valiosa dedicación y colaboración en la presente investigación.

REFERENCIAS

- [1] ANA, “Evaluación de Recursos Hídricos en la Cuenca de Ocoña, Arequipa”, Perú: Autoridad Nacional del Agua, 2015.
- [2] P. Petro, “Informe Socioambiental de la zona costera Lote Z-59” [En línea]. Available: <https://www.perupetro.com.pe>.
- [3] A. Loza y Y. Ccancapa, “Mercurio en un arroyo altoandino con alto impacto por minería aurífera artesanal (La Rinconada, Puno, Perú)”, *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 36, no 1, pp. 33-44, 2020.
- [4] O. Hernández, F. Castro y M. Páez, “Bioacumulación de mercurio en larvas de anuros en la zona afectada por la minería de oro en el río Dagua, Buenaventura, Valle del Cauca, Colombia”, *Acta Biológica Colombiana*, vol. 28, no 2, pp. 341-348, 2013.
- [5] S. Vargas y J. Negrete, “Mercurio, metilmercurio y otros metales pesados en Colombia: Riesgo por ingesta”, *Acta Biológica Colombiana*, vol. 24, n° 2, pp. 232-234, 2019.
- [6] G. Panduro, G.C. Rengifo, J.L. Barreto, A. Arbaizapeña, J. Iannacone, L. Alvarino y B. Crnobrna, “Bioacumulación por mercurio en peces y riesgo por ingesta en una comunidad nativa en la amazonia peruana”, *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, vol. 31, no 3, 2020.
- [7] R. Laino, R. Bello, M. González, N. Ramírez, F. Jiménez y K. Musálem, “Concentración de metales en agua y sedimentos de la cuenca alta del río Grijalva, frontera México-Guatemala”, *Tecnología y ciencias del agua*, vol. 6, no. 4, pp. 61-74, 2015.
- [8] MINAM, “D.S. N° 004-2017-MINAM Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias”, Perú: Ministerio Nacional del Ambiente, 2017.
- [9] D. Medina, “Determinación de los aspectos ambientales que afectan a la población de camarón de río (*Cryphiops caementarius*) en el río Ocoña - Región Arequipa”, Perú.: Universidad Nacional de San Agustín, 2019.
- [10] M. Corrales, “Monitoreo de metales pesados y metaloides en *Cryphiops caementarius* (Camarón), y en aguas de los ríos Ocoña, Majes y Tambo”, Perú: Universidad Católica de Santa María, 2021
- [11] M. Buchman, “Screening Quick Reference Tables (SQURTs)”, Washington: NOAA OR & Report 08-1, 2008.
- [12] FAO/OMS, “Codex Alimentarius: Programa Conjunto de la FAO/OMS sobre normas alimentarias – Comité del Codex sobre aditivos y contaminantes de alimentos 37° edición”, Países Bajos: Programa conjunto FAO/OMS, 2005
- [13] Unión Europea, “Reglamento (UE) 2023/915 de la Comisión de 25 de abril de 2023 relativo a los límites máximos de determinados contaminantes en los alimentos y por el que se deroga el Reglamento (CE) no 1881/2006”, EUR-Lex. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex%3A32023R0915>
- [14] C. Monroy, “Niveles de Metales Pesados Cromo, Arsénico, Plomo y Mercurio en Cefalotórax de *Cryphiops Caementarius* (Camarón) en los Ríos Ocoña, Majes y Tambo Arequipa”, Perú: Universidad Católica de Santa María, 2018