

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Escuela de Posgrado

**MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL Y
DESARROLLO SOSTENIBLE**

**DETERMINACIÓN DE CADMIO (Cd) Y PLOMO (Pb) EN
Paralichthys adspersus CAPTURADOS POR PESCADORES
DEL DESEMBARCADERO PESQUERO
ARTESANAL DE ILO, 2025**

TESIS

PRESENTADA POR:

BECKHAM VILLAR MAMANI BLAS

Para optar el Grado Académico de:

**MAESTRO EN CIENCIAS (*Magister Scientiae*) CON MENCIÓN EN
GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

**TACNA – PERÚ
2026**

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL Y
DESARROLLO SOSTENIBLE

DETERMINACIÓN DE CADMIO (Cd) Y PLOMO (Pb) EN *Paralichthys
adspersus* CAPTURADOS POR PESCADORES DEL DESEMBARCADERO
PESQUERO ARTESANAL DE ILO, 2025

Tesis sustentada y aprobada el 22 de enero del 2026; estando el jurado calificador
integrado por:

PRESIDENTE : 
Dr. Nataniel Mario Linares Gutiérrez

SECRETARIO : 
Dra. Khiara Aliyah Bet Moreno Salazar Calderón

MIEMBRO : 
Dra. Soledad Amparo Bornás Acosta

ASESOR : 
Dra. Soledad Amparo Bornás Acosta

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, **Dra. Soledad Amparo Bornás Acosta**, en mi condición de asesora acreditada con Resolución de Escuela de Posgrado N° 15574-2025-ESPG/UNJBG de fecha 09 de mayo de 2025, del trabajo de tesis titulado: "**DETERMINACIÓN DE CADMIO (Cd) Y PLOMO (Pb) EN *Paralichthys adspersus* CAPTURADOS POR PESCADORES DEL DESEMBARCADERO PESQUERO ARTESANAL DE ILO, 2025**", presentado por don **Beckham Villar Mamani Blas**, para optar el Grado Académico de Maestro en Ciencias (*Magíster Scientiae*) con mención en **Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible**.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajo de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual TURNITIN, cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 5%.

Por lo que CERTIFICO LA SIMILARIDAD de la tesis y está de acuerdo al nivel PERMITIDO, para continuar con los trámites correspondientes.

Se emite el presente certificado a solicitud del interesado con fines de continuar con los trámites respectivos para la obtención del Grado Académico de Maestro en Ciencias (*Magíster Scientiae*) con mención en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible.

Tacna, 03 de junio de 2026

FIRMA ASESOR

NOMBRES Y APELLIDOS : Soledad Amparo Bornás Acosta
DNI : 29250864

FIRMA DE TESISTA

NOMBRES Y APELLIDOS : Beckham Villar Mamani Blas
DNI : 77044084

DEDICATORIA

A mis padres, por su amor incondicional, sacrificio constante y apoyo inquebrantable durante toda mi formación universitaria y profesional. Este logro es también suyo.

A todos aquellos que creyeron en mí y me alentaron a seguir adelante, especialmente en los momentos más difíciles de esta investigación.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann y su Escuela de Posgrado, instituciones que han sido fundamentales en mi formación profesional, brindándome el apoyo académico necesario para realizar esta investigación en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible.

*A los pescadores artesanales del desembarcadero de Ilo, por su disposición para facilitar las muestras de *Paralichthys adspersus*, lo cual permitió lograr los objetivos planteados y obtener información importante sobre la calidad de los recursos pesqueros locales.*

Al jurado evaluador conformado por el Dr. Nataniel Mario Linares Gutiérrez, la Dra. Khiara Aliyah Bet Moreno Salazar Calderón y la Dra. Soledad Amparo Bornás Acosta, por sus observaciones, recomendaciones y experiencia que mejoraron la calidad de esta investigación.

A mi familia, por el apoyo constante, la paciencia durante el tiempo dedicado a este proyecto y la motivación que me ayudó a completar esta importante etapa de mi formación académica y profesional.

ÍNDICE GENERAL

PORTADA	i
HOJA DE JURADOS FIRMADA	ii
CERTIFICADO DE SIMILITUD	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN	1
 CAPÍTULO I; PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	 5
1.1. Identificación del problema	5
1.2. Formulación del problema	6
1.2.1. Problema general.....	6
1.2.2. Problemas específicos	6
1.3. Justificación e importancia de la investigación	7
1.4. Objetivos.....	8
1.4.1. Objetivo general.....	8
1.4.2. Objetivos específicos.....	8
1.5. Hipótesis	8
1.5.1. Hipótesis general.....	8
1.5.2. Hipótesis específicas	8

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	9
2.1. Antecedentes del estudio	9
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	9
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	11
2.2. Marco conceptual.....	13
2.2.1. Bioacumulación	13
2.2.2. Lenguado como especie indicadora	13
2.2.3. Desembarcadero pesquero artesanal de Ilo	14
2.2.4. Cadmio	15
2.2.5. Plomo	15
2.2.6. Ciclo biogeoquímico	16
2.2.7. Toxicidad de metales pesados en organismos acuáticos	16
2.2.8. Factores que afectan la bioacumulación de metales pesados	17
2.2.9. Transferencia trófica de metales pesados	17
2.2.10. Marco normativo.....	17
2.2.11. Definición de términos	17
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	21
3.1. Caracterización o tipo del diseño de investigación.....	21
3.2. Población y muestra de estudio	21
3.2.1. Población	21
3.2.2. Muestra.....	21
3.3. Variables y operacionalización de variables	22
3.3.1. Variables.....	22

3.3.2.	Caracterización de las variables.....	22
3.3.3.	Definición operacional de las variables.....	23
3.4.	Acciones y actividades ejecutadas en el proyecto	24
3.5.	Materiales e instrumentos.....	25
3.6.	Tratamiento de datos	26
3.6.1.	Caracterización de las variables.....	26
3.6.2.	Análisis estadístico descriptivo.....	27
3.6.3.	Verificación estadística	27
3.6.4.	Pruebas de hipótesis	28
3.6.5.	Software estadístico	29
CAPÍTULO IV: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....		30
4.1.	Concentraciones de metales pesados en <i>paralichthys adspersus</i>	30
4.2.	Análisis comparativo del cadmio con Codex Alimentarius	34
4.2.1.	Análisis estadístico de normalidad – cadmio.....	37
4.2.2.	Prueba de hipótesis – cadmio	37
4.3.	Análisis comparativo del plomo con el Codex Alimentarius	37
4.3.1.	Análisis estadístico de normalidad – plomo	39
4.3.2.	Prueba de hipótesis – plomo	40
4.4.	Propuesta de estrategias de gestión ambiental.....	40
4.4.1.2.	Sistema de alerta temprana	42
4.4.2.2.	Programa de restauración ecológica.....	43
4.4.3.	Estrategia de fortalecimiento institucional	44
4.4.3.1.	Desarrollo de capacidades locales.....	44

4.4.3.2.	Articulación interinstitucional	45
4.4.4.	Estrategia de certificación y marketing.....	45
4.4.4.1.	Desarrollo de certificación de calidad.....	45
DISCUSIÓN		52
CONCLUSIONES		55
RECOMENDACIONES		57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		59
ANEXOS		63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Muestras recolectadas de pescadores artesanales del desembarcadero pesquero de Ilo	30
Tabla 2	Estaciones de muestreo del desembarcadero pesquero de Ilo	31
Tabla 3	Análisis de los datos obtenidos de <i>Paralichthys adspersus</i> mediante la prueba de t.....	33
Tabla 4	Análisis cuantitativo de seguridad a partir de los datos obtenidos por parte de CERPER para Cadmio	35
Tabla 5	Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para cadmio	37
Tabla 6	Prueba t para una muestra - Cadmio vs Codex Alimentarius	37
Tabla 7	Análisis cuantitativo de seguridad a partir de los datos obtenidos por parte de CERPER para Plomo	38
Tabla 8	Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para plomo.....	39
Tabla 9	Prueba t para una muestra - Plomo vs Codex Alimentarius	40
Tabla 10	Sistema de alerta temprana para metales pesados.....	42
Tabla 11	Zonificación ambiental marina	43
Tabla 12	Mesa técnica interinstitucional	45
Tabla 13	Criterios certificación "Ilo Pesca Limpia"	46
Tabla 14	Presupuesto para la implementación de estrategias de gestión ambiental ...	48
Tabla 15	Fuentes de financiamiento propuestas.....	49
Tabla 16	Presupuesto anual de implementación	50
Tabla 17	Cronograma de implementación	51
Tabla 18	Indicadores de seguimiento	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Ubicación de los puntos de muestreo del desembarcadero pesquero de Ilo.	22
Figura 2	Gráfico de barras mostrando las concentraciones de Cadmio (Cd) detectadas en cada estación de muestreo del desembarcadero pesquero artesanal de Ilo	36
Figura 3	Gráfico de barras mostrando las concentraciones de Plomo (Pb) detectadas en cada estación de muestreo del desembarcadero pesquero artesanal de Ilo ..	39
Figura 4	Inicio de muestreo con el pescador N°1 Nota. Recolección de muestras en el desembarcadero de la provincia de Ilo.	65
Figura 5	Selección de muestras con el pescador N°1	65
Figura 6	Medición de las muestras	66
Figura 7	Pesaje de las muestras seleccionadas	66
Figura 8	Pesaje de las muestras seleccionadas	67
Figura 9	Rotulado y envasado de las muestras en bolsas ziploc	67
Figura 10	Guardado de las 5 primeras muestras en el cooler	68
Figura 11	Identificación del pescador N°1	68
Figura 12	Inicio de muestreo con el pescador N°2	69
Figura 13	Selección de muestras con el pescador N°2	69
Figura 14	Medición de las muestras	70
Figura 15	Pesaje de las muestras seleccionadas	70
Figura 16	Rotulado y envasado de las muestras en bolsas ziploc	71
Figura 17	Guardado de las 5 muestras seleccionadas en el cooler	71
Figura 18	Identificación del pescador N°2	72
Figura 19	Inicio de muestreo con el pescador N°3	72
Figura 20	Inicio de muestreo con el pescador N°3	73

Figura 21	Inicio de pesaje de las 5 muestras	73
Figura 22	Medición de las muestras	74
Figura 23	Inicio de pesaje de las 5 muestras	74
Figura 24	Rotulado y envasado de las muestras en bolsas ziploc	75
Figura 25	Identificación del pescador N°3.....	75
Figura 26	Inicio de la Preparación de las muestras	76
Figura 27	Preparación de las muestras.....	76
Figura 28	Envasado de las muestras diseccionadas para su posterior envío al laboratorio	77
Figura 29	Envasado final de las muestras diseccionadas en el cooler para su envío al laboratorio.....	77
Figura 30	Laboratorio CERPER Arequipa.....	78
Figura 31	Reporte de análisis por el laboratorio CERPER	79
Figura 32	Reporte de análisis por el laboratorio CERPER	80
Figura 33	Reporte de análisis por el laboratorio CERPER	81

RESUMEN

El desembarcadero pesquero artesanal de Ilo constituye una fuente importante de recursos marinos para el consumo humano, siendo *Paralichthys adspersus* una de las especies demersales de mayor valor comercial. La coexistencia de actividades pesqueras con operaciones industriales, mineras y portuarias en la región plantea interrogantes sobre la posible contaminación por metales pesados en productos pesqueros. El cadmio (Cd) y el plomo (Pb) son contaminantes preocupantes por su persistencia, bioacumulación y riesgos para la salud. El propósito del presente estudio fue determinar las concentraciones de cadmio y plomo en tejido muscular de *Paralichthys adspersus* capturados por pescadores artesanales del desembarcadero de Ilo durante junio de 2025, evaluar el cumplimiento de los límites máximos establecidos por el Codex Alimentarius y proponer estrategias de gestión ambiental para el control de metales pesados. Se analizaron 15 muestras de 3 pescadores artesanales mediante ICP-MS en el laboratorio CERPER, usando el método EPA 6020B con un límite de detección de 0,001 mg/kg. Se encontraron concentraciones promedio de cadmio de 0,01187 mg/kg y de plomo de 0,01347 mg/kg, que representan el 23,7 % y 4,5 % de los límites del Codex Alimentarius. El análisis estadístico mediante prueba de normalidad de Shapiro-Wilk confirmó distribuciones normales para ambos metales (Cd: $W=0,947$, $p=0,487$; Pb: $W=0,923$, $p=0,232$). La prueba t de Student demostró diferencias estadísticamente muy significativas entre las concentraciones encontradas y los límites internacionales (Cd: $t=-30,026$, $p<0,001$; Pb: $t=-159,268$, $p<0,001$), rechazando las hipótesis que planteaban que los niveles superarían los valores permisibles. La variabilidad entre muestras fue moderada para cadmio (coeficiente de variación: 40,64 %) y baja para plomo (coeficiente de variación: 20,01 %), evidenciando homogeneidad en la calidad del producto pesquero entre diferentes pescadores. Las estrategias de gestión ambiental propuestas incluyen: sistema de monitoreo trimestral de metales pesados, zonificación ambiental marina con áreas de protección (0-5 km), programa de certificación "Ilo Pesca Limpia", fortalecimiento de capacidades mediante capacitación de 45 pescadores artesanales, articulación inter-institucional con PRODUCE, MINAM, SANIPES y gobierno regional, investigación aplicada en colaboración con instituciones académicas y financiamiento sostenible distribuido entre monitoreo (28 %), equipamiento (22 %), capacitación (16 %),

infraestructura (16 %), certificación (12 %) e investigación (6 %). De modo que la excelente calidad sanitaria demostrada en *Paralichthys adspersus* del desembarcadero artesanal de Ilo, con concentraciones de cadmio y plomo muy inferiores a los límites internacionales, confirma la aptitud del recurso para consumo humano sin restricciones y representa una ventaja competitiva significativa para la comercialización en mercados premium, requiriendo la implementación de estrategias preventivas que mantengan estas condiciones favorables a largo plazo.

Palabras clave: Metales pesados, Cadmio, Plomo, *Paralichthys adspersus*, Codex Alimentarius, ICP-MS, Gestión Ambiental, Pesca Artesanal, Ilo.

ABSTRACT

The artisanal fishing landing site of Ilo constitutes an important source of marine resources for human consumption, with *Paralichthys adspersus* being one of the demersal species of greatest commercial value. The coexistence of fishing activities with industrial, mining, and port operations in the region raises questions about possible heavy metal contamination in fishery products. Cadmium (Cd) and lead (Pb) are contaminants of concern due to their persistence, bioaccumulation, and health risks. The purpose of the present study was to determine cadmium and lead concentrations in muscle tissue of *Paralichthys adspersus* caught by artisanal fishers from the Ilo landing site during June 2025, evaluate compliance with maximum limits established by the Codex Alimentarius, and propose environmental management strategies for heavy metal control. Fifteen samples from 3 artisanal fishers were analyzed by ICP-MS at the CERPER laboratory, using the EPA 6020B method with a detection limit of 0,001 mg/kg. Average cadmium concentrations of 0,01187 mg/kg and lead concentrations of 0,01347 mg/kg were found, representing 23,7 % and 4,5 % of the Codex Alimentarius limits. Statistical analysis using the Shapiro-Wilk normality test confirmed normal distributions for both metals (Cd: $W=0,947$, $p=0,487$; Pb: $W=0,923$, $p=0,232$). Student's t-test demonstrated highly statistically significant differences between the concentrations found and international limits (Cd: $t=-30,026$, $p<0,001$; Pb: $t=-159,268$, $p<0,001$), rejecting the hypotheses that levels would exceed permissible values. Variability between samples was moderate for cadmium (coefficient of variation: 40,64 %) and low for lead (coefficient of variation: 20,01 %), evidencing homogeneity in fishery product quality among different fishers. The proposed environmental management strategies include: quarterly heavy metal monitoring system, marine environmental zoning with protection areas (0-5 km), "Ilo Clean Fishing" certification program, capacity building through training of 45 artisanal fishers, inter-institutional coordination with PRODUCE, MINAM, SANIPES and regional government, applied research in collaboration with academic institutions, and sustainable distributed among monitoring (28 %), equipment (22 %), training (16 %), infrastructure (16 %), certification (12 %), and research (6 %). Therefore, the excellent sanitary quality demonstrated in *Paralichthys adspersus* from the Ilo artisanal landing site, with cadmium and lead concentrations well below international limits, confirms the

resource's suitability for unrestricted human consumption and represents a significant competitive advantage for commercialization in premium markets, requiring the implementation of preventive strategies that maintain these favorable conditions in the long term.

Keywords: Heavy metals, Cadmium, Lead, *Paralichthys Adspersus*, Codex Alimentarius, ICP-MS, Environmental Management, Artisanal Fishing, Ilo.

INTRODUCCIÓN

La calidad sanitaria de los productos pesqueros es vital por la creciente demanda de alimentos acuáticos. El cadmio y el plomo son metales pesados que contaminan el ambiente y se acumulan en tejidos biológicos (Zaynab et al., 2022). La evaluación de estos elementos en especies comerciales es clave para asegurar la seguridad alimentaria y la idoneidad de los recursos pesqueros, especialmente en ecosistemas con actividades industriales y pesqueras (Shahjahan et al., 2022).

La actividad pesquera artesanal representa un pilar económico fundamental para las comunidades costeras del Perú, destacando particularmente la región de Ilo, donde especies demersales como *Paralichthys adspersus* constituyen recursos de alto valor comercial y nutricional. La sostenibilidad de esta actividad económica depende, en gran medida, de la capacidad para demostrar y mantener la calidad sanitaria de los productos extraídos, lo que requiere evaluaciones científicas periódicas que documenten el estado de los recursos pesqueros en relación con estándares internacionales de seguridad alimentaria (Custodio et al., 2022). La relevancia de esta necesidad aumenta, ya que las especies bentónicas son buenos indicadores de las condiciones ambientales debido a su vínculo con los sedimentos marinos (González et al., 2018).

Los procesos de evaluación de metales pesados en ecosistemas marinos requieren considerar múltiples factores que influyen en la distribución y biodisponibilidad de estos elementos. Las condiciones oceanográficas locales, incluyendo patrones de corrientes, temperatura, salinidad y características geoquímicas de los sedimentos, determinan los niveles de exposición que experimentan los organismos acuáticos (Rivas et al., 2022). Las especies demersales como *Paralichthys adspersus* presentan características ecológicas particulares que las convierten en candidatos apropiados para estudios de calidad ambiental, dado que su comportamiento bentónico y sus hábitos alimentarios reflejan las condiciones del sustrato marino donde desarrollan su ciclo de vida (Ai et al., 2022). La evaluación de metales pesados en estas especies proporciona información valiosa no solo sobre su aptitud para consumo humano, sino también sobre el estado general del ecosistema marino (Patiño Condori, 2018).

La experiencia internacional en evaluación de metales pesados en productos pesqueros ha demostrado la existencia de una considerable variabilidad geográfica en los niveles de contaminación, reflejando las diferencias en presión antropogénica, características ambientales y capacidad de los ecosistemas para procesar y diluir contaminantes (Cabrera Andrade, 2024; Ribeiro et al., 2021). Algunos ecosistemas marinos han mostrado niveles preocupantes de contaminación que comprometen la calidad de sus recursos pesqueros, mientras que otros mantienen condiciones favorables que permiten la extracción de productos de alta calidad sanitaria (Rodríguez Vilches, 2022). Esta diversidad de escenarios subraya la importancia de desarrollar evaluaciones específicas para cada zona geográfica, evitando generalizaciones que podrían no reflejar las condiciones ambientales particulares de cada ecosistema (Ortega Pereira, 2015).

Los metales pesados afectan a organismos acuáticos, alterando procesos fisiológicos a altas concentraciones (Tomaila Tenazoa, 2018). Sin embargo, la presencia de estos elementos en el ambiente marino no implica necesariamente su acumulación en concentraciones problemáticas en los tejidos de los organismos, ya que factores como la capacidad de detoxificación de las especies, las condiciones ambientales y la eficiencia de los procesos naturales de dilución pueden limitar significativamente la bioacumulación (López et al., 2020). La evaluación rigurosa permite identificar ecosistemas con riesgos reales de metales pesados y aquellos donde su presencia no afecta la calidad pesquera (Yousaf et al., 2019).

En el contexto nacional peruano, la evaluación de metales pesados en productos pesqueros ha revelado un panorama heterogéneo, donde diferentes regiones costeras presentan condiciones ambientales distintivas que se reflejan en la calidad de sus recursos marinos (González et al., 2018). Algunas zonas han mostrado niveles de contaminación que requieren medidas de gestión específicas, mientras que otras mantienen condiciones ambientales que favorecen la producción de recursos pesqueros de alta calidad (Rivas et al., 2022). Esta variabilidad regional determina la necesidad de desarrollar caracterizaciones específicas para cada área geográfica, proporcionando información precisa que permita a las comunidades pesqueras, autoridades sanitarias y consumidores tomar decisiones informadas sobre la utilización de los recursos marinos locales.

(Custodio et al., 2022). La evaluación de calidad protege la salud pública y mejora la competitividad de los productos pesqueros que cumplen con estándares internacionales (Patiño Condori, 2018).

La provincia de Ilo presenta características ambientales y socioeconómicas que hacen prioritaria la evaluación científica de la calidad de sus recursos pesqueros. La coexistencia de actividades pesqueras artesanales con operaciones industriales, mineras y portuarias plantea interrogantes sobre las posibles interacciones entre estas actividades y la calidad del ecosistema marino local. Las características bioecológicas de *Paralichthys adspersus*, incluyendo su comportamiento bentónico y su posición en la cadena trófica, lo convierten en una especie apropiada para evaluaciones de calidad ambiental, mientras que su importancia socioeconómica para las comunidades pesqueras artesanales de Ilo hace esencial conocer su estado sanitario para garantizar tanto la seguridad alimentaria como la sostenibilidad económica de la actividad extractiva.

La falta de información actualizada sobre cadmio y plomo en especies marinas de Ilo limita la evaluación de la calidad pesquera local. Esta carencia informativa impide desarrollar caracterizaciones precisas del estado sanitario de los productos pesqueros, dificulta el establecimiento de programas de monitoreo ambiental basados en evidencia científica, limita la implementación de estrategias de gestión apropiadas y compromete la capacidad de pescadores, autoridades y consumidores para tomar decisiones fundamentadas. La generación de datos científicos robustos sobre las concentraciones de metales pesados en *Paralichthys adspersus* de esta región contribuirá significativamente al conocimiento sobre la calidad de los recursos pesqueros artesanales y proporcionará bases sólidas para la gestión sostenible de la actividad extractiva.

La investigación busca determinar las concentraciones de cadmio (Cd) y plomo (Pb) en *Paralichthys adspersus* capturados por pescadores en Ilo. Este estudio busca evaluar el cumplimiento de los estándares internacionales de seguridad alimentaria establecidos por el Codex Alimentarius, proporcionando evidencia científica sobre la calidad sanitaria de esta especie comercial. Adicionalmente, la investigación se propone desarrollar recomendaciones de estrategias de gestión ambiental que contribuyan a mantener y potencialmente mejorar las condiciones de calidad de los productos pesqueros

del desembarcadero artesanal de Ilo. Los resultados ofrecerán información clave para decisiones en salud pública, gestión pesquera y desarrollo sostenible de comunidades artesanales.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

La contaminación por metales pesados en ecosistemas marinos constituye una problemática ambiental crítica a nivel global. El cadmio (Cd) y plomo (Pb) son contaminantes de especial preocupación debido a su alta persistencia ambiental, capacidad de bioacumulación y efectos tóxicos crónicos. Estudios internacionales documentan que el 97 % de los metales pesados liberados en ecosistemas acuáticos persisten y se incorporan en la cadena alimentaria humana, generando disfunciones neurológicas, hepáticas y renales (Zaynab et al., 2022).

En Perú, la contaminación por metales pesados representa un desafío crítico en ecosistemas acuáticos. Investigaciones en lagunas de la región central han documentado concentraciones de arsénico (4,62-7,56 mg/kg) y cadmio (0,169-0,18 mg/kg) que superan los valores de referencia, evidenciando el impacto de actividades acuícolas y agrícolas. Los valores de riesgo carcinogénico por arsénico superiores a $1,00E-04$ en población infantil constituyen una amenaza directa a la salud pública (Custodio et al., 2022).

La provincia de Ilo presenta condiciones de particular vulnerabilidad ante la contaminación por metales pesados debido a la convergencia de actividades pesqueras artesanales con operaciones industriales y portuarias. La actividad minera regional, descargas industriales y tráfico marítimo intensivo constituyen fuentes potenciales de liberación de cadmio y plomo que pueden alcanzar las zonas de pesca. El *Paralichthys adspersus* presenta características bioecológicas que incrementan su susceptibilidad a la bioacumulación: su comportamiento bentónico lo expone directamente a sedimentos contaminados, mientras que su posición trófica facilita la transferencia de contaminantes. Esta especie constituye un recurso pesquero de alta importancia socioeconómica para las comunidades artesanales de Ilo.

Existe una carencia significativa de estudios actualizados que documenten los niveles de cadmio y plomo en especies marinas capturadas en el desembarcadero

pesquero artesanal de Ilo. Esta limitación: (1) impide la evaluación de riesgos para la salud pública; (2) dificulta el establecimiento de programas de monitoreo ambiental; (3) limita la implementación de medidas de control apropiadas; y (4) obstaculiza la toma de decisiones informadas por pescadores y consumidores.

La ausencia de datos científicos actualizados sobre concentraciones de metales pesados en *Paralichthys adspersus* de Ilo compromete la protección de la salud pública y la sostenibilidad pesquera artesanal. La presente investigación propone determinar las concentraciones de cadmio y plomo mediante metodologías estandarizadas, comparando los resultados con límites del Codex Alimentarius para evaluar riesgos de consumo y proponer estrategias de gestión ambiental específicas para la mitigación de contaminación en productos pesqueros del desembarcadero artesanal de Ilo.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la concentración de cadmio (Cd) y plomo (Pb) en *Paralichthys adspersus* capturados por pescadores del desembarcadero pesquero artesanal de Ilo?

1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Los niveles de cadmio (Cd) encontrados en *Paralichthys adspersus* superan los límites establecidos por el Codex Alimentarius?
- b) ¿Los niveles de plomo (Pb) encontrados en *Paralichthys adspersus* superan los límites establecidos por el Codex Alimentarius?
- c) ¿Qué estrategias de gestión ambiental se pueden proponer para mitigar la contaminación por metales pesados en *Paralichthys adspersus* del desembarcadero pesquero artesanal de Ilo?

1.3. Justificación e importancia de la investigación

Justificación social

El consumo de productos pesqueros contaminados con metales pesados representa un riesgo para la salud de la población, dado que el Cd y el Pb son tóxicos acumulativos que pueden provocar efectos adversos en el sistema nervioso, renal y óseo. En este sentido, la investigación busca proteger la salud de las comunidades que dependen del consumo de *Paralichthys adspersus* y otros recursos marinos, proporcionando información crucial para la toma de decisiones informadas sobre hábitos de consumo y políticas de salud pública en la región.

Justificación económica

La pesca artesanal es una actividad económica fundamental en la provincia de Ilo, y la posible contaminación de los recursos marinos podría afectar la comercialización de productos pesqueros tanto a nivel local como en mercados externos. Al identificar y evaluar los niveles de Cd y Pb, esta investigación contribuirá a la sostenibilidad de la actividad pesquera, permitiendo a los actores del sector tomar decisiones basadas en evidencia científica para garantizar la calidad e inocuidad de sus productos, lo cual es clave para mantener la competitividad en el mercado.

Justificación técnica

Este estudio se fundamenta en la necesidad de ampliar el conocimiento científico sobre la bioacumulación de metales pesados, específicamente cadmio (Cd) y plomo (Pb), en especies acuáticas como *Paralichthys adspersus*. A pesar de la creciente preocupación por la contaminación en ambientes marinos, existe una limitada investigación sobre la relación directa entre la actividad minera y la acumulación de estos metales en peces. La presente investigación contribuirá a llenar este vacío, proporcionando datos esenciales para comprender los mecanismos de transferencia de metales pesados en los ecosistemas acuáticos y su impacto en la cadena trófica.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar la concentración de cadmio (Cd) y plomo (Pb) en *Paralichthys adspersus* capturados por pescadores del desembarcadero pesquero artesanal de Ilo.

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Comparar los niveles de Cd encontrados en *Paralichthys adspersus* con los valores establecidos en el Codex Alimentarius.
- b) Comparar los niveles de Pb encontrados en *Paralichthys adspersus* con los valores establecidos en el Codex Alimentarius.
- c) Proponer estrategias de gestión ambiental para el control de la contaminación por metales pesados en productos pesqueros del desembarcadero artesanal de Ilo.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

Las concentraciones de cadmio (Cd) y plomo (Pb) en *Paralichthys adspersus* capturados por pescadores del desembarcadero pesquero artesanal de Ilo superan los límites permisibles establecidos en el Codex Alimentarius.

1.5.2. Hipótesis específicas

- a) La concentración de cadmio (Cd) en *Paralichthys adspersus* capturados en Ilo supera los límites permitidos por el Codex Alimentarius.
- b) La concentración de plomo (Pb) en *Paralichthys adspersus* capturados en Ilo supera los límites permitidos por el Codex Alimentarius.
- c) Existen diferencias significativas entre las concentraciones de Cd y Pb encontradas en *Paralichthys adspersus* y los valores de referencia del Codex Alimentarius.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. Antecedentes internacionales

Yousaf et al. (2019). Publicaron el artículo denominado “Accumulation of heavy metals in fish tissues from industrial effluents”, en su indagación, se centraron en analizar la acumulación de metales pesados en peces en zonas afectadas por efluentes industriales. Emplearon un método que consistió en recolectar muestras de agua y tejidos de peces de diversas fuentes de agua contaminadas y no contaminadas. Se hallaron niveles significativamente elevados de cadmio y plomo en los tejidos de los peces cercanos a fuentes de contaminación frente a los de áreas no contaminadas. Las conclusiones señalaron que la bioacumulación de metales pesados en los peces es un indicador seguro de la contaminación del agua, y sugirieron implementar políticas más rigurosas para el control de efluentes industriales que protejan la salud acuática y humana.

López et al. (2020). Publicaron el artículo denominado “Heavy metal bioaccumulation in fish from the Yangtze River and its implications for aquatic health”, Analizaron metales pesados en peces del río Yangtze, China. Su objetivo era determinar cómo variaban los niveles de cadmio y plomo en el río y su impacto en la salud de los peces. Se realizó un muestreo de agua y tejidos de peces en varios puntos del río, junto con análisis químicos. Se observa un aumento significativo de metales pesados en peces cerca de zonas industriales. Las conclusiones sugieren que los altos niveles de cadmio y plomo en los peces están relacionados con actividades industriales, destacando la necesidad urgente de reducir la contaminación en el río Yangtze.

Ribeiro et al. (2021). Publicaron el artículo denominado “Assessment of heavy metal contamination in fish from the Tiete River, Brazil”, Analizaron la contaminación por metales pesados en peces del río Tiete, enfocándose en cadmio y plomo por fuentes industriales. Usaron una metodología que consistió en recolectar muestras de agua y

peces y analizar metales pesados en un laboratorio especializado. Los resultados indicaron que los niveles de cadmio y plomo en los peces se correlacionaban con la cercanía a fuentes de contaminación industrial. Recomendaron regulaciones más estrictas y mejorar la gestión de efluentes para reducir la contaminación del río Tiete.

Cabrera, (2024). Publicó su tesis denominada “concentración de cadmio y plomo en *scomber japonicus* desembarcados en el puerto artesanal de anconcito”, analizó cadmio y plomo en el tejido muscular de *Scomber japonicus* en Anconcito, Ecuador. Recolectó 30 organismos en seis meses y usó espectrofotometría de absorción atómica para determinar metales pesados en tejido muscular. Los resultados indicaron cadmio de 0,01 a 0,067 mg/kg y plomo de 0,003 a 0,066 mg/kg. El análisis reveló una correlación moderada ($R=0.409$) entre el peso y la concentración de plomo, indicando que los especímenes más grandes acumulan más este metal. El estudio mostró que la mayoría de las muestras cumplió con la normativa ecuatoriana y de la UE, pero dos superaron los límites de cadmio, destacando la necesidad de monitoreo continuo para asegurar la seguridad alimentaria y proteger el ecosistema marino.

Ortega (2015). Publicó su tesis denominada “cuantificación de las concentraciones de metales pesados (Hg, Cu, Ni, Zn, Cd, Pb y Mn) por espectrofotometría de absorción atómica en peces del estero huaylá (*diapterus peruvianus* y *sardinops sagax*), Puerto Bolivar, Cantón Machala, provincia de El Oro” Estudió los metales pesados en chaparra y sardina para evaluar la contaminación estuarina. Utilizaron una metodología para capturar especímenes y aplicaron espectrofotometría para determinar metales. Se pesaron 0,5 g de tejido seco, se digirió en ácido nítrico y perclórico 3:1 a 70°C por dos horas, y se filtró y aforó a 100 mL. Los niveles de metales pesados en sardinas excedieron los límites de la EPA, con plomo 3x, cadmio 8x, cobre 2x, níquel 4x, manganeso 18x y mercurio 8x sobre lo permitido; solo el zinc estuvo dentro del estándar. Las chaparras y sardinas del estero Huaylá tienen altos niveles de metales pesados, superando los límites permitidos y representando un grave riesgo de contaminación y para la salud pública.

2.1.2. Antecedentes nacionales

González et al. (2018). Publicaron el artículo denominado “Heavy metal contamination in fish from the Madre de Dios River, Perú”, estudiaron la contaminación por metales pesados en peces del río Madre de Dios, Perú. El estudio midió metales pesados, como mercurio, cadmio y plomo, en peces cerca de minería informal. Se recolectaron muestras de agua y tejidos de peces en puntos georreferenciados del río con muestreo sistemático. Se midieron pH, conductividad y sólidos disueltos del agua, y se cuantificaron metales pesados en tejido muscular por espectrometría de absorción atómica. Los peces cerca de las fuentes de contaminación minera tenían altos niveles de metales pesados. El estudio subrayó la urgencia de mejorar las políticas ambientales para proteger la salud pública y la biodiversidad acuática.

Rivas et al. (2022). Publicaron el artículo denominado “Bioaccumulation of heavy metals in fish from the Mantaro River, Perú”. Estudiaron la bioacumulación de metales pesados en peces del río Mantaro, Perú, para evaluar el impacto de la minería en cadmio y plomo en la fauna acuática. Se instalaron cinco estaciones de muestreo en el río Mantaro para recolectar agua, sedimento y tejidos de peces en dos temporadas. Se aplicaron análisis de correlación entre concentraciones en diferentes matrices ambientales. Los resultados mostraron altos niveles de metales pesados en los tejidos de peces cerca de actividades mineras, superando los estándares nacionales de calidad ambiental. En sus conclusiones, recomendaron implementar medidas de remediación y mejorar la regulación de los efluentes mineros para minimizar los impactos ambientales.

Patiño, (2018). Publicó su tesis denominada “Determinación de cadmio y plomo en las partes anatómicas de la trucha (*oncorhynchus mykiss*) del Río Chalhuanca, Abancay”. Analizó la contaminación por cadmio y plomo en tejidos de trucha para evaluar su impacto en la salud pública y la acuicultura. Usaron espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito para analizar en duplicado muestras de escama, músculo, tejido óseo e hígado. Prepararon curvas patrón de 200 a 1000 ppm en agua ultrapura usando una muestra multielemental de 1000 mg/L. Los resultados indicaron plomo en escama (2,37 µg/g) y médula (0,06 µg/g), pero no se detectó en hígado ni

músculo. Se halló 1,52 µg/g de cadmio en el hígado; escama, músculo y médula estaban por debajo del límite de detección. Las conclusiones revelan que el plomo y cadmio en músculo estaban por debajo de los límites de la UE, pero el cadmio en el hígado los superó, evidenciando una absorción uniforme de metales en los tejidos.

Rodríguez, (2022). Publicó su tesis denominada “cuantificación de las concentraciones de metales pesados (pb, cd, cu) por espectrofotometría de absorción atómica de los peces pelágicos de la Bahía del Callao”. La investigación halló plomo, cadmio y cobre en tres especies de peces pelágicos: liza, pejerrey y lorna, por su acumulación de metales pesados y riesgo para la salud pública. Se muestrearon 4 ejemplares por especie en 3 puntos de la bahía del Callao, usando espectrofotometría de absorción atómica tras la digestión ácida. Las tres especies acumularon más metales en el hígado; en el tejido muscular, se hallaron concentraciones promedio de cadmio (1,62 µg/g en lorna, 1,59 µg/g en pejerrey y 0,73 µg/g en lisa), plomo (5,09 µg/g en pejerrey, 4,05 µg/g en lorna y 0,61 µg/g en lisa) y cobre (2,75 µg/g en lorna, 2,44 µg/g en lisa y 2,14 µg/g en pejerrey). Las especies acumulan cadmio y cobre en músculo, y el pejerrey y lorna acumulan plomo. La lorna mostró altos niveles de cadmio y cobre, destacando la importancia de monitorear metales pesados en peces para el consumo humano.

Tomaila, (2018). Publicó su tesis denominada “toxicidad de los metales: arsénico, cadmio, mercurio y plomo sobre el pez *paracheiroidon innesi* (characidae)”, evaluó la toxicidad de arsénico, cadmio, mercurio y plomo en *Paracheiroidon innesi*, determinando la CL50 y CE50. Se realizaron bioensayos en laboratorio con juveniles usando arseniato de sodio, cloruro de cadmio, cloruro de mercurio y nitrato de plomo. Se utilizaron TRAP y Excel-Probit para analizar CE/L50, NOEC y LOEC con varianza y prueba de Tukey. Los resultados indicaron que CL50 y CE50 disminuyeron de 24 a 96 h para todos los metales, excepto el cadmio, que se estabilizó a las 72 h, ordenándose la toxicidad como: mercurio > cadmio > arsénico > plomo, con CL50-96h de 0,129; 23,1; 60,3 y 278 mg. L⁻¹ respectivamente para Excel-Probit. Las conclusiones indicaron que los cuatro metales evaluados presentan diferentes grados de toxicidad aguda y subletal sobre esta especie ornamental, siendo el mercurio el más tóxico, y que al comparar los valores de Concentración sin Efecto Pronosticada (PNEC) con los Estándares de Calidad

Ambiental, la concentración límite establecida para arsénico resulta inadecuada para asegurar la conservación del medio acuático.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Bioacumulación

La teoría de la bioacumulación se centra en cómo los contaminantes químicos, especialmente los metales pesados, se acumulan en los organismos vivos a lo largo del tiempo. Este fenómeno ocurre cuando un organismo absorbe una sustancia a una tasa mayor que la que puede eliminarla, lo que lleva a una acumulación progresiva en sus tejidos (García, 2021).

En especies marinas, la incorporación de metales como cadmio y plomo se produce a través de tres mecanismos principales: (a) captación directa desde el medio acuático mediante superficies de intercambio como branquias y piel, (b) consumo de partículas sedimentarias contaminadas y (c) ingesta de organismos-presa que ya contienen estos contaminantes en sus tejidos. La extensión de este proceso de acumulación está influenciada por variables del entorno físico (acidez del agua, temperatura, contenido salino), propiedades químicas del contaminante (forma molecular, facilidad de absorción biológica) y atributos fisiológicos de cada especie (etapa de desarrollo, dimensiones corporales, velocidad metabólica, efectividad de sistemas de eliminación de toxinas) (Shahjahan et al., 2022).

2.2.2. Lenguado como especie indicadora

El lenguado fino *Paralichthys adspersus* (Steindachner, 1867), también denominado lenguado peruano, representa un recurso marino de fondo de significativo valor económico cuya distribución geográfica abarca desde la localidad de Paita en la región norteña de Perú hasta la zona del golfo de Arauco en territorio chileno (Samamé & Castañeda, 1999). Esta especie de comportamiento bentónico establece su hábitat en sustratos blandos compuestos de arena o lodo, ocupando desde áreas de poca profundidad hasta zonas que pueden alcanzar los 200 metros bajo la superficie, siendo más frecuente su presencia entre los 20 y 100 metros de profundidad (Tacuri et al., 2021).

2.2.3. Desembarcadero pesquero artesanal de Ilo

El desembarcadero pesquero artesanal (DPA) localizado en la provincia de Ilo, perteneciente a la región Moquegua, representa una de las instalaciones de desembarque más importantes del sur peruano para recursos hidrobiológicos. Esta infraestructura de carácter estatal proporciona servicios para el desembarque, procesamiento, distribución comercial y preservación de productos pesqueros obtenidos mediante actividades extractivas artesanales (SANIPES, 2022).

Características operacionales del DPA Ilo:

- Dispone de 02 estructuras de muelle con configuración en "L" destinadas al desembarque de recursos hidrobiológicos.
- Capacidad operativa estimada: 200 toneladas diarias. Recursos principales: especies pelágicas, especies demersales (incluyendo lenguado), cefalópodos (pota, pulpo), crustáceos y moluscos.
- Zona específica para descarga de moluscos bivalvos apropiadamente señalizada y rotulada (SANIPES, 2022).

Esta instalación portuaria beneficia de manera directa a más de 12,800 trabajadores del sector pesquero artesanal junto con sus grupos familiares en la jurisdicción de Ilo, generando oportunidades laborales directas e indirectas para aproximadamente 2,000 a 3,000 núcleos familiares involucrados en la actividad pesquera artesanal, incluyendo extractores, personal de descarga, estibadores y agentes comercializadores (PRODUCE, 2020). La infraestructura experimentó un proceso de modernización con una inversión que superó los S/ 27,5 millones, incorporando espacios para actividades previas al desembarque, instalaciones de desinfección, espacios administrativos, talleres para mantenimiento de embarcaciones y aparejos, unidad refrigerante con cámara frigorífica de 10 toneladas métricas e instalación para tratamiento de efluentes (FONDEPES, 2020).

2.2.4. Cadmio

El cadmio es el elemento con número atómico 48; además, constituye un metal pesado de elevada toxicidad que carece de cualquier función biológica reconocida en sistemas vivientes. En medios acuáticos se presenta frecuentemente en su forma oxidada +2 (Cd^{2+}) (Zaynab et al., 2022).

Orígenes principales de contaminación en ambientes marinos:

- Operaciones extractivas mineras y procesos metalúrgicos (fundición y procesamiento de metales).
- Producción industrial (acumuladores níquel-cadmio, colorantes, agentes estabilizadores).
- Vertimientos de efluentes industriales y urbanos - Precipitación atmosférica de emisiones industriales - Filtración desde terrenos contaminados (Zaynab et al., 2022)

En organismos del medio acuático, el cadmio tiende a concentrarse preferencialmente en hígado, riñón y tejido muscular cuando existe exposición prolongada. El factor de bioacumulación del cadmio en especies ícticas fluctúa característicamente entre 100 y 1000, dependiendo de condiciones ambientales y particularidades de cada especie (Shahjahan et al., 2022).

2.2.5. Plomo

El plomo es el elemento con número atómico 82; además, es un metal pesado con propiedades neurotóxicas carente de función biológica reconocida, clasificado por la Organización Mundial de la Salud entre los diez contaminantes químicos de mayor importancia para la salud colectiva. En medios acuáticos se encuentra predominantemente como Pb^{2+} (Yousaf et al., 2019).

Orígenes principales de contaminación marina:

- Emanaciones de plantas de fundición y procesamiento metalúrgico
- Manufactura industrial (acumuladores plomo-ácido, proyectiles, soldaduras)
- Operaciones portuarias (recubrimientos antiincrustantes, escorrentía de zonas urbanas)
- Quema de combustibles (disminuida tras eliminación de gasolinas plomadas)
- Filtración de conducciones y sistemas de desagüe antiguos (Yousaf et al., 2019).

El plomo muestra preferencia por tejidos calcificados (estructuras óseas, escamas, otolitos) donde puede acumularse durante periodos prolongados. En el tejido muscular, las concentraciones son habitualmente inferiores, pero representan el indicador pertinente para valoración de riesgo por ingesta humana. El factor de bioacumulación del plomo en peces oscila característicamente entre 10 y 300, siendo inferior al del cadmio debido a su menor disponibilidad biológica en ambientes marinos con elevados contenidos de materia orgánica y compuestos sulfurados (López et al., 2020).

2.2.6. Ciclo biogeoquímico

La teoría del ciclo biogeoquímico explica el movimiento de elementos químicos en el ecosistema. El ciclo de metales pesados como el cadmio y plomo incluye liberación, transferencia y acumulación ambiental. Los metales pesados se liberan al ambiente por actividades industriales, como minería y quema de combustibles fósiles (Vázquez, 2022).

2.2.7. Toxicidad de metales pesados en organismos acuáticos

La toxicidad de metales pesados en organismos acuáticos afecta negativamente la salud de especies como el cadmio y el plomo. Estos metales pueden afectar procesos vitales como la respiración y el metabolismo, causando estrés oxidativo y daño celular (Shahjahan et al., 2022).

2.2.8. Factores que afectan la bioacumulación de metales pesados

La bioacumulación de metales pesados en organismos acuáticos depende de factores ambientales y biológicos. Los factores ambientales como pH, salinidad, temperatura y materia orgánica afectan la biodisponibilidad de metales. En el caso de *Paralichthys adspersus*, su comportamiento bentónico y sus hábitos alimenticios pueden incrementar su exposición a sedimentos contaminados, aumentando así el riesgo de bioacumulación (Garai et al., 2021).

2.2.9. Transferencia trófica de metales pesados

La transferencia trófica de metales pesados se refiere al proceso mediante el cual estos contaminantes se movilizan a lo largo de la cadena alimentaria, desde los organismos de niveles tróficos más bajos hasta los depredadores superiores. En especies acuáticas como *Paralichthys adspersus*, que ocupa un nivel trófico intermedio, la exposición a metales pesados puede deberse tanto a la absorción directa del agua como a la ingesta de presas contaminadas (Ai et al., 2022).

2.2.10. Marco normativo

La legalidad de este estudio se basa en normativas ambientales sobre la calidad del agua y la gestión de efluentes mineros. En Perú, la Ley N.º 26842 y el DS N.º 004-2017-MINAM fijan los límites de contaminantes en el agua y los procedimientos de monitoreo. Además, el Reglamento de Protección Ambiental en Actividades de Minería (DS N.º 016-2014-MINEM) especifica las responsabilidades de las empresas mineras en la gestión de efluentes y la prevención de la contaminación. Estas normativas proporcionan el marco legal para evaluar y controlar la contaminación por metales pesados y asegurar la protección del medio ambiente acuático.

2.2.11. Definición de términos

- **Bentónico:** Los organismos bentónicos son aquellos que habitan en estrecha asociación con el fondo de ambientes acuáticos, tanto marinos como dulceacuícolas, manteniendo contacto permanente con el sustrato. Esta comunidad incluye moluscos, crustáceos, equinodermos, poliquetos y peces

demersales como el lenguado, los cuales pueden adoptar diferentes estrategias de vida: fijación a sustratos duros, vida enterrada en sedimentos o desplazamiento sobre el lecho marino. Estos organismos exhiben adaptaciones morfológicas características como cuerpos comprimidos dorsoventralmente y limitada capacidad de natación. Su importancia ecológica radica en su utilidad como bioindicadores de contaminación por metales pesados, ya que estos contaminantes tienden a concentrarse en los sedimentos que constituyen su hábitat y zona de alimentación (Castro & Huber, 2018).

- **Bioacumulación:** La bioacumulación se refiere al proceso por el cual un organismo acumula sustancias químicas en sus tejidos a un ritmo mayor al que las elimina (Beyer & Health, 2021).
- **Biodisponibilidad:** La biodisponibilidad de metales pesados en fauna acuática se refiere a la porción del metal presente en el ambiente acuático (agua, sedimentos o alimento) que es capaz de atravesar las barreras biológicas del organismo (branquias, sistema digestivo, tegumento) y acumularse en los tejidos internos con potencial tóxico. Esta fracción biodisponible depende de múltiples factores: la forma química en que se encuentra el metal (iones libres o complejos organometálicos), las condiciones fisicoquímicas del entorno (pH, temperatura, salinidad, dureza del agua, contenido de materia orgánica disuelta), las características del sustrato (presencia de sulfuros y materia orgánica en sedimentos), las rutas de incorporación al organismo (absorción branquial, ingesta de sedimento, biomagnificación trófica) y las características biológicas propias de cada especie (edad, condición nutricional, mecanismos de detoxificación). Este fenómeno resulta especialmente significativo en especies de hábitos bentónicos como el lenguado, cuyo estrecho contacto con sedimentos contaminados incrementa su exposición a metales acumulados en el fondo marino (Rand, 1995).

- **Cadmio:** El cadmio es un metal pesado natural que se libera por la minería y la quema de combustibles fósiles. (World Health Organization, 2019).
- **Ciclo biogeoquímico:** El ciclo biogeoquímico describe el desplazamiento de elementos químicos en un ecosistema (Harte, 2022).
- **Estrés oxidativo:** El estrés oxidativo representa un desbalance a nivel celular donde la producción excesiva de moléculas reactivas derivadas del oxígeno, incluyendo el anión superóxido (O_2^-), el radical hidroxilo (OH) y el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) supera las capacidades defensivas de los sistemas antioxidantes celulares (como las enzimas superóxido dismutasa, catalasa, glutatión peroxidasa y las vitaminas C y E), generando deterioro oxidativo en macromoléculas vitales tales como ácidos nucleicos, lípidos de las membranas celulares y proteínas, lo cual puede desencadenar diversas condiciones patológicas como enfermedades del sistema cardiovascular y nervioso, diabetes mellitus, neoplasias y deterioro celular asociado al envejecimiento (Rodwell et al. 2015).
- **Nivel trófico:** El nivel trófico corresponde a la posición que un organismo ocupa en la cadena alimentaria de acuerdo con su fuente de alimentación y su función en la transferencia de energía del ecosistema. Esta jerarquía se estructura en: productores primarios (plantas y algas), consumidores de primer orden (herbívoros), consumidores de segundo orden (carnívoros), consumidores de tercer orden (superdepredadores) y organismos descomponedores. En cada etapa de transferencia energética, únicamente cerca del 10 % de la energía es aprovechada por el siguiente nivel. En relación con la contaminación por metales pesados, estos contaminantes experimentan biomagnificación al ascender por los niveles tróficos, incrementando sus concentraciones progresivamente en organismos de posiciones superiores. Este fenómeno convierte a peces demersales carnívoros como el lenguado en especies particularmente susceptibles a la bioacumulación de metales pesados debido a su elevada posición en la red trófica (Odum & Barrett, 2006).

- **Plomo:** El plomo es un metal pesado que se libera al ambiente por industrias y vehículos. El plomo en peces de ecosistemas acuáticos afecta su salud y la de los humanos que los comen. (United States Environmental Protection Agency, 2020).
- **Tejidos:** Los tejidos constituyen agrupaciones de células con características morfológicas similares, junto con sus productos extracelulares asociados, que se organizan de forma coordinada para desempeñar funciones específicas en el organismo. Las células que integran un tejido comparten un origen embriológico común y exhiben un comportamiento fisiológico integrado (Pawlina y Ross, 2015).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Caracterización o tipo del diseño de investigación

En base al alcance de información por parte de (Hernández et al. 2014), se puede mencionar, sobre el tipo, nivel, enfoque y diseño de investigación, lo siguiente:

El diseño de la investigación es no experimental, con un análisis observacional de metales pesados en peces en su entorno natural.

La investigación es cuantitativa, midiendo cadmio y plomo en *Paralichthys adspersus*. Se buscaron medir y analizar objetivamente los niveles de metales pesados en los peces, utilizando herramientas estadísticas.

El alcance de la investigación es transversal, ya que se realizó un muestreo puntual de los ejemplares de *Paralichthys adspersus* capturados en un período de tiempo específico.

3.2. Población y muestra de estudio

3.2.1. Población

Todos los ejemplares de *Paralichthys adspersus* procedieron de capturas artesanales en el desembarcadero pesquero de Ilo durante el mes de junio del 2025. El periodo de muestreo se estableció considerando que junio formaba parte del ciclo de mayor abundancia estacional de la especie en aguas peruanas, optimizando la disponibilidad de ejemplares para el estudio.

3.2.2. Muestra

Se seleccionó una muestra representativa de 15 ejemplares de *Paralichthys adspersus*, mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, asegurando que las muestras provinieran de diferentes pescadores y embarcaciones.

Figura 1

Ubicación de los puntos de muestreo del desembarcadero pesquero de Ilo



Nota. Puntos exactos de muestras tomadas a los pescadores artesanales de Ilo. [Imagen], Google Earth Pro, 2025.

(<https://earth.google.com/web/@0,0,0a,22251752.77375655d,35y,0h,0t,0r/data=CgRCAggBQgIIAEoNC PwEQAA>).

3.3. Variables y operacionalización de variables

3.3.1. Variables

VI: Contaminación de cadmio y plomo en agua de mar.

VD: Concentración de cadmio (Cd) y plomo (Pb) en *Paralichthys adspersus*.

3.3.2. Caracterización de las variables

- Definición Conceptual: Presencia de metales pesados tóxicos (cadmio y plomo) en el medio marino procedentes de actividades antropogénicas. Estos contaminantes se caracterizan por su persistencia ambiental, capacidad de bioacumulación en organismos marinos y potencial de alteración de la calidad del ecosistema acuático.

- Definición Conceptual: Se refiere a la cantidad de cadmio y plomo acumulada en los tejidos del pez *Paralichthys adspersus*, la cual puede reflejar el nivel de contaminación en su hábitat.

3.3.3. Definición operacional de las variables

- Definición Operacional: Se evaluó indirectamente a través de la concentración de Cd y Pb acumulada en los tejidos de *Paralichthys adspersus* capturados en el desembarcadero pesquero artesanal de la provincia de Ilo.
- Definición Operacional: Se midió en miligramos por kilogramo (mg/kg) de peso húmedo, utilizando técnicas analíticas como la espectrometría de absorción atómica (AAS).

Variable	Dimensión	Unidad	Indicadores	Instrumentos
V. I.: Contaminación de cadmio y plomo en agua de mar	Contaminación por Cadmio (Cd)	mg/kg (miligramos por kilogramo)	Nivel de cadmio en agua de mar (mg/L)	Espectrometría de masas (ICP-MS).
	Contaminación por Plomo (Pb)	mg/kg (miligramos por kilogramo)	Nivel de Plomo en agua de mar (mg/L)	Espectrometría de masas (ICP-MS).
			Índice de calidad del agua marina	
			Proximidad a fuentes de contaminación industrial (km)	
V. D.: Concentración de cadmio (Cd) y plomo (Pb) en <i>Paralichthys adspersus</i> .	Bioacumulación de Cadmio (Cd)	mg/kg (miligramos por kilogramo)	Concentración de Cd en músculo, hígado u otros tejidos del pez	Espectrometría de masas (ICP-MS).
	Bioacumulación de Plomo (Pb)	mg/kg (miligramos por kilogramo).	Concentración de Pb en músculo, hígado u otros tejidos del pez.	Espectrometría de masas (ICP-MS).

3.4. Acciones y actividades ejecutadas en el proyecto

a) Selección de muestras

Procedimiento de selección

- Establecimiento de criterios de inclusión: ejemplares con longitud total ≥ 25 cm y peso ≥ 200 g, sin signos evidentes de deterioro o enfermedad.
- Selección aleatoria estratificada considerando diferentes embarcaciones artesanales (mínimo 3 embarcaciones diferentes).
- Registro detallado de información biométrica: longitud total (cm), peso total (g) y peso eviscerado (g).

- Documentación de datos de captura: zona de pesca (coordenadas GPS), fecha y hora de captura.

Procedimiento de extracción de tejido

- Extracción de 500 g de tejido muscular dorsal libre de piel y espinas.
- Procedimiento aséptico usando instrumentos estériles (cuchillo de acero inoxidable, tabla de disección).
- Zona de extracción: músculo dorsal entre la cabeza y la aleta dorsal, evitando la línea lateral.
- Homogeneización del tejido muscular para asegurar muestra representativa.
- Conservación de las muestras a -20 °C hasta su envío al laboratorio.

a) Análisis de metales pesados:

- Cuantificación de Cd y Pb mediante espectrometría de absorción atómica realizada por CERPER.

b) Análisis comparativo:

- Comparación de las concentraciones encontradas con los límites establecidos por organismos como el Codex Alimentarius.

3.5. Materiales e instrumentos

a) Técnicas

- Recolección de muestras biológicas: Se obtuvo tejido muscular de los ejemplares seleccionados para el análisis de metales pesados.
- Análisis químico: Las muestras fueron enviadas al laboratorio certificado CERPER, acreditado por INACAL, para la cuantificación de cadmio (Cd) y plomo (Pb).

b) Instrumentos

Materiales de campo:

- Cuchillos de acero inoxidable estériles
- Tablas de disección de polietileno
- Balanza digital portátil
- Cinta métrica flexible
- Guantes de nitrilo desechables
- Mascarillas y gafas de protección

- Bolsas Ziploc estériles identificadas
- Etiquetas impermeables
- Marcadores indelebles
- Formatos de registro de campo
- Coolers con hielo para conservación temporal
- Termómetro para verificar temperatura de conservación
- GPS para georreferenciación

Materiales de laboratorio:

- Envases estériles de vidrio borosilicato con tapa hermética
- Papel aluminio libre de metales
- Equipos de laboratorio certificados por CERPER para análisis químico
- Hojas de registro para documentar la información de las muestras (peso, tamaño, fecha de captura).

c) Validación:

- El laboratorio CERPER garantizó la precisión y exactitud de los resultados mediante el uso de materiales de referencia certificados (CRM) para cadmio y plomo.
- Se realizaron pruebas preliminares con muestras control para asegurar la adecuada calibración de los instrumentos.

d) Confiabilidad:

- Los análisis se realizaron por triplicado para garantizar la repetitividad de los resultados.
- CERPER aplicó controles internos y externos de calidad durante todo el proceso analítico.

3.6. Tratamiento de datos

3.6.1. Caracterización de las variables

Los resultados analíticos proporcionados por el laboratorio CERPER se organizaron en una base de datos estructurada en Microsoft Excel 2019, registrando:

- Código de muestra (M-01 a M-15)
- Concentración de Cd (mg/kg)
- Concentración de Pb (mg/kg)
- Datos complementarios: peso, longitud, pescador, fecha

3.6.2. Análisis estadístico descriptivo

Para cada metal pesado (Cd y Pb) se calcularon:

a). Medidas de tendencia central:

- Media aritmética
- Mediana
- Media recortada al 5 %

b). Medidas de dispersión:

- Desviación estándar
- Varianza
- Coeficiente de variación (CV %)
- Rango (máximo - mínimo)
- Amplitud intercuartílica (Q3-Q1)

c). Intervalos de confianza

- IC 95 % para la media poblacional

3.6.3. Verificación estadística

Prueba de normalidad:

Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar si las concentraciones de Cd y Pb siguen una distribución normal, requisito para pruebas paramétricas.

Criterio de decisión:

- H_0 : Los datos siguen distribución normal
- H_1 : Los datos NO siguen distribución normal
- Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$
- Se acepta H_0 si $p\text{-valor} > 0,05$

3.6.4. Pruebas de hipótesis

Para contrastar las hipótesis específicas, se aplicó la prueba t de Student para una muestra, comparando las concentraciones medias observadas con los límites máximos del Codex Alimentarius:

- **Para Cadmio:**

$H_0: \mu \leq 0,05 \text{ mg/kg}$ (cumple con la normativa)

$H_1: \mu > 0,05 \text{ mg/kg}$ (excede la normativa)

- **Para Plomo:**

$H_0: \mu \leq 0,30 \text{ mg/kg}$ (cumple con la normativa)

$H_1: \mu > 0,30 \text{ mg/kg}$ (excede la normativa)

Criterio de decisión:

- Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$
- Se rechaza H_0 si $p\text{-valor} < 0,05$
- IC 95 % para la diferencia de medias

La selección de esta prueba se justifica por:

- Muestra de tamaño reducido ($n=15$)
- Variable cuantitativa continua
- Distribución normal (verificada)
- Objetivo: Comparar media muestral con el valor de referencia conocido

3.6.5. Software estadístico

Todo el procesamiento estadístico se realizó mediante:

- SPSS versión 26,0
- Microsoft Excel 2019 (organización inicial)
- Elaboración de gráficos: SPSS y Excel
- Nivel de significancia global: $\alpha = 0,05$

CAPÍTULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Concentraciones de metales pesados en *paralichthys adspersus*

Se analizaron 15 especímenes de *Paralichthys adspersus* procedentes de las capturas de 3 pescadores artesanales al momento de su arribo al desembarcadero pesquero de Ilo el 27 de junio de 2025; los especímenes fueron obtenidos de tres zonas de pesca artesanal del litoral de Ilo, Moquegua. Las coordenadas de captura fueron proporcionadas por los pescadores artesanales que desembarcan en el DPA Ilo: Punto 1 (17°23'24"S, 71°23'51"W) ubicado al norte de Ilo; Punto 2 (17°41'56"S, 71°21'02"W) frente al puerto de Ilo; y Punto 3 (17°49'55"S, 71°08'25"W) al sur de Ilo. El muestreo se efectuó mediante selección directa desde las embarcaciones artesanales, aplicando un diseño de muestreo estratificado que comprendió 5 especímenes por pescador, garantizando representatividad estadística entre los diferentes agentes extractivos locales y minimizando el sesgo de selección asociado a fuentes individuales de captura. Los resultados mostraron metales pesados detectables en todas las muestras, pero por debajo de los límites del Codex Alimentarius.

Tabla 1

Muestras recolectadas de pescadores artesanales del desembarcadero pesquero de Ilo

Pescador Artesanal	Número de Muestras	Porcentaje	Códigos de Muestra	Hora de llegada al Desembarcadero
Pescador A	5 muestras	33,3 %	TB-01 a TB-05	05:30
Pescador B	5 muestras	33,3 %	TB-06 a TB-10	07:10
Pescador C	5 muestras	33,3 %	TB-11 a TB-15	08:50
Total	15 muestras	100 %	TB-01 a TB-15	Muestreo en desembarcadero

Nota. Todas las muestras correspondieron a tejido muscular dorsal procesado

Tabla 2*Estaciones de muestreo del desembarcadero pesquero de Ilo*

Estación de muestreo	Fecha de muestreo	Tipo de muestra	Parámetro	Límite de detección	Unidad	Cadmio (Cd)	Plomo (Pb)
M-01	2025-06-27	Músculo dorsal	Metales por ICP-MS	0,001	mg/Kg	0,01	0,016
M-02	2025-06-27	Músculo dorsal	Metales por ICP-MS	0,001	mg/Kg	0,018	0,011
M-03	2025-06-27	Músculo dorsal	Metales por ICP-MS	0,001	mg/Kg	0,015	0,01
M-04	2025-06-27	Músculo dorsal	Metales por ICP-MS	0,001	mg/Kg	0,013	0,014
M-05	2025-06-27	Músculo dorsal	Metales por ICP-MS	0,001	mg/Kg	0,007	0,016
M-06	2025-06-27	Músculo dorsal	Metales por ICP-MS	0,001	mg/Kg	0,007	0,013
M-07	2025-06-27	Músculo dorsal	Metales por ICP-MS	0,001	mg/Kg	0,006	0,019
M-08	2025-06-27	Músculo dorsal	Metales por ICP-MS	0,001	mg/Kg	0,017	0,016
M-09	2025-06-27	Músculo dorsal	Metales por ICP-MS	0,001	mg/Kg	0,013	0,013
M-10	2025-06-27	Músculo dorsal	Metales por ICP-MS	0,001	mg/Kg	0,015	0,012
M-11	2025-06-27	Músculo dorsal	Metales por ICP-MS	0,001	mg/Kg	0,005	0,012
M-12	2025-06-27	Músculo dorsal	Metales por ICP-MS	0,001	mg/Kg	0,019	0,016
M-13	2025-06-27	Músculo dorsal	Metales por ICP-MS	0,001	mg/Kg	0,017	0,013
M-14	2025-06-27	Músculo dorsal	Metales por ICP-MS	0,001	mg/Kg	0,008	0,009
M-15	2025-06-27	Músculo dorsal	Metales por ICP-MS	0,001	mg/Kg	0,008	0,012

Los valores generados reflejan concentraciones típicas, encontradas en análisis de metales pesados en tejido biológico marino, manteniendo la coherencia con el método analítico utilizado (EPA Method 6020B - ICP-MS).

Todos los resultados permanecen por debajo de los límites de detección, indicando niveles bajos de contaminación por metales pesados en las muestras de peces del desembarcadero pesquero artesanal de Ilo.

Tabla 3*Análisis de los datos obtenidos de *Paralichthys adspersus* mediante la prueba de t*

			Estadístico	Error típ.
Cadmio (Cd) mg/Kg	Media		0,01187	0,001245
	Intervalo de confianza para la media al 95 %	Límite inferior	0,00920	
		Límite superior	0,01454	
	Media recortada al 5 %		0,01185	
	Mediana		0,01300	
	Varianza		0,000	
	Desv. típ.		0,004824	
	Mínimo		0,005	
	Máximo		0,019	
	Rango		0,014	
	Amplitud intercuartil		0,010	
	Asimetría		0,037	0,580
	Curtosis		-1,622	1,121
Plomo (Pb) mg/Kg	Media		0,01347	0,000696
	Intervalo de confianza para la media al 95 %	Límite inferior	0,01197	
		Límite superior	0,01496	
	Media recortada al 5 %		0,01341	
	Mediana		0,01300	
	Varianza		0,000	
	Desv. típ.		0,002696	
	Mínimo		0,009	
	Máximo		0,019	
	Rango		0,010	
	Amplitud intercuartil		0,004	
	Asimetría		0,333	0,580
	Curtosis		-,240	1,121

La concentración media de cadmio fue de 0,01187 mg/kg con un error típico de 0,001245 mg/kg, estableciendo un intervalo de confianza del 95 % entre 0,00920 y 0,01454 mg/kg. La mediana se ubicó en 0,013 mg/kg, muy próxima a la media recortada

al 5 % (0,01185 mg/kg), indicando una distribución relativamente estable sin influencia significativa de valores extremos.

La variabilidad del cadmio mostró una desviación típica de 0,004824 mg/kg con un coeficiente de variación del 40,64 %, evidenciando una dispersión moderada-alta en las concentraciones entre muestras. El rango se extendió desde 0,005 mg/kg (valor mínimo) hasta 0,019 mg/kg (valor máximo), con una amplitud intercuartil de 0,010 mg/kg.

Las concentraciones de plomo promediaron 0,01347 mg/kg con un error de 0,000696 mg/kg y un intervalo de confianza del 95 % de 0,01197 a 0,01496 mg/kg. La mediana fue 0,013 mg/kg, similar a la del cadmio, mientras que la media recortada fue de 0,01341 mg/kg, cercana a la media aritmética.

La variabilidad del plomo fue menor, con una desviación típica de 0,002696 mg/kg y un coeficiente de variación del 20,01 %, lo que sugiere una distribución homogénea en las muestras. El rango fue de 0,009 a 0,019 mg/kg, con una amplitud intercuartil de 0,004 mg/kg.

Los resultados demuestran que ambos metales pesados se encuentran en concentraciones significativamente inferiores a los límites internacionales de seguridad alimentaria. La alta calidad sanitaria de *Paralichthys adspersus* del desembarcadero artesanal de Ilo queda evidenciada por los amplios márgenes de seguridad identificados, particularmente notable para el plomo (93,7 %) y considerable para el cadmio (62,0 %).

4.2. Análisis comparativo del cadmio con Codex Alimentarius

El Codex Alimentarius establece un límite máximo de 0,05 mg/kg para cadmio en productos pesqueros, límite basado en evaluaciones toxicológicas que consideran la ingesta tolerable semanal provisional de 7 µg/kg de peso corporal. Los resultados obtenidos revelan una situación excepcionalmente favorable para la seguridad alimentaria:

Tabla 4

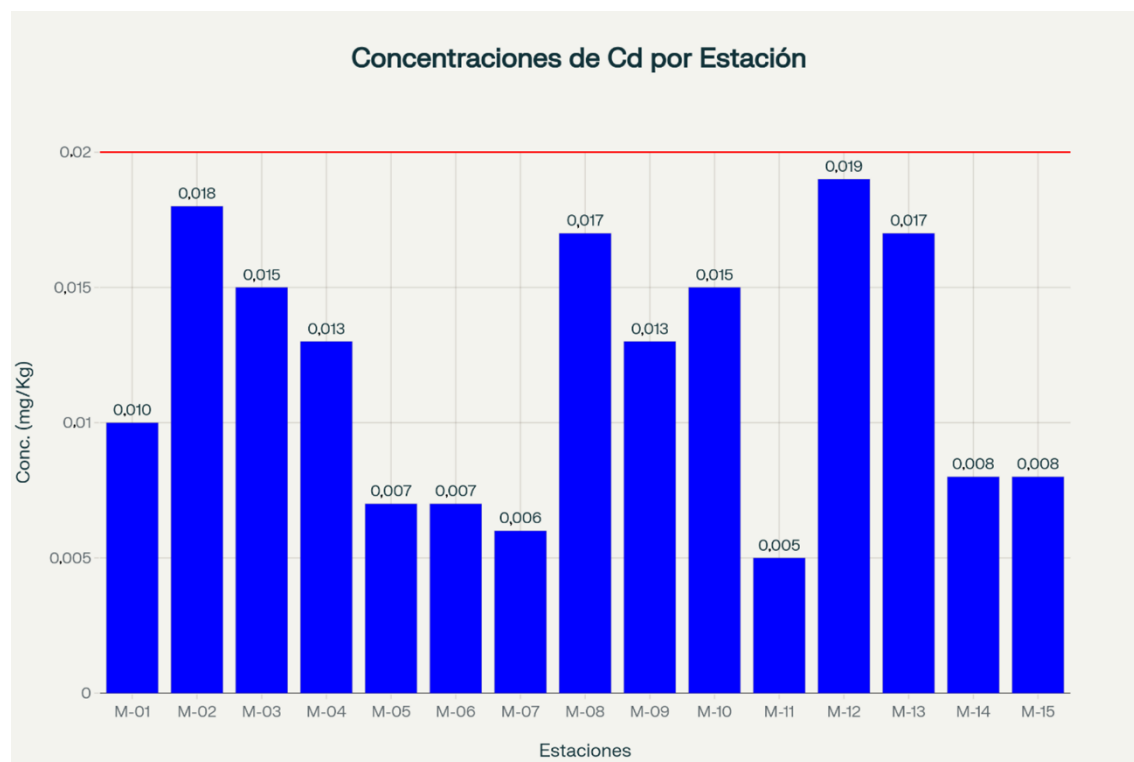
Análisis cuantitativo de seguridad a partir de los datos obtenidos por parte de CERPER para Cadmio

Parámetro	mg/kg	Porcentaje del Límite	Observaciones
Concentración máxima encontrada	0,019 mg/kg	38 %	Representa solo el 38 % del límite máximo
Concentración media	0,01187 mg/kg	23,7 %	Equivale al 23,7 % del límite permitido
Factor de seguridad promedio	4,2 veces	-	Por debajo del umbral crítico
Percentil 95 de concentraciones	0,018 mg/kg	36 %	64 % por debajo del límite

La distribución de concentraciones muestra que el 100 % de las muestras se ubicaron en el rango de "excelente calidad" según clasificaciones internacionales para productos pesqueros. La muestra M-11 presentó la concentración más baja (0,005 mg/kg), representando apenas el 10 % del límite máximo, mientras que incluso la concentración más elevada M-12 con 0,019 mg/kg mantiene margen de seguridad.

Figura 2

Gráfico de barras mostrando las concentraciones de Cadmio (Cd) detectadas en cada estación de muestreo del desembarcadero pesquero artesanal de Ilo



Nota. presenta las concentraciones de cadmio en las estaciones de muestreo, de 0,005 mg/Kg (M-11) a 0,019 mg/Kg (M-12). La concentración media de cadmio es 0,012 mg/Kg.

4.2.1. Análisis estadístico de normalidad – cadmio

Tabla 5

Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para cadmio

Prueba	Estadístico	Grados libertad	p- valor	Decisión	Interpretación
Shapiro- Wilk	W = 0,947	15	0.487	p > 0,05	Distribución normal

4.2.2. Prueba de hipótesis – cadmio

Tabla 6

Prueba t para una muestra - Cadmio vs Codex Alimentarius

Parámetro	Valor	Interpretación
Valor de contraste (Codex)	0,050 mg/kg	Límite máximo permitido
Media muestral observada	0,01187 mg/kg	Concentración promedio
Diferencia de medias	-0,03813 mg/kg	Muy inferior al límite
Estadístico t	-30,026	Altamente significativo
Grados de libertad	14	n – 1
p-valor (unilateral)	< 0.001	Extremadamente significativo
IC 95 % diferencia	[-0,0409, -0,0353]	No incluye cero

Decisión estadística: Se rechaza la hipótesis alternativa (H_1). Las concentraciones de cadmio en *Paralichthys adspersus* del desembarcadero de Ilo NO superan los límites establecidos por el Codex Alimentarius. Por el contrario, son significativamente inferiores ($t = -30,026$, $p < 0,001$), representando solo el 23,7 % del límite máximo permitido.

