

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), septiembre-octubre 2025,
Volumen 9, Número 5.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i5

**METALES PESADOS EN SULA VARIEGATA
(TSCHUDI, 1843) EN LA ZONA DE INFLUENCIA DE
LAS ACTIVIDADES MINERAS EN MARCONA,
PERÚ. 2025**

HEAVY METALS IN SULA VARIEGATA (TSCHUDI, 1843) IN THE
AREA OF INFLUENCE OF MINING ACTIVITIES IN MARCONA,
PERU. 2025

Leidy Milady Ramos Alarcón

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, UPG FIGMMG

Elmer Gonzales Benites Alfaro

Fundación Universitaria Comoensar

Juan Alberto Pisconte Vilca

Fundación Universitaria Comoensar

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i5.19684

Metales pesados en *Sula variegata* (tschudi, 1843) en la zona de influencia de las actividades mineras en Marcona, Perú. 2025

Leidy Milady Ramos Alarcón¹leidy.ramos1@unmsm.edu.pe<https://orcid.org/0000-0002-7568-0421>Universidad Nacional Mayor de San Marcos,
UPG FIGMMG
Perú**Elmer Gonzales Benites Alfaro**ebenitesa@ucv.edu.pe<https://orcid.org/0000-0003-1504-2089>Universidad César Vallejo, Facultad de
Ingeniería, Escuela de Ingeniería Ambiental
Perú**Juan Alberto Pisconte Vilca**juan.pisconte@unica.edu.pe<https://orcid.org/0000-0003-3519-0900>Universidad Nacional San Luis Gonzaga,
Facultad de Ciencias Biológicas
Perú

RESUMEN

La minería dispersa material que contamina ecosistemas y la biota existente. Se determinó la concentración de metales pesados en plumas de *Sula variegata* "piquero peruano". Se colectó la carcasa de aves en diciembre 2023 y marzo 2025; de cada una se obtuvo 100 gr de plumas, luego fueron colocadas en bolsas plásticas de primer uso y enviadas a un laboratorio certificado para analizar la concentración de metales pesados con el Espectrofotómetro de absorción atómica. Se encontró presencia de Arsénico, Cadmio, Cobalto, Cromo, Cobre, Hierro y Manganeseo, registrándose la mayor concentración promedio de As en la carcasa aves de playa La Ensenada; el Cd, Co, Cr, Cu, Fe y Mn tienen valores altos en especímenes de playa Conchal, destacando Fe (4760.8 mg/kg) y Cu (12.53 mg/Kg). El análisis de Kruskal -Wallis muestra que, no existe diferencia significativa en la concentración de metales pesados en las plumas colectadas en las zonas de estudio. Se concluye que, la dispersión de metales pesados es similar en todas las zonas, debido a los vientos, topografía y embarque de mineral en el puerto San Nicolás; asimismo, las altas concentraciones de metales pesados encontradas, son una amenaza potencial para la salud de la avifauna marina.

Palabras clave: sula variegata, plumas, metales pesados, concentración

¹ Autor principal.

Correspondencia: leidy.ramos1@unmsm.edu.pe

Heavy metals in *Sula variegata* (Tschudi, 1843) in the area of influence of mining activities in Marcona, Peru. 2025

ABSTRACT

Mining disperses material that contaminates ecosystems and existing biota. Heavy metal concentrations were determined in the feathers of the Peruvian booby, *Sula variegata*. Bird carcasses were collected in December 2023 and March 2025; 100 grams of feathers were obtained from each carcass. These were then placed in disposable plastic bags and sent to a certified laboratory for analysis of heavy metal concentrations using an atomic absorption spectrophotometer. The presence of arsenic, cadmium, cobalt, chromium, copper, iron, and manganese was found, with the highest average concentration of As recorded in the carcasses of birds from La Ensenada beach; Cd, Co, Cr, Cu, Fe, and Mn had high values in specimens from Conchal beach, with Fe (4760.8 mg/kg) and Cu (12.53 mg/kg) standing out. The Kruskal-Wallis analysis shows no significant differences in the concentration of heavy metals in feathers collected across the study areas. It is concluded that the dispersion of heavy metals is similar in all areas due to winds, topography, and ore loading at the port of San Nicolás. Furthermore, the high concentrations of heavy metals found pose a potential threat to the health of marine birds.

Keywords: *sula variegata*, feathers, heavy metals, concentration

Artículo recibido 09 agosto 2025

Aceptado para publicación: 13 septiembre 2025



INTRODUCCIÓN

Las especies endémicas de corrientes o regiones particulares de los océanos del mundo suelen estar en mayor riesgo debido a la sobrepesca, la contaminación o los impactos del cambio climático, tal es el caso del “piquero peruano” *Sula variegata*, una especie endémica del sistema de afloramiento de la corriente de Humboldt (Taylor et al., 2010). Esta especie se distribuye en islas, islotes, acantilados y roqueríos de la Reserva Nacional San Fernando (SERNANP, 2019).

En Marcona (distrito de Nazca, departamento de Ica) se localizan las empresas mineras Shougang Hierro Perú S.A.A, y Marcobre S.A.C, que realizan la explotación mineral a tajo abierto generando polvos que contaminan el aire (Vector Perú SAC, 2009 a, b). Ali & Khan, (2018) mencionan que, los polvos provenientes de la actividad minera se dispersan y concentran en diversos ecosistemas, existiendo un riesgo potencial a la biota existente, debido a que los metales pesados se transfieren en la cadena trófica, se bioacumulan y biomagnifican, especialmente en especies residentes. De otro lado, la zona marino costera, ubicada a pocos kilómetros de la zona de intervención minera, sirve de refugio y descanso y alimentación de *Sula variegata* “Piquero peruano”, considerada como una especie en peligro (EN) según el Decreto Supremo N°004 - 2014 – MINAGRI.

En relación a la explotación minera, Kaigorodova y Smirnov, (2007) señalan que esta causa impactos en la zona de intervención y terrenos aledaños, acumulando polvos con metales pesados por el arrastre aéreo y la intensidad de la explotación; también influyen las condiciones locales del área y las características de la superficie (Silva & Arcos, 2011), siendo depositados en los suelos a muchos kilómetros de distancia (García et al., 2002).

Los metales pesados son elementos químicos con densidad igual o superior a 5 g cm^{-3} en su forma elemental, o con número atómico superior a 20 (excepto los metales alcalinos y alcalinotérreos) (Navarro-Aviñó et al., 2007); se encuentran como sustancias simples o combinadas y debido a su no biodegradabilidad, movilidad, biodisponibilidad y toxicidad causan alteraciones ambientales, afectando la fisiología de todo ser vivo (Hernández, 2021). La contaminación por metales pesados es causada principalmente por actividades antropogénicas, siendo la minería una de las principales fuentes de contaminación (Covarrubias & Peña, 2017). La alta toxicidad de estos elementos químicos impacta en la salud humana y provoca daños irreversibles en la flora, fauna y medio ambiente en



general (Correa et al., 2021).

Mediante la ingestión de alimentos, agua contaminada, inhalación de aire contaminado, así como el contacto dérmico, las aves están expuestas y acumulan metales pesados en diversos órganos (Li y Ding, 2007; Varagiya et al., 2021); los riñones e hígado acumulan niveles máximos y las plumas, bajas concentraciones (Khwankitrittikul, et al., 2024). A pesar de ello, las plumas continúan usándose en el monitoreo ambiental, ya que la vía de captación de metales pesados empieza en estas estructuras, luego se desplazan al hígado y riñón para ser depurados (Janaydeh et al., 2016). Las plumas al estar conectadas con los vasos sanguíneos, incorporan los metales en la estructura de la queratina (Pérez et al., 2005; Diamond y Devlin, 2003); cuando deja de crecer, la pluma es sellada y deja de tener interacción con la fisiología del ave, permitiendo reflejar los metales acumulados durante la época de crecimiento o muda (Dauwe et al., 2003; Nam et al., 2005; Burger et al., 2008). Los metales pesados en las aves pueden suprimir su sistema inmune, afectar negativamente el sistema endocrino, causar disfunciones reproductivas, disminución de la tasa de crecimiento en polluelos (Malik et al., 2009; Swaileh, 2006; Ek, 2004).

Algunas investigaciones realizadas indican fugas de material particulado proveniente del stock de crudos y stock de concentrado de hierro de la planta de Marcona, y que por falta de control ambiental y acción del viento se dispersan (Rojas, 2019); asimismo, SERNANP, (2019) menciona que, la empresa minera Shougang Hierro Perú S.A.A, trabaja a cielo abierto y genera dispersión de contaminantes aéreos; sin embargo, no se han realizado investigaciones que demuestren la presencia de metales pesados en especies que habitan los ecosistemas circundantes. El objetivo de la investigación fue determinar la concentración de metales pesados en plumas de aves muertas de la especie *Sula variegata* colectadas en la zona marino costera, cerca al área de influencia del centro de operaciones mineras en Marcona.

La investigación aporta información sobre la exposición de esta ave marina a la contaminación por metales pesados provenientes de las actividades mineras que se desarrollan en la zona de estudio.



METODOLOGÍA

Área de estudio.

La investigación se desarrolló en el litoral marino costero ubicado en la zona de influencia de las actividades mineras en Marcona. Comprende 4 zonas (playas), las que fueron georreferenciadas con GPS Garmin (Tabla 1, Figura 1):

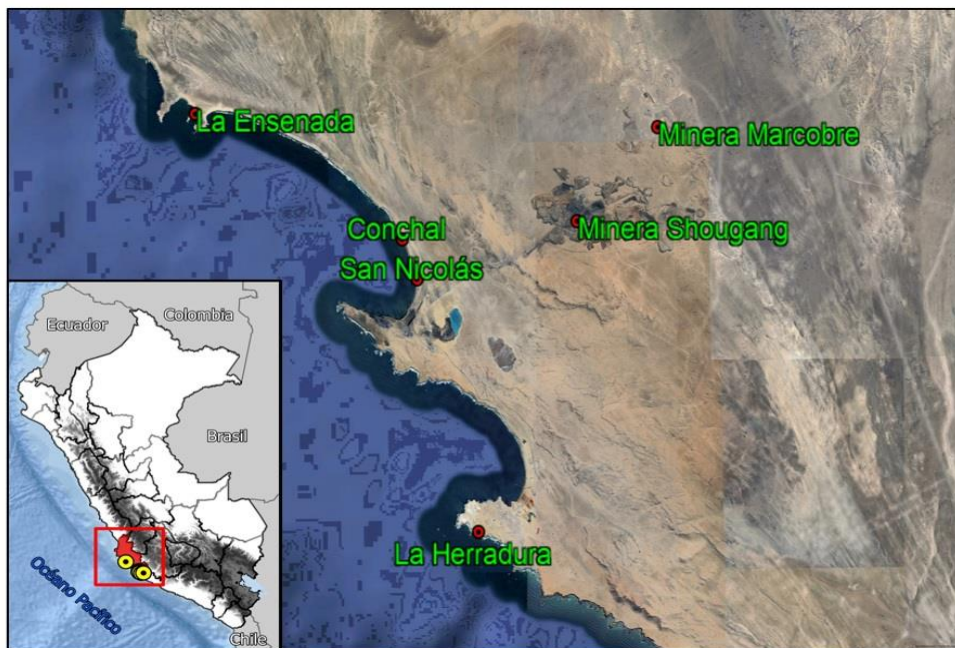
- 1) **Playa la ensenada.** Tiene una longitud de 700 m. Presenta fuertes vientos, rodeada por pequeños acantilados. El suelo es arenoso con conchuelas molidas y guijarros con algas en su superficie.
- 2) **Playa Conchal.** Tiene una longitud de 300 m. Playa arenosa con presencia de valvas trituradas de moluscos. Los vientos son fuertes.
- 3) **Playa San Nicolás.** Tiene una longitud de 300 m. Playa arenosa con zonas de canto rodado. Los vientos son moderados.
- 4) **Playa La Herradura.** Mide 200 m de longitud está rodeada de pequeños acantilados; presenta vientos de moderada intensidad. El suelo es arenoso y rocoso.

Las condiciones climatológicas en Marcona están determinadas por la temperatura que fluctúa entre los 14°C a 30°C, con promedio de 18°C a 23°C. Predominan vientos con arenas que van a una velocidad máxima de 8m/s y una mínima de 1. 8m/s; la humedad relativa varía de 85 % a 34.6%.

Tabla 1. Ubicación de las zonas de estudio.

Playa	Coordenadas		
Ensenada	18 L	462501.00 m E	8325289.00 m S
Conchal	18 L	475903.00 m E	8317805.00 m S
San Nicolás	18 L	476843.00 m E	8315448.00 m S
La Herradura	18 L	480719.00 m E	8300552.00 m S

Figura 1. Zona de muestreos del área de estudio.



Recolección y determinación de metales pesados.

Se recorrió la zona marino costera de Marcona en dos periodos de quince días cada uno (diciembre 2023 y marzo 2025). Se realizó la colecta de plumas de 8 aves muertas encontradas en la orilla de playa. De cada espécimen se colectó 100 gramos de plumas, las que fueron colocadas en bolsas plásticas con cierre hermético, previamente rotuladas, para ser enviadas a un laboratorio certificado. La concentración de metales pesados se determinó con el Espectrofotómetro de absorción atómica.

Análisis estadístico.

Para determinar si las concentraciones medias de los metales pesados difieren entre zonas se realizó la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov (Tabla 2), estimándose un p-valor = 0.000 con una significancia de 5 % ($p < 0.05$); posteriormente se utilizó la prueba de Kruskal -Wallis. En estos análisis se utilizó el estadígrafo SPSS versión 26.0.

Tabla 2. Estimaciones de la prueba de normalidad.