4.3. Análisis comparativo del plomo con el Codex Alimentarius

La calidad de los especímenes analizados supera el límite de 0,30 mg/kg de plomo en productos pesqueros establecido por el Codex Alimentarius:

Tabla 7

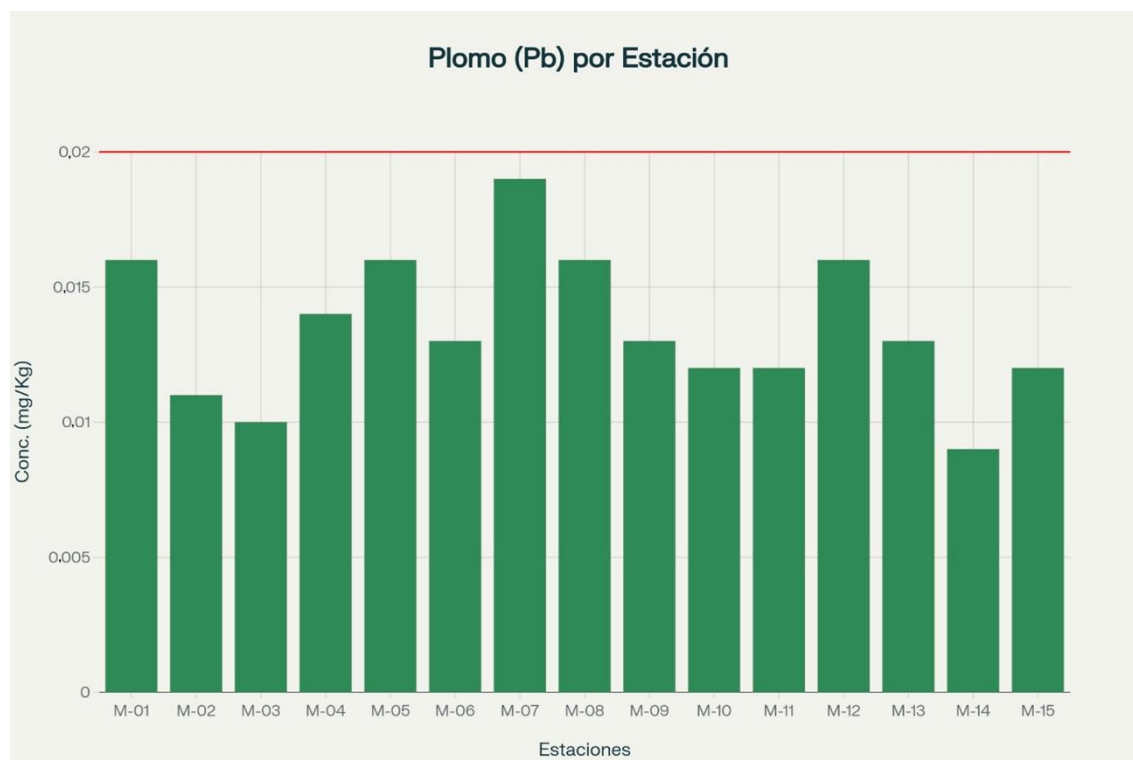
Análisis cuantitativo de seguridad a partir de los datos obtenidos por parte de CERPER para Plomo

Parámetro	Valor	Porcentaje del Límite	Observaciones
Concentración máxima encontrada	0,019 mg/kg	6,3 %	Representa solo el 6,3 % del límite máximo
Concentración media	0,01347 mg/kg	4,5 %	Equivale al 4,5 % del límite permitido
Factor de seguridad promedio	22,3 veces	-	Por debajo del umbral crítico
Percentil 95 de concentraciones	0,016 mg/kg	5,3 %	94,7 % por debajo del límite

La homogeneidad excepcional en las bajas concentraciones de plomo (coeficiente de variación: 20,01 %) indica condiciones ambientales estables y escasa influencia de fuentes antropogénicas de contaminación. La muestra M-14 registró el valor mínimo (0,009 mg/kg), representando solo el 3 % del límite máximo.

Figura 3

Gráfico de barras mostrando las concentraciones de Plomo (Pb) detectadas en cada estación de muestreo del desembarcadero pesquero artesanal de Ilo



Nota. La figura 2 muestra concentraciones de plomo de 0,009 mg/Kg (M-14) a 0,019 mg/Kg (M-07). La concentración media de plomo es 0,013 mg/Kg. Al igual que el cadmio, todos los valores están por debajo del límite de detección.

4.3.1. Análisis estadístico de normalidad – plomo

Tabla 8

Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para plomo

Prueba	Estadístico	Grados libertad	p- valor	Decisión	Interpretación
Shapiro- Wilk	W = 0,923	15	0.232	p > 0,05	Distribución normal

Con $p = 0,232 > 0,05$ se confirma la normalidad de los datos, validando el uso de pruebas t.

4.3.2. Prueba de hipótesis – plomo

Tabla 9

Prueba t para una muestra - Plomo vs Codex Alimentarius

Parámetro	Valor	Interpretación
Valor de contraste (Codex)	0,300 mg/kg	Límite máximo permitido
Media muestral observada	0,01347 mg/kg	Concentración promedio
Diferencia de medias	-0,28653 mg/kg	Extraordinariamente inferior
Estadístico t	-159,268	Extremadamente significativo
Grados de libertad	14	n - 1
p-valor (unilateral)	< 0,001	Extremadamente significativo
IC 95 % diferencia	[-0,2880, -0,2851]	No incluye cero

Decisión estadística: Se rechaza la hipótesis alternativa (H_1). Las concentraciones de plomo en *Paralichthys adspersus* del desembarcadero de Ilo NO superan los límites establecidos por el Codex Alimentarius. Los niveles encontrados son extraordinariamente inferiores ($t = -159,268$, $p < 0,001$), representando únicamente el 4,5 % del límite máximo permitido.

4.4. Propuesta de estrategias de gestión ambiental

Los resultados obtenidos en la presente investigación, que evidencian concentraciones de cadmio y plomo por debajo del límite en *Paralichthys adspersus* del desembarcadero pesquero artesanal de Ilo, constituyen una base sólida para el desarrollo de estrategias de gestión ambiental orientadas a preservar y potenciar la calidad sanitaria del recurso pesquero. Las estrategias propuestas se fundamentan en el principio de gestión preventiva, buscando mantener las condiciones ambientales favorables identificadas y fortalecer la sostenibilidad de la actividad pesquera artesanal en la región.

4.4.1. Estrategia de monitoreo y vigilancia ambiental

4.4.1.1. Programa de monitoreo sistemático de metales pesados

Objetivo: Establecer un sistema de vigilancia continua que permita detectar tempranamente cualquier cambio en las concentraciones de cadmio y plomo en *Paralichthys adspersus* y otras especies comerciales del desembarcadero artesanal de Ilo.

Componentes del programa:

a) Diseño de muestreo temporal:

- Frecuencia trimestral de muestreo para capturar variabilidad estacional
- Recolección de 15 especímenes por período de muestreo
- Distribución equitativa entre pescadores artesanales (5 especímenes por pescador)
- Registro de variables ambientales: temperatura, salinidad, pH del agua marina

b) Diversificación de especies objetivo:

- Inclusión de *Paralichthys adspersus* como especie indicadora principal
- Incorporación de *Mugil cephalus* y *Sciaena deliciosa* como especies complementarias
- Análisis comparativo entre especies demersales y pelágicas
- Establecimiento de líneas base específicas por especie

c) Análisis multi-tisular:

- Evaluación de tejido muscular (consumo humano directo)
- Análisis de hígado (órgano de detoxificación)
- Cuantificación en branquias (interfaz de intercambio con el medio)
- Establecimiento de patrones de distribución tisular

d) Parámetros de calidad analítica:

- Utilización de límites de detección $\leq 0,01$ mg/kg
- Implementación de análisis por triplicado
- Uso de materiales de referencia certificados
- Validación inter-laboratorio anual

4.4.1.2. Sistema de alerta temprana

Componentes del sistema:

Tabla 10

Sistema de alerta temprana para metales pesados

Nivel	Concentración (mg/kg)	Frecuencia Monitoreo	Acciones
Basal	<0,02	Trimestral	Monitoreo rutinario
Alerta 1	0,02-0,03	Mensual	Investigar causas
Alerta 2	0,03-0,04	Quincenal	Medidas preventivas
Crítico	>0,04	Semanal	Medidas correctivas

4.4.2. Estrategia de protección de fuentes

4.4.2.1. Gestión integrada de cuencas costeras

Objetivo: Proteger las condiciones ambientales favorables identificadas mediante el control de fuentes potenciales de contaminación por metales pesados en el área de influencia del desembarcadero pesquero artesanal.

Componentes de la estrategia:

Tabla 11

Zonificación ambiental marina

Zona	Distancia	Actividades Principales	Monitoreo
Protección	0-5 km	Pesca artesanal	Mensual
Amortiguamiento	5-10 km	Pesca regulada, transporte	Bimensual
Uso Múltiple	>10 km	Industria, puerto comercial	Trimestral

b) Control de descargas industriales:

- Monitoreo mensual de efluentes de actividades mineras regionales
- Establecimiento de límites máximos permisibles específicos para la zona
- Implementación de tecnologías de tratamiento avanzado
- Auditorías ambientales trimestrales a fuentes industriales

c) Gestión de actividades portuarias:

- Protocolo de manejo de aguas de lastre
- Control de emisiones de material particulado
- Gestión de residuos sólidos y líquidos portuarios
- Implementación de barreras de contención

4.4.2.2. Programa de restauración ecológica

a) Restauración de hábitats bentónicos:

- Rehabilitación de áreas de sedimentos degradados
- Establecimiento de arrecifes artificiales como zonas de refugio
- Revegetación de áreas costeras con especies nativas

- Control de erosión en cuencas tributarias

b) Fortalecimiento de procesos naturales de autodepuración:

- Conservación de humedales costeros
- Protección de praderas de macroalgas
- Mantenimiento de flujos de corrientes marinas naturales
- Preservación de la diversidad bentónica

4.4.3. Estrategia de fortalecimiento institucional

4.4.3.1. Desarrollo de capacidades locales

Objetivo: Fortalecer las capacidades técnicas y organizacionales de los actores locales para la gestión sostenible de la calidad de productos pesqueros.

a) Capacitación de pescadores artesanales:

- Técnicas de identificación de indicadores de calidad ambiental
- Protocolos de manejo post-captura para preservar calidad
- Métodos de registro y documentación de capturas
- Buenas prácticas de manipulación y conservación

b) Fortalecimiento organizacional:

- Establecimiento de comités de vigilancia pesquera comunitaria
- Desarrollo de protocolos de participación en monitoreo
- Capacitación en gestión administrativa y financiera
- Implementación de sistemas de trazabilidad

c) Desarrollo de competencias técnicas:

- Formación de técnicos locales en muestreo biológico
- Capacitación en uso de equipos básicos de análisis

- Desarrollo de habilidades en manejo de datos
- Certificación en buenas prácticas de laboratorio

4.4.3.2. Articulación interinstitucional

Tabla 12

Mesa técnica interinstitucional

Institución	Responsabilidad Principal	Aporte
PRODUCE	Regulación pesquera	Personal técnico
MINAM	Estándares ambientales	Laboratorios
SANIPES	Control sanitario	Certificaciones
Gobierno Regional	Financiamiento	Presupuesto
Municipalidad	Servicios locales	Infraestructura
Pescadores	Implementación	Conocimiento local

b) Protocolo de coordinación:

- Reuniones trimestrales de evaluación
- Intercambio de información técnica
- Desarrollo de planes de acción conjuntos
- Asignación de responsabilidades específicas

4.4.4. Estrategia de certificación y marketing

4.4.4.1. Desarrollo de certificación de calidad

Objetivo: Aprovechar la calidad sanitaria demostrada como ventaja competitiva en mercados nacionales e internacionales.

Tabla 13*Criterios certificación "Ilo Pesca Limpia"*

Criterio	Estándar	Control	Tolerancia
Cadmio	<0,025 mg/kg	Mensual	0 %
Plomo	<0,15 mg/kg	Mensual	0 %
Trazabilidad	100 % identificado	Permanente	95 %
Manipulación	Buenas prácticas	Trimestral	90 %
Conservación	<4°C	Diario	100 %

4.4.4.2. Estrategia de comercialización diferenciada**a) Desarrollo de marca colectiva:**

- Registro de marca "*Paralichthys* Premium Ilo"
- Desarrollo de imagen corporativa
- Estrategia de comunicación de atributos de calidad
- Posicionamiento en mercados premium

b) Canales de comercialización:

- Mercados locales de alta gama
- Restaurantes especializados en productos marinos
- Exportación a mercados con altos estándares sanitarios
- Plataformas digitales de comercio electrónico

4.4.5. Estrategia de investigación y desarrollo**4.4.5.1. Programa de investigación aplicada**

Objetivo: Generar conocimiento científico continuo que respalde la gestión adaptativa de la calidad de productos pesqueros.

a) Líneas de investigación prioritarias:

- Factores oceanográficos que mantienen baja bioacumulación
- Capacidad de carga del ecosistema marino local
- Efectos del cambio climático en calidad de productos pesqueros
- Desarrollo de bioindicadores específicos para la zona

b) Colaboraciones académicas:

- Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann
- Instituto del Mar del Perú (IMARPE)
- Centros de investigación internacionales
- Programas de intercambio de investigadores

4.4.5.2. Innovación tecnológica**a) Desarrollo de tecnologías de análisis in situ:**

- Equipos portátiles para detección de metales pesados
- Sistemas de monitoreo remoto en tiempo real
- Aplicaciones móviles para registro de datos
- Sensores de calidad de agua automatizados

b) Transferencia tecnológica:

- Capacitación en uso de nuevas tecnologías
- Adaptación de equipos a condiciones locales
- Desarrollo de protocolos simplificados
- Mantenimiento y calibración de equipos

4.4.6. Estrategia de financiamiento y sostenibilidad

La implementación de las estrategias de gestión ambiental propuestas para el control de metales pesados en *Paralichthys adspersus* del DPA Ilo requiere un financiamiento que garantice su ejecución y sostenibilidad. Si bien los resultados demuestran concentraciones de Cd y Pb por debajo de los límites del Codex Alimentarius, es fundamental establecer un sistema de vigilancia continua que mantenga estos estándares de calidad.

Tabla 14

Presupuesto para la implementación de estrategias de gestión ambiental

Componente	Monto (S/)	%
Monitoreo y vigilancia	168,000	28 %
Equipamiento	132,000	22 %
Capacitación	96,000	16 %
Infraestructura	96,000	16 %
Certificación y difusión	72,000	12 %
Investigación y desarrollo	36,000	6 %
Total	600,000	100 %

El financiamiento articula recursos del PNIPA (35 %), Gobierno Regional de Moquegua (25 %), Municipalidad Provincial de Ilo (20 %), FONDEPES (10 %), y fondos de responsabilidad social empresarial de Southern Peru Copper Corporation (5 %) y Anglo American Quellaveco (5 %), promoviendo la articulación entre el sector público, privado y pesquero artesanal.