Variable	Kolmogorov-Smirnov		
	Estadístico	gl	Sig.
Concentración de metales pesados	0.444	56	0.000

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 3 muestra la concentración de metales pesados encontrados en las plumas de los especímenes colectados en cada zona de estudio. La mayor concentración de Arsénico se registró en playa La Ensenada (0.32 mg/kg en promedio), zona ubicada en la Reserva Nacional San Fernando. Los valores de las concentraciones registradas superan los estándares de calidad del aire (0.023 ug/m³), según lo establecido en el Decreto Supremo N°011-2023-MINAM. Este metal pesado se encuentra en los minerales sulfurados de cobre; es altamente contaminante y tóxico; su presencia es muy nociva para el medio ambiente y los seres vivos (Bazán et al., 2015), especialmente para las aves, tal como lo reportan Acuña et al., (1994) quienes mencionan que, estudios realizados en aves domésticas muestran que, el Arsénico provoca mortalidad de embriones y anomalías como ausencia de plumas, retardo del desarrollo, evisceración y anomalías en el esqueleto, deformación del pico, acrania y edema, lo cual sería perjudicial para la especie *Sula variegata*.

Los procesos de minería, fundición y refinación aportan con Cadmio al medio ambiente; su alta toxicidad es una señal de alerta en los estudios ambientales, ya que puede degradar rápidamente los recursos naturales y poner en peligro el bienestar de los organismos vivos (Yaciuk et al., 2022). Durante el estudio, la mayor concentración de este metal (0.565 mg/kg en promedio), se registró en playa Conchal. Estos valores superan los estándares de calidad del aire (0.09 ug/m³), según lo establecido en el Decreto Supremo N°011-2023-MINAM. Algunos estudios en aves muestran que, este metal es absorbido a través del sistema digestivo y respiratorio, formando complejos con las proteínas que facilitan su transporte y almacenamiento en órganos como el hígado, riñones y en menores cantidades, en páncreas, hueso e intestino (Szymczyk & Zalewski, 2003). Puede producir cambios a nivel histológico en riñón, hígado, tracto gastrointestinal, corazón, vasos sanguíneos y médula ósea; asimismo, induce hipoplasia testicular e inhibe la espermatogénesis produciendo esterilidad de los machos (Mayack et al., 1981); además provoca la alteración de la homeostasis del calcio y potasio, con cambios en la composición de las membranas celulares (Hernández, 2010) ; provoca retraso en el crecimiento, descenso de la producción de huevos, adelgazamiento de la cáscara del huevo y alteraciones comportamentales (Pérez et al. 2005); por tal motivo debe continuarse con el monitoreo de este metal.



El Cobalto se presenta en al menos dos segmentos del cinturón de yacimientos IOCG (Óxidos de Hierro, Cobre y Oro) de la costa, entre Lima e Ica (Bendezú, 2023); se recupera como subproducto durante los procesos extractivos de otros metales, esencialmente, cobre o níquel (Barán 2018). Este elemento químico llega al medio ambiente a través del polvo en suspensión o desde las zonas mineras; una vez que entra al medio ambiente, no puede ser destruido (Farjana et al., 2019). La máxima concentración promedio de Cobalto (1.105 mg/Kg) se presentó en playa Conchal. Aunque no se tienen valores referenciales de contaminación por Cobalto en aves, Neathery & Miller, (1979) señalan que en pollos señalan, el suministro de dietas con cantidades superiores a 5 ppm (5mg/kg) de Cobalto, provoca un retraso en el crecimiento, su presencia en la zona estaría asociada a la minería de Cobre que se realiza en Marcona.

La mayor concentración promedio de Cromo (6.87 mg/kg) se registró en playa Conchal; este metal es considerado un contaminante tóxico y una amenaza significativa para el medio ambiente; por otro lado, una exposición excesiva podría provocar mayores niveles de acumulación en los tejidos humanos y animales (Prasad et al., 2021). En el caso de las aves, Tsipoura et al., (2010) mencionan que, en la especie *Branta canadensis* “Ganso canadiense” presentó una concentración de 1.36 ± 0.24 mg/kg de Cromo en las plumas y consideran que la concentración de 4 mg/Kg son indicadores de contaminación; en este contexto, los niveles de concentración encontrados indicarían contaminación por Cromo.

El Cobre es un elemento traza esencial encontrado en todos los órganos y células; es importante en la regulación de las reacciones redox, respiración y formación de cartílagos (Ellingsen et al., 2015). Las mayores concentraciones promedio de Cobre (12.53 mg/kg) se registró en playa Conchal; su presencia guarda relación directa con extracción de este mineral en Marcona. Aunque la información sobre las concentraciones de cobre en aves marinas es escasa, Pérez et al., (2005) reporta concentraciones de este metal en plumas de las especies “Arao común” *Uria aalge* (0.516 mg/Kg), “Frailecillo común” *Fratercula arctica* (0.533 mg/Kg) y “Alca común” *Alca torda* (0.533 mg/Kg). Por otro lado, los valores hepáticos de Cu en distintos estudios han reportado concentraciones de hasta 10 mg/kg en peso fresco (Savinov, et al., 2003; Lock et al., 1992); sin embargo, un incremento en los niveles puede causar daños en el hígado, riñón y cerebro (Ellingsen et al., 2015); asimismo puede exacerbar los

efectos tóxicos causados por el plomo (Eisler, 1988). En este orden de ideas, las aves marinas como el “piquero peruano” estarían expuestas a contaminación por cobre y que podrían afectar la salud de sus poblaciones.

La mayor concentración de Hierro (4760.8 mg/Kg) se localiza en playa conchal, y es generado por las actividades mineras que se realizan en Marcona. El Hierro puede formar radicales derivados de oxígeno (ROS) que participan en reacciones de óxido – reducción, donde los radicales aceptan electrones de otras moléculas reduciéndose, mientras que estas moléculas donadoras quedan oxidadas, convirtiéndose en radicales libres secundarios, creando una reacción en cadena que puede causar daños biológicos mediante un proceso oxidativo en cascada (Costantini, 2008). Los valores registrados son de mucha preocupación y se debe continuar con estudios específicos a fin de determinar su impacto en la salud aviar.

Investigaciones en aves muestran que, tanto el hierro como el cobre generan radicales hidroxilos que producen toxicidad en las mitocondrias, microsomas y peroxisomas. La exposición a metales pesados por largos periodos puede disminuir los niveles de carotenoides, reducir la esperanza de vida, bajo rendimiento reproductivo, disminución del canto y brillo de las plumas. En una intoxicación por estos metales pesados se observa anemia, letargo, postración, depresión, debilidad, convulsiones y coma; asimismo, en el tracto gastrointestinal se pueden observar úlceras, necrosis y congestión de la capa proventricular y ventricular (Samanta & Bandyopadhyay, 2017), en el caso de Marcona, las operaciones mineras generan material particulado que se dispersa rápidamente en el área de influencia y estaría afectando la salud de las comunidades de aves marinas.

El Manganeseo se presenta en mayor concentración en playa Conchal (36.95 mg/Kg). Estos valores son superiores a los reportados por Navarro (2010) para la especie *Phalacrocorax carbo sinensis* (12.299 ug/g); asimismo, los elevados niveles encontrados en pluma pueden deberse a las necesidades de manganeseo en la pigmentación de las plumas (Klasing, 1998). El alto contenido de este metal puede causar dificultad en la síntesis de hemoglobina y el depósito de calcio y fósforo en los huesos; puede dañar una parte del cerebro que ayuda a coordinar los movimientos además de almacenarse en el hígado y en el sistema nervioso (Sánchez, 2022), por lo que se debe adoptar medidas que mitiguen el impacto de estos metales en los ecosistemas de Marcona, especialmente en los organismos que lo



habitan.

Tabla 3. Metales pesados: As (Arsénico), Cd (Cadmio), Co (Cobalto), Cr (Cromo), Cu (Cobre), Fe (Hierro), Mn (Manganeso).

Zona	Especimen	Metal pesado (mg/Kg)						
		As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn
Playa Conchal	E1	0.001	0.70	1.12	9.42	13.74	4438.14	32.77
	E2	0.001	0.43	1.09	4.32	11.32	5083.55	41.13
	Promedio	0.001	0.565	1.105	6.87	12.53	4760.8	36.95
La Herradura	E1	0.12	0.25	0.23	0.28	6.26	506.43	7.05
	E2	0.29	0.15	0.22	0.16	5.50	436.82	5.75
	Promedio	0.21	0.20	0.23	0.22	5.88	471.63	6.40
San Nicolás	E1	0.30	0.16	0.20	0.18	5.52	486.62	5.52
	E2	0.23	0.12	0.20	0.23	8.47	438.14	7.73
	Promedio	0.27	0.14	0.20	0.21	7.00	462.38	6.63
La Ensenada	E1	0.33	0.23	0.49	0.96	10.21	908.10	12.42
	E2	0.30	0.20	0.50	1.13	9.48	862.47	16.65
	Promedio	0.32	0.22	0.50	1.05	9.85	885.29	14.54

Los especímenes colectados en playa Conchal presentan altas concentraciones de metales pesados en plumas, probablemente porque dicha playa se encuentra a poca distancia del centro de operaciones mineras (8.6 km); asimismo, se encuentra frente al puerto San Nicolás, donde se realiza el embarque del mineral extraído para exportación, y es una zona expuesta a fuertes vientos que estarían contribuyendo a la dispersión de partículas con material contaminante. Sin embargo, el análisis de Kruskal -Wallis muestra que no existe diferencia significativa ($p = 0.564$; $p > 0.005$) en la concentración de metales pesados encontrados en las plumas colectadas en las zonas de estudio (Tabla 4).

Tabla 4. Resultados del análisis de Kruskal -Wallis

Variables	Resultados
Chi-cuadrado	0.333
gl	1
Sig. asintótica	0.564

En relación a la emisión de contaminantes, García et al., (2002) señalan que, las actividades mineras generan polvo que puede ser depositado en los suelos a muchos kilómetros de distancia; del mismo modo señala que, en las áreas mineras, las capas superiores del suelo presentan elevadas concentraciones de Cu, Ni, As, Se, Fe y Cd. De otro lado, Grantz et al., (2003), señalan que, el material particulado en suspensión, proveniente de los relaves mineros pueden ser transportados a distancias entre 1,000 y 10,000 Km o más desde su origen; asimismo, la topografía del lugar determina la velocidad y dirección de un contaminante, siendo mayor en terrenos planos; la magnitud de la dispersión guarda relación con el viento (Lobo, 2010); por tal motivo podemos suponer que los metales pesados encontrados en la presente investigación, están asociados a las operaciones mineras que se desarrollan en Marcona. Por otro lado, la dispersión de metales pesados no solo se presenta en los ecosistemas terrestres, sino también en ecosistemas marinos, tal como lo demuestra el estudio de Carrasco, (2004) quien colectó muestras de moluscos, peces y sedimento marino en Pedregal, Agua roja, Planta térmica y San Juanito, ubicadas en los alrededores del puerto San Nicolás; los resultados indican alta concentración de Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Pb y Cd, en los moluscos *Fissurella sp.* “lapa”, *Thais chocolata* “Caracol”, *Concholepas concholepas* “chanque”, peces *Odontesthes regia regia* “pejerrey”, *Mugil cephalus* “lisa” y *Paralabrax humeralis* “cabrilla”, y sedimentos marinos.

CONCLUSIONES

Se concluye que, la concentración de metales pesados en plumas de *Sula variegata* muestran valores altos y constituyen una amenaza potencial para la avifauna marina, especialmente de aquellas aves localizadas que se distribuyen en las zonas cercanas al centro de operaciones mineras. La presencia de metales pesados en las zonas estudiadas no muestra diferencias significativas, por lo que su

acumulación estaría siendo favorecida por los vientos imperantes en la zona, la topografía de la zona y la presencia del puerto San Nicolás.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, H. O., Muñoz, T. M., Silva, T. G., Ahumada, R. M., & Zeballos, G. S. (1994). Efecto del arsénico en el desarrollo embrionario en aves. *Rev. chil. anat*, 19-24.
- Ali H., & Khan E. (2018). Transferencia trófica, bioacumulación y biomagnificación de metales pesados y metaloides peligrosos no esenciales en cadenas alimentarias/redes: conceptos e implicaciones para la vida silvestre y la salud humana. Evaluación de riesgos humanos y ecológicos: una revista internacional, 25(6), 1353–1376.
<https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1469398>
- Baran, E. J. (2018). Cobalto: un elemento crítico y estratégico. *An. Acad. Nac. Cienc. Exactas Físicas Nat*, 70, 77-106.
- Bazán Brizuela, V. L., Orozco Santander, I. M., Brandaleze, E., & Ruarte, P. (2015). Eliminación de arsénico de concentrados de cobre.
- Bendezú Aldo (2023) Cobalto en el Perú: tipos de mineralización, distribución y potencial. Recuperado de:
<https://onemine.org/documents/cobalto-en-el-per-tipos-de-mineralizaci-n-distribuci-n-y-potencial#:~:text=Email%20to%20a%20Friend,0.5%20Mt%20por%20cada%20sistema>
- Burger J. Gochfeld M., Sullivan K., Irons D. y McKnight A. (2008). Arsenic, cadmium, chromium, lead, manganese, mercury, and selenium in feathers of Black-legged Kittiwake (*Rissa tridactyla*) and Black Oystercatcher (*Haematopus bachmani*) from Prince William Sound, Alaska. *Sci. Total Environ.* 398 (1), 20-25. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2008.02.051
- Carrasco, J. (2003). Determinación de metales pesados por Absorción atómica en especies Hidrobiológicas comerciales en San Nicolás – Marcona-Ica (Diciembre 2001 – Junio 2002). [Tesis para optar el título profesional de Biólogo, Universidad Nacional San Luis Gonzaga].
- Costantini, D. Verhulst., 2008. Oxidative stress in ecology and evolution: lesson from avian studies. *Ecol. Lett.* 11, 1238 - 1251.
- Correa, O., Fuentes, F., & Coral, R. (2021). Contaminación por metales pesados de la microcuenca