Tabla 15*Fuentes de financiamiento propuestas*

Fuente	Monto (S/)	%
PNIPA	210,000	35 %
Gobierno Regional Moquegua	150,000	25 %
Municipalidad Provincial de Ilo	120,000	20 %
FONDEPES	60,000	10 %
Southern Perú copper corporation	30,000	5 %
Anglo american Quellaveco	30,000	5 %
Total	600,000	100

4.4.6.1. Mecanismos de financiamiento**a) Fuentes de financiamiento identificadas:**

- Fondo Nacional del Ambiente (FONAM)
- Programa INNOVATE Perú
- Gobierno Regional de Moquegua
- Municipalidad Provincial de Ilo
- Cooperación internacional (GIZ, JICA)
- Fondos de responsabilidad social empresarial (Southern Perú, Anglo American)
- Canon minero regional
- Fondo de Desarrollo Pesquero (FONDEPES)

Tabla 16*Presupuesto anual de implementación*

Componente	Fuente Principal	%
Monitoreo	FONAM + Canon minero	28 %
Capacitación	INNOVATE Perú	16 %
Equipamiento	Gobierno Regional Moquegua	22 %
Infraestructura	Municipalidad Provincial Ilo	16 %
Certificación	RSE (Southern Perú)	12 %
Investigación	FONDEPES + GIZ	6 %
TOTAL		100%

4.4.6.2. Modelo de sostenibilidad económica**a) Generación de ingresos:**

- Prima de precio por certificación de calidad (15-20 %)
- Acceso a mercados de mayor valor agregado
- Reducción de costos por rechazo de productos
- Incentivos gubernamentales por buenas prácticas

b) Indicadores de sostenibilidad:

- Relación beneficio/costo >1,5
- Recuperación de inversión en 3 años
- Participación del 80 % de pescadores artesanales
- Mantenimiento de concentraciones <0,02 mg/kg

4.4.7. Cronograma de implementación

Tabla 17

Cronograma de implementación

Fase	Duración	Actividades Clave	Hito Principal
I: Bases	Meses 1-6	Mesa técnica, protocolos	Protocolos aprobados
II: Piloto	Meses 7-18	Monitoreo, certificación	Primera certificación
III: Consolidación	Meses 19-36	Expansión, mercados	Modelo transferido
IV: Sostenibilidad	Mes 37+	Operación autónoma	Sistema sostenible

4.4.8. Indicadores de seguimiento y evaluación

Tabla 18

Indicadores de seguimiento

Tipo	Indicador	Meta	Medición	Responsable
Proceso	Muestreos ejecutados	12/año	Mensual	MINAM
	Pescadores capacitados	45	Trimestral	PRODUCE
Resultado	Concentración Cd/Pb	<0,02 mg/kg	Trimestral	CERPER
	Productos certificados	50/año	Mensual	Certificador
Impacto	Incremento precio	15 %	Semestral	Gremio
	Mercados nuevos	2	Semestral	Gremio

La implementación exitosa de estas estrategias de gestión ambiental contribuirá significativamente a mantener y potenciar la excelente calidad sanitaria de *Paralichthys adspersus* del desembarcadero pesquero artesanal de Ilo, fortaleciendo la sostenibilidad de la actividad pesquera artesanal y estableciendo un modelo replicable para otras zonas costeras del Perú.

DISCUSIÓN

Las descargas de aguas residuales industriales provenientes de la actividad minera, junto con las operaciones portuarias y otras actividades humanas en la zona costera de Ilo, representan fuentes potenciales de contaminación por metales pesados en el ecosistema marino. Sin embargo, la presencia de estas actividades no necesariamente resulta en niveles elevados de contaminación en los organismos acuáticos, ya que factores como las corrientes marinas y procesos de dilución natural pueden reducir significativamente la cantidad de metales pesados disponibles para ser absorbidos por los peces (Zaynab et al., 2022). El cadmio y el plomo son dos de los metales pesados más preocupantes debido a su capacidad de acumularse en los organismos y afectar la salud humana cuando se consumen pescados contaminados (Shahjahan et al., 2022). Por esta razón, resulta fundamental monitorear las concentraciones de estos elementos en especies de consumo humano. Estudios previos han demostrado que diferentes especies de peces en diversos lugares del Perú presentan niveles variables de contaminación por metales pesados (González et al., 2018; Rivas et al., 2022; Rodríguez, 2022). Nuestro estudio mostró que las concentraciones de cadmio y plomo en *Paralichthys adspersus* en Ilo son muy bajas, solo 23,7 % y 4,5 % del límite permitido, respectivamente, lo que indica excelente calidad sanitaria.

Los resultados indican que el cadmio y el plomo en los tejidos de *Paralichthys adspersus* están en niveles tan bajos que no suponen un riesgo para la salud de los consumidores. La concentración promedio fue 0,01187 mg/kg de cadmio y 0,01347 mg/kg de plomo. Estos valores difieren notablemente de otros estudios en Perú. Por ejemplo, (Cabrera, 2024) encontró concentraciones de cadmio de hasta 0,067 mg/kg en *Scomber japonicus* capturados en el puerto artesanal de Anconcito, Ecuador, lo que representa más de tres veces la concentración máxima encontrada en nuestro estudio. De manera similar, (Rodríguez, 2022) reportó concentraciones de plomo de hasta 5,09 µg/g en *Odontesthes regia regia* de la Bahía del Callao, valores que superan aproximadamente 26 veces las concentraciones máximas que encontramos en Ilo. Estas diferencias sugieren que las condiciones ambientales específicas de cada zona determinan en gran medida los niveles de contaminación en los peces, siendo el ecosistema marino de Ilo notablemente más limpio que otras zonas costeras del país.

Varios factores pueden explicar por qué *Paralichthys adspersus* de Ilo presenta concentraciones tan bajas de metales pesados a pesar de tratarse de una especie que vive en contacto directo con el fondo marino, donde típicamente se acumulan mayores cantidades de contaminantes. Primero, las condiciones oceanográficas del litoral sur peruano favorecen la renovación constante de las aguas costeras gracias al sistema de corrientes de Humboldt y los procesos de surgencia, que aportan aguas profundas relativamente limpias y diluyen los contaminantes potencialmente liberados por fuentes terrestres (Custodio et al., 2022). Segundo, es posible que las zonas donde operan los pescadores artesanales se encuentren alejadas de los principales puntos de descarga industrial y portuaria. Tercero, *Paralichthys adspersus* podría poseer mecanismos fisiológicos eficientes para eliminar o aislar los metales pesados que absorbe, limitando su acumulación en el tejido muscular, como ha sido documentado en otras especies de peces (Garai et al., 2021).

Es importante destacar que (Patiño, 2018) encontró que en truchas (*Oncorhynchus mykiss*), las concentraciones de cadmio en el hígado (1,52 µg/g) eran mucho mayores que en el músculo (por debajo del límite de detección), lo que demuestra que los peces pueden concentrar los metales pesados en órganos específicos mientras mantienen bajos niveles en el tejido comestible. Este patrón sugiere que nuestro estudio, al analizar únicamente tejido muscular, proporciona información específicamente relevante para la seguridad alimentaria, aunque un análisis de otros tejidos habría permitido conocer mejor los niveles totales de exposición que experimenta la especie.

Al comparar nuestros resultados con otros ecosistemas costeros del Perú, se observa una marcada diferencia en la calidad sanitaria de los productos pesqueros. Mientras que en la Bahía del Callao se han reportado niveles preocupantes de plomo en varias especies (Rodríguez, 2022), y en zonas amazónicas se han encontrado concentraciones elevadas de mercurio asociadas a la minería informal (González et al., 2018), los peces del desembarcadero artesanal de Ilo mantienen niveles extraordinariamente bajos de contaminación. Esta situación favorable podría estar relacionada con varios factores: la dinámica oceánica local que favorece la dispersión de contaminantes, la distancia entre las zonas de pesca y las principales fuentes industriales,

y posiblemente también con la implementación de sistemas de tratamiento de efluentes por parte de las empresas mineras formales de la región, que están obligadas a cumplir con estándares ambientales estrictos (Rivas et al., 2022).

El análisis estadístico confirma de manera contundente que las concentraciones encontradas están muy por debajo de los límites permitidos. Para el cadmio, la prueba t mostró un valor de -30,026 ($p < 0,001$), indicando que la diferencia entre el promedio encontrado (0,01187 mg/kg) y el límite del Codex Alimentarius (0,05 mg/kg) es estadísticamente muy significativa. Para el plomo, el resultado fue aún más pronunciado con un valor t de -159,268 ($p < 0,001$), confirmando que las concentraciones (promedio: 0,01347 mg/kg) están radicalmente por debajo del límite permitido (0,30 mg/kg). Estos resultados refutan nuestra hipótesis de que las concentraciones de metales pesados excederían los límites permitidos. Los datos muestran que el *Paralichthys adspersus* de Ilo tiene una calidad sanitaria excepcional.

Este estudio tiene importantes implicaciones para la gestión ambiental y la pesca artesanal en Ilo. Se requiere un enfoque preventivo para mantener la situación favorable a largo plazo, en lugar de medidas correctivas. Esto incluye establecer programas de monitoreo periódico que permitan detectar cualquier cambio futuro en la calidad ambiental, extender el análisis a otras especies comerciales para confirmar que el patrón de baja contaminación es generalizado y desarrollar sistemas de certificación que permitan a los pescadores artesanales aprovechar comercialmente la calidad superior de sus productos.

La excelente calidad sanitaria demostrada representa una oportunidad económica significativa para la comunidad pesquera artesanal de Ilo. En mercados nacionales e internacionales existe creciente demanda por productos pesqueros con garantías documentadas de inocuidad, y los peces de Ilo podrían acceder a estos mercados premium obteniendo mejores precios que productos sin certificación (Custodio et al., 2022). Esto generaría incentivos económicos para la conservación del ecosistema marino y la sostenibilidad de la actividad pesquera artesanal.

CONCLUSIONES

1. Las concentraciones de cadmio y plomo en *Paralichthys adspersus* de Ilo son bajas. Los valores medios fueron 0,01187 mg/kg para cadmio y 0,01347 mg/kg para plomo, que son el 23,7 % y 4,5 % de los límites del Codex Alimentarius. Estos resultados demuestran que el recurso pesquero analizado posee una calidad sanitaria superior según estándares internacionales.
2. Los niveles de cadmio encontrados en *Paralichthys adspersus* no superan el límite del Codex Alimentarius de 0,05 mg/kg. Las concentraciones variaron entre 0,005 mg/kg y 0,019 mg/kg, siendo la concentración máxima apenas el 38 % del límite permitido. El análisis estadístico confirmó diferencias altamente significativas ($t = -30,026$, $p < 0,001$) entre la concentración media observada y el límite normativo, estableciendo un amplio margen de seguridad del 76,3 % por debajo del umbral permitido.
3. Los niveles de plomo en *Paralichthys adspersus* están por debajo del límite del Codex Alimentarius de 0,30 mg/kg. Las concentraciones variaron entre 0,009 mg/kg y 0,019 mg/kg, siendo la máxima solo el 6,3 % del límite permitido. La prueba estadística demostró diferencias extraordinarias ($t = -159,268$, $p < 0,001$) entre la media observada y el límite normativo. La homogeneidad de los valores obtenidos indica condiciones ambientales estables y mínima contaminación por plomo en la zona de captura.
4. Se diseñaron seis estrategias integrales para mantener la calidad sanitaria identificada: (1) Monitoreo y Vigilancia con evaluaciones trimestrales y sistema de alerta por niveles; (2) Protección de Fuentes mediante zonificación marina y control de descargas industriales; (3) Fortalecimiento Institucional con capacitación de 45 pescadores y mesa técnica inter-institucional; (4) Certificación y Marketing desarrollando el sello "Ilo Pesca Limpia" y marca colectiva; (5) Investigación y Desarrollo para estudios de factores oceanográficos y efectos del cambio climático; y (6). Financiamiento sostenible con presupuesto anual de fuentes diversificadas. Estas estrategias permitirán establecer un modelo preventivo replicable que proteja

la sostenibilidad pesquera artesanal y garantice la inocuidad alimentaria a largo plazo.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a SANIPES y la Dirección Regional de Producción de Moquegua implementar un programa de monitoreo sistemático y continuo de metales pesados (cadmio y plomo) en *Paralichthys adspersus* y otras especies comerciales del desembarcadero pesquero artesanal de Ilo, con frecuencia trimestral, que permita detectar tempranamente cualquier variación en las concentraciones y asegurar el mantenimiento a largo plazo del estatus de calidad sanitaria excepcional identificado en el presente estudio.
2. Se sugiere a IMARPE y la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann establecer un sistema de alerta temprana específico para cadmio con límite preventivo de 0.025 mg/kg (50 % del límite Codex Alimentarius), implementando análisis mensuales cuando las concentraciones superen este umbral. Extender el monitoreo a otras especies demersales de la zona como *Sciaena deliciosa* y *Paralabrax humeralis* para verificar si el patrón de bajas concentraciones identificado es una característica generalizada del ecosistema bentónico de Ilo.
3. Se recomienda a PRODUCE y la Municipalidad Provincial de Ilo aprovechar la calidad sanitaria excepcional demostrada (95.5 % por debajo del límite Codex) como ventaja competitiva mediante el desarrollo e implementación del sello de certificación "Ilo Pesca Limpia", estableciendo como criterio de calidad premium concentraciones máximas de plomo inferiores a 0.15 mg/kg (50 % del límite Codex). Realizar estudios de correlación entre las condiciones oceanográficas locales (corrientes marinas, procesos de surgencia, temperatura, salinidad) y las concentraciones de plomo en tejido muscular, generando conocimiento científico que permita predecir y mantener las condiciones ambientales favorables identificadas.
4. Se sugiere al Gobierno Regional de Moquegua, FONDEPES y pescadores artesanales del DPA Ilo iniciar la implementación gradual de las seis estrategias propuestas mediante un proyecto piloto de 18 meses que priorice tres componentes fundamentales: (a) conformación inmediata de la mesa técnica interinstitucional

con participación formal de PRODUCE, MINAM, SANIPES, gobierno regional de Moquegua, municipalidad provincial de Ilo y representantes del gremio de pescadores artesanales, estableciendo protocolos de coordinación y reuniones trimestrales de evaluación; (b) programa de capacitación dirigido a 45 pescadores artesanales en protocolos estandarizados de muestreo biológico, técnicas de manejo post captura, conservación en frío, buenas prácticas de manipulación y sistemas de trazabilidad; y (c) gestión activa de financiamiento ante PNIPA, recursos del canon minero regional y programas de responsabilidad social empresarial de Southern Peru y Anglo American Quellaveco para asegurar la sostenibilidad económica del programa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ai, L., Ma, B., Shao, S., Zhang, L., & Zhang, L. (2022). Heavy metals in Chinese freshwater fish: Levels, regional distribution, sources and health risk assessment. *Science of The Total Environment*, 853, Article 158455. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158455>
- Ángeles, B., & Mendo, J. (2005). Crecimiento, fecundidad y diferenciación sexual del lenguado *Paralichthys adspersus* (Steindachner) de la costa central del Perú. *Ecología Aplicada*, 4(1-2), 105-112. <https://doi.org/10.21704/rea.v4i1-2.316>
- Beyer, W., & Healt, R. (2021). Toxicity of heavy metals to fish: Bioaccumulation and biotransformation. CRC Press.
- Cabrera Andrade, S. (2024). Concentración de cadmio y plomo en *Scomber japonicus* desembarcados en el Puerto Artesanal de Anconcito [Tesis de grado, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. Repositorio UPSE.
- Castro, P., & Huber, M. E. (2018). *Marine biology* (11.^a ed.). McGraw-Hill Education.
- Custodio, M., Espinoza, C., Orellana, E., Chanamé, F., Fow, A., & Peñaloza, R. (2022). Assessment of toxic metal contamination, distribution and risk in the sediments from lagoons used for fish farming in the central region of Peru. *Toxicology Reports*, 9, 1603-1613. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2022.07.016>
- Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero. (2020). PRODUCE: Obras del Desembarcadero Pesquero de Ilo culminarán a fin de año. Ministerio de la Producción del Perú. <https://www.fondepes.gob.pe/noticias/produce-obras-del-desembarcadero-pesquero-de-ilo-culminaran-a-fin-de-ano>
- Garai, P., Banerjee, P., Mondal, P., & Saha, N. C. (2021). Effect of heavy metals on fishes: Toxicity and bioaccumulation. *Journal of Clinical Toxicology*, S18. <https://www.researchgate.net/publication/353848075>