- agropecuaria del río Huancaray—Perú. Revista de la Sociedad Química del Perú, 87(1), Article 1. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v87i1.320>
- Covarrubias, S., & Peña, J. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en Mexico: Problemática y estrategias de fitorremediación. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp01.01_3
- Dauwe T., Bervoets L., Pinxten R., Blust R. y Eens M. (2003). Variation of heavy metals within and among feathers of birds of prey: Effects of molt and external contamination. Environ. Pollut. 124 (3), 429-436. DOI: 10.1016/S0269-7491(03)00044-7
- Diamond AW, Devlin CM (2003) Seabirds as indicators of changes in marine ecosystems: ecological monitoring on Machias Seal Island. Environ Monit Assess 88(1-3): 153-175.
- Ellingsen, D.G.; Birk Moller, L. & Asseth, J. 2015. *Copper*. In: *Handbook on the toxicology metals*. Nordberg, G.F.; Fowler, B.A. & Nordberg, M. (eds.), Academic Press Vol. II, USA. pp. 765–786.
- Eisler R (1988). Lead Hazards to Fish, Wildlife, and Invertebrates: a Synoptic Review. US Fish and Wildlife Service Biological report 8. Washington DC.
- Ek KH, Morrison GM, Lindberg P, Rauch S. 2004. Comparative Tissue Distribution of Metals in Birds in Sweden Using ICP-MS and Laser Ablation ICP-MS. Arch Environ Contam Toxicol. 2004; 47: 259-269
- Farjana, S. H., Huda, N., & Mahmud, M. P. (2019). Life cycle assessment of cobalt extraction process. *Journal of Sustainable Mining*, 18(3), 150-161.
- García Izquierdo, C., Moreno, J. L., Hernández Fernández, M. T., & Polo, A. (2002). Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo.
- Grantz, DA, Garner, JHB y Johnson, DW (2003). Efectos ecológicos del material particulado. *Medio ambiente internacional*, 29 (2-3), 213-239.
- Hernández, C. (2021). Evaluación del arsénico (As), cadmio (Cd), mercurio (Hg) y plomo (Pb) en peces, crustáceos y moluscos de mayor consumo en Isla Fuerte (Caribe colombiano): estimación del riesgo por ingesta a la salud humana. Tesis de maestría, Universidad de Córdoba.



- Hernández García, A. (2010). Evaluación in vitro de los efectos producidos por el plomo, el cadmio y su mezcla binaria en eritrocitos de tres especies de aves silvestres (Doctoral dissertation, Universidad de Murcia).
- Janaydeh M., Ismail A., Zulkifli S.Z., Bejo M.H., Aziz N.A.A., Taneenah A. El uso de la pluma como indicador de contaminación por metales pesados en el cuervo doméstico (*Corvus splendens*) en el área de Klang, Selangor, Malasia. Medio ambiente. Sci. Contaminar. Res. 2016; 23:22059–22071. doi: 10.1007/s11356-016-7223-
- Kaigorodova S. y Smirnov Y., (2007). Duration of technogenic geochemical anomaly in the impact zone of copper smelter in the Central Urals. Modern Problems of Soil Pollution. 2: 92-96.
- Khwanakrittikul P, Poapolathep A, Poapolathep S, Prasanwong C, Kulprasertsri S, Khidkhan K. Diferencias de especies y distribución tisular de residuos de metales pesados en aves silvestres. Animales (Basilea). 18 de enero de 2024; 14(2):308. doi: 10.3390/ani14020308.
- Klasing KC. 1998. Comparative Avian Nutrition. Cambridge University Press, UK, pp. 234-276.
- Li F., Ding C. Efectos de la contaminación por metales pesados en las aves. Shengtai Xuebao Acta Ecol. Sin. 2007; 27:296-302.
- Lobo, P. (2010). Modelamiento de dispersión del material particulado PM-10 mediante BREEZE, en la zona aledaña a la planta productora de cemento CEMEX S.A. ubicada - Bucaramanga. 267. Bucaramanga, Colombia.
- Malik RN, Zeb N. Assessment of environmental contamination using feathers of *Bubulcus ibis* L., as a biomonitor of heavy metal pollution, Pakistan. Ecotoxicology. 2009; 18: 522- 536
- Mayack L., Bush P., Fletcher O., Page R. y Fendley T. Tissue Residues of Dieldrin and Cadmium in Wood Ducks. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 1981; (10) 637.
- Nam D.H., Anan Y., Ikemoto T., Okabe Y., Kim E.Y., Subramanian A. y Tanabe S. (2005). Specific accumulation of 20 trace elements in great cormorants (*Phalacrocorax carbo*) from Japan. Environ. Pollut. 134 (3), 503-514. DOI: 10.1016/j.envpol.2004.09.003
- Navarro, G. G. 2010. Biomonitorización de la contaminación por metales pesados mediante cormoranes grandes (*Phalacrocorax carbo sinensis*) de la laguna costera del Mar Menor.

- Navarro-Aviñó, J. P., I. Aguilar & J.R. López-Moya. 2007. Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas* 16:10-25.
- Neathery, M. W., & Miller, W. J. (1979). Tolerancia y toxicidad de los oligoelementos. *Selecciones avícolas*, 21(4), 0125-129.
- Pérez López, M, Cid Galán, F, Hernández Moreno, D, Oropesa Jiménez, AL, López Beceiro, AM, Fidalgo Álvarez, LE, Soler Rodríguez F. Contenido de metales pesados en hígado y plumas de aves marinas afectadas por el accidente del "Prestige" en la costa de Galicia. *Revista de Toxicología* [en línea]. 2005, 22(3), 191- 199[fecha de Consulta 15 de enero de 2025]. ISSN: 0212-7113. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91922307>
- Pérez, M., F. Cid, D. Hernández, A. L. Oropesa, A. López, L. E. Fidalgo & F. Soler. 2005. Contenido de metales pesados en hígado y plumas de aves marinas afectadas por el accidente del “Prestige” en la costa de Galicia. *Revista de Toxicología* 22:191-199.
- Prasad, S., Yadav, K. K., Kumar, S., Gupta, N., Cabral-Pinto, M. M., Rezanía, S., ... & Alam, J. (2021). Chromium contamination and effect on environmental health and its remediation: A sustainable approaches. *Journal of Environmental Management*, 285, 112174.
- Rojas, J. 2019. “Densidad y distribución espacial de la *Tillandsia latifolia* de la Reserva Nacional San Fernando en la provincia de Nazca - Ica”. Tesis para obtener el título Profesional de Ingeniero Geógrafo.
- Sánchez, C. (2022). Estudio de contaminación del agua de mar por metales pesados en moluscos bivalvos en las zonas aledañas a la Bahía de Ite (Lozas, Meca, Santa Rosa y Picata), Tacna. Tesis de obtención del grado de Magister en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/4528>
- Samanta, I., & Bandyopadhyay, S. (2017). Pet bird diseases and care. En *Pet Bird Diseases and Care*. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-3674-3>
- SERNANP. (2019). Plan Maestro de la Reserva Nacional de San Fernando 2019-2024. <https://www.gob.pe/institucion/sernanp/normas-legales/422650-rp-239-2019-sernanp>.
- Savinov VM, Gabrielsen GW, Savinova TN (2003) Cadmium, zinc, copper, arsenic, selenium and



- mercury in seabirds from the Barents Sea: levels, inter-specific and geographical differences. *Sci Total Environ* 306: 133-158.
- Silva, A., & Arcos, D. (2011). Aplicación del programa AERMOD para modelar dispersión de PM10 emitido por equipos de calefacción a leña en la ciudad de Constitución. *Obras y Proyectos* (9),7. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-28132011000100001>
- Swaileh KM, Sansur R. Monitoring urban heavy metal pollution using the House Sparrow (*Passer domesticus*). *J Environ Monit.* 2006; 8: 209-213
- Szymczyk, K & K. Zalewski. 2003. Copper, Zinc, Lead and Cadmium Content in Liver and Muscles of Mallards (*Anas platyrhynchos*) and other Hunting Fowl Species in Warmia and Mazury in 1999 – 2000. *Polish Journal of Environmental Studies* 12:381-386.
- Taylor, S. A., Zavalaga, C. B., Luna-Jorquera, G., Simeone, A., Anderson, D. J., & Friesen, V. L. (2011). Panmixia and high genetic diversity in a Humboldt Current endemic, the Peruvian Booby (*Sula variegata*). *Journal of Ornithology*, 152(3), 623-630.
- Tsipoura, N., Burger, J., Newhouse, M., Jeitner, C., Gochfeld, M., & Mizrahi, D. (2011). Lead, mercury, cadmium, chromium, and arsenic levels in eggs, feathers, and tissues of Canada geese of the New Jersey Meadowlands. *Environmental research*, 111(6), 775-784.
- Varagiya D., Jethva B., Pandya D. Contaminación por metales pesados de plumas en varias especies de aves acuáticas de Asia: una revisión. *Medio ambiente. Monit. Evaluar.* 2021; 194:26.
- VECTOR PERÚ S.A.C. 2009a. Estudio de impacto ambiental- Ampliación de mina y planta de beneficio. Compañía minera Shougang Hierro Perú S.A.A. 1442 pp.
- VECTOR PERÚ S.A.C. 2009b. Estudio de impacto ambiental- Proyecto Mina Justa Marcobre S.A.C. 277 pp.
- Vodyanitskii Y. (2013). Contamination of Soils with Heavy Metals and Metalloids and Its Ecological Hazard (Analytic Review). *Eurasian Soil Science.* 46: 793–801.
- Yaciuk P, Colombo F, Lecomte K, De Micco Georgina, Bohé Ana. 2022. Cadmium sources, mobility, and natural attenuation in contrasting environments (carbonate-rich and carbonate-poor) in the Capillitas polymetallic mineral deposit, NW Argentina, *Applied Geochemistry*, Volume 136, 2022, 105152, ISSN 0883-2927,



<https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2021.105152>.