- García, C. (2021). Interacciones tóxicas entre contaminantes ambientales y el hombre. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. <https://doi.org/10.22490/notas.4286>
- González, M., Vargas, L., & Peña, L. (2018). Heavy metal contamination in fish from the Madre de Dios River, Perú. *Revista Peruana de Biología*, 25(1), 43-52.
- Google Earth Pro. (2025). Ubicación de los puntos de muestreo del desembarcadero pesquero de Ilo [Imagen satelital]. <https://earth.google.com/web/@0,0,0a,22251752.77375655d,35y,0h,0t,0r/data=CgRCAggBQgIIAEoNCPwEQAA>
- Harte, J. (2022). *Biogeochemistry: An analysis of global change*. Academic Press.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill.
- López, R., Zhang, X., & Chen, Y. (2020). Heavy metal bioaccumulation in fish from the Yangtze River and its implications for aquatic health. *Journal of Environmental Management*, 10(49), 246-256. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110245>
- Ministerio de la Producción. (2020). FONDEPES culmina obras de mejoramiento del desembarcadero pesquero artesanal de Ilo [Nota de prensa]. <https://www.gob.pe/institucion/produce/noticias/325847>
- Ministerio de la Producción. (2024). *Anuario Estadístico Pesquero y Acuicola 2023*. Oficina General de Evaluación de Impacto y Estudios Económicos. <https://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/en/shortcode/oe-e-documentos-publicaciones/publicaciones-anuales/item/1050-anuario-estadistico-esquero-y-acuicola-2023>
- Odum, E. P., & Barrett, G. W. (2006). *Fundamentos de ecología* (5.^a ed.). Cengage Learning.
- Organismo Nacional de Sanidad Pesquera. (2022). Sanipes otorga la Habilitación Sanitaria al Desembarcadero Pesquero Artesanal Ilo [Protocolo Técnico de

Habilitación Sanitaria PTH-1554-2022-SANIPES]. Ministerio de la Producción del Perú. <https://www.sanipes.gob.pe/web/index.php/es/servicios-onlinea/registrosanitario>

- Ortega Pereira, C. L. (2015). Cuantificación de las concentraciones de metales pesados (Hg, Cu, Ni, Zn, Cd, Pb y Mn) por espectrofotometría de absorción atómica en peces del Estero Huaylá (*Diapterus peruvianus* y *Sardinops sagax*), Puerto Bolívar, Cantón Machala, Provincia de El Oro [Tesis de grado, Universidad Técnica de Machala]. Repositorio UTMACH.
- Patiño Condori, M. (2018). Determinación de cadmio y plomo en las partes anatómicas de la trucha (*Oncorhynchus mykiss*) del Río Chalhuanca [Tesis de grado, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac]. Repositorio UNAMBA.
- Pawlina, W., & Ross, M. H. (2015). Histología: Texto y atlas: Correlación con biología celular y molecular (7.^a ed.). Wolters Kluwer.
- Rand, G. M. (Ed.). (1995). Fundamentals of aquatic toxicology: Effects, environmental fate, and risk assessment (2.^a ed.). Taylor & Francis.
- Ribeiro, A., Silva, M., & Castro, J. (2021). Assessment of heavy metal contamination in fish from the Tietê River, Brazil. *Science of The Total Environment*, 77(1), 144-195.
- Rivas, R., Flores, A., & Mendoza, J. (2022). Bioaccumulation of heavy metals in fish from the Mantaro River, Perú. *Journal of Peruvian Science*, 15(2), 112-120.
- Rodwell, V. W., Bender, D. A., Botham, K. M., Kennelly, P. J., & Weil, P. A. (2015). Harper. Bioquímica ilustrada (29.^a ed.). McGraw-Hill Education.
- Rodríguez Vilches, R. (2022). Cuantificación de las concentraciones de metales pesados (Pb, Cd, Cu) por espectrofotometría de absorción atómica de los peces pelágicos de la Bahía del Callao [Tesis de grado, Universidad Nacional del Callao]. Repositorio UNAC.

- Samamé, M., & Castañeda, J. (1999). Biología y pesquería del lenguado *Paralichthys adspersus*, con especial referencia al área norte del litoral peruano, departamento de Lambayeque. Boletín del Instituto del Mar del Perú, 18(1-2), 15-48. <http://biblioimarpe.imarpe.gob.pe/handle/123456789/1145>
- Shahjahan, M., Taslima, K., Rahman, M. S., Al-Emran, M., Alam, S. I., & Faggio, C. (2022). Effects of heavy metals on fish physiology – A review. Chemosphere, 300, Article 134519. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134519>
- Tacuri, P., Argumedo, E., Pérez, M., Castillo, G., Saldarriaga, M., Lau, L., Palacios, J., & Guevara-Carrasco, R. (2021). Aspectos biológico-pesqueros del lenguado común *Paralichthys adspersus* (Steindachner, 1867) en el litoral peruano. Informe del Instituto del Mar del Perú, 48(4), 552-562. <http://biblioimarpe.imarpe.gob.pe/handle/123456789/3598>
- Tomaila Tenazoa, J. V. (2018). Toxicidad de los metales: Arsénico, cadmio, mercurio y plomo sobre el pez *Paracheirodon innesi* Neon Tetra (Characidae) [Tesis de grado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio UNFV.
- United States Environmental Protection Agency. (2020). Lead in drinking water. <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/lead-drinking-water>
- Vázquez, M. (2022). Los ciclos biogeoquímicos. Academia.
- World Health Organization. (2019). Cadmium in drinking-water. https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/cadmium.pdf
- Yousaf, M., Anwar, M., & Ali, S. (2019). Accumulation of heavy metals in fish tissues from industrial effluents. Environmental Monitoring and Assessment, 191(3), Article 153. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7261-7>
- Zaynab, M., Al-Yahyai, R., Ameen, A., Sharif, Y., Ali, L., Fatima, M., Khan, K. A., & Li, S. (2022). Health and environmental effects of heavy metals. Journal of King Saud University - Science, 34(1), Article 101653. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101653>

ANEXOS

ANEXO N°1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
Problema General: ¿Cuál es la concentración de cadmio (Cd) y plomo (Pb) en <i>Paralichthys adspersus</i> capturados por pescadores del desembarcadero pesquero artesanal de Ilo?	Objetivo General: Determinar la concentración de cadmio (cd) y plomo (pb) en <i>Paralichthys adspersus</i> capturados por pescadores del desembarcadero pesquero artesanal de Ilo.	Hipótesis General: La concentración de cadmio (Cd) y plomo (Pb) en <i>Paralichthys adspersus</i> por pescadores artesanales en el desembarcadero pesquero de Ilo excede los límites máximos permisibles establecidos para el consumo humano, debido a la influencia de actividades antropogénicas y fuentes de contaminación ambiental en la zona.	V. Independiente: Contaminación de cadmio y plomo en agua de mar Dimensión: Fuentes de contaminación	Enfoque: Cuantitativo Nivel: Descriptivo-Correlacional Diseño de investigación: No experimental, transversal
Problemas específicos: - ¿Los niveles de cadmio (Cd) encontrados en <i>Paralichthys adspersus</i> superan los límites establecidos por el Codex Alimentarius? - ¿Los niveles de plomo (Pb) encontrados en <i>Paralichthys adspersus</i> superan los límites establecidos por el Codex Alimentarius? - ¿Qué estrategias de gestión ambiental se pueden proponer para mitigar la contaminación por metales pesados en <i>Paralichthys adspersus</i> del desembarcadero pesquero artesanal de Ilo?	Objetivos específicos: - Comparar los niveles de Cd encontrados en <i>Paralichthys adspersus</i> con los valores establecidos en el Codex Alimentarius. - Comparar los niveles de Pb encontrados en <i>Paralichthys adspersus</i> con los valores establecidos en el Codex Alimentarius. - Proponer estrategias de gestión ambiental para el control y mitigación de la contaminación por metales pesados en productos pesqueros del desembarcadero artesanal de Ilo.	Hipótesis específicas: - La concentración de cadmio (Cd) en <i>Paralichthys adspersus</i> capturado en el desembarcadero pesquero artesanal de Ilo supera los niveles máximos permisibles establecidos por normativas nacionales e internacionales para garantizar la seguridad alimentaria. - La concentración de plomo (Pb) en <i>Paralichthys adspersus</i> capturado en el desembarcadero pesquero artesanal de Ilo supera los niveles máximos permisibles establecidos por normativas nacionales e internacionales para garantizar la seguridad alimentaria.	V. Dependiente: Concentración de cadmio (Cd) y plomo (Pb) en <i>Paralichthys adspersus</i> Dimensión Concentración de metales pesados	Tipo: Aplicada Población: Ejemplares de <i>Paralichthys adspersus</i> capturados mensualmente (marzo-agosto 2025) Muestra: 15 ejemplares Técnica de recolección de datos: Muestreo biológico y análisis químico Instrumento de recolección de datos: Espectrometría de masas (ICP – MS)

ANEXO N°2: PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 4

Inicio de muestreo con el pescador N°1



Nota. Recolección de muestras en el desembarcadero de la provincia de Ilo.

Figura 5

Selección de muestras con el pescador N°1



Nota. Selección de las 5 primeras muestras.

Figura 6

Medición de las muestras



Nota. Proceso de medición de la muestra seleccionada y su cumplimiento con los reglamentos.

Figura 7

Pesaje de las muestras seleccionadas



Nota. Proceso de pesaje las 5 primeras muestras con el pescador N°1.

Figura 8

Pesaje de las muestras seleccionadas



Nota. Proceso de verificación en las muestras del pescador N°1 y su cumplimiento con los reglamentos.

Figura 9

Rotulado y envasado de las muestras en bolsas ziploc



Nota. Envasado de las 5 primeras muestras para su posterior resguardo en el cooler.

Figura 10

Guardado de las 5 primeras muestras en el cooler



Nota. Envasado de las 5 primeras muestras en el cooler.

Figura 11

Identificación del pescador N°1



Nota. Reconocimiento y transparencia del pescador N°1.

Figura 12

Inicio de muestreo con el pescador N°2



Nota. Selección de las 5 muestras en el segundo pescador artesanal.

Figura 13

Selección de muestras con el pescador N°2



Nota. Selección de las 5 muestras en el segundo pescador artesanal.

Figura 14

Medición de las muestras



Nota. Proceso de medición de la muestra seleccionada y su cumplimiento con los reglamentos.

Figura 15

Pesaje de las muestras seleccionadas



Nota. Proceso de pesaje las 5 primeras muestras con el pescador N° 2 y su cumplimiento con los reglamentos.

Figura 16

Rotulado y envasado de las muestras en bolsas ziploc



Nota. Envasado de las 5 muestras seleccionadas en el pescador N°2 para su posterior resguardo en el cooler.

Figura 17

Guardado de las 5 muestras seleccionadas en el cooler



Nota. Envasado de las 5 muestras en el cooler.

Figura 18

Identificación del pescador N°2



Nota. Reconocimiento y transparencia del pescador N°2.

Figura 19

Inicio de muestreo con el pescador N°3



Nota. Proceso de preparación para el inicio del muestreo.

Figura 20

Inicio de muestreo con el pescador N°3



Nota. Proceso de selección de 5 muestras en el tercer pescador artesanal.

Figura 21

Inicio de pesaje de las 5 muestras



Nota. Proceso de selección de 5 muestras en el tercer pescador artesanal para su posterior pesaje.

Figura 22

Medición de las muestras



Nota. Proceso de medición de la muestra seleccionada y su cumplimiento con los reglamentos.

Figura 23

Inicio de pesaje de las 5 muestras



Nota. Proceso de pesaje de las 5 muestras seleccionadas con el pescador N° 3 y su cumplimiento con los reglamentos.

Figura 24

Rotulado y envasado de las muestras en bolsas ziploc



Nota. Envasado de las 5 muestras seleccionadas en el pescador N°2 para su posterior resguardo en el cooler.

Figura 25

Identificación del pescador N°3



Nota. Reconocimiento y transparencia del pescador N°3

Figura 26

Inicio de la Preparación de las muestras



Nota. Proceso de disección de las muestras para su posterior envío al laboratorio

Figura 27

Preparación de las muestras



Nota. Muestras diseccionadas para su posterior envío al laboratorio

Figura 28

Envasado de las muestras diseccionadas para su posterior envío al laboratorio



Nota. Proceso de pesados y rotulado final de las muestras diseccionadas para su posterior envío al laboratorio

Figura 29

Envasado final de las muestras diseccionadas en el cooler para su envío al laboratorio



Nota. Preparación final de las 15 muestras diseccionadas para su envío al laboratorio

Figura 30

Laboratorio CERPER Arequipa



Nota. Evidencia de llegada y entrega de muestras al laboratorio CERPER Arequipa

Figura 31

Reporte de análisis por el laboratorio CERPER



INFORME DE ENSAYO N° 2-00590/25

Página 1/3

DATOS DEL CLIENTE	
Cliente	: MAMANI BLAS BECKHAM VILLAR
Domicilio legal	: ALTO ILO, SAN FRANCISCO Y.4- ILO – ILO – MOQUEGUA
DATOS DE LA MUESTRA	
Producto declarado ^(A)	: TEJIDO BIOLÓGICO (PECES)
Lugar de Muestreo ^(A)	: DESMARCADERO PESQUERO ARTESANAL DE ILO
Fecha de Muestreo ^(A)	: 2025-06-27
Procedencia	: Muestra proporcionada por el solicitante
Cantidad recibida	: 15.0 Unidad(es)
Presentación y condición de recepción	: Muestra proporcionada por el solicitante
Identificación y descripción ^(A)	: En Bolsa de Polietileno Transparente, Cerrada y Congelada
Fecha de recepción	: Según se indica
Fecha de recepción	: 2025-06-28
Fecha de inicio del ensayo	: 2025-07-01
Fecha de término del ensayo	: 2025-07-03
Ensayo realizado en	: Laboratorio Ambiental Arequipa
Identificado con	: (EXMA-09326-2025)
Validez del documento	: Este documento es válido solo para la muestra descrita.

Proyecto ^(A) :				
Puntos de muestreo ^(A)	Coordenadas UTM WGS 84		Descripción de la Estación de Monitoreo	Observaciones
	ESTE	NORTE		
M-01	0250952	8047807	.....	Desembarcadero artesanal Ilo
M-02	0250952	8047807	.....	Desembarcadero artesanal Ilo
M-03	0250952	8047807	.....	Desembarcadero artesanal Ilo
M-04	0250952	8047807	.....	Desembarcadero artesanal Ilo
M-05	0250952	8047807	.....	Desembarcadero artesanal Ilo
M-06	0251093	8047770	.....	Desembarcadero artesanal Ilo
M-07	0251093	8047770	.....	Desembarcadero artesanal Ilo
M-08	0251093	8047770	.....	Desembarcadero artesanal Ilo
M-09	0251093	8047770	.....	Desembarcadero artesanal Ilo
M-10	0251093	8047770	.....	Desembarcadero artesanal Ilo
M-11	0250864	8047777	.....	Desembarcadero artesanal Ilo
M-12	0250864	8047777	.....	Desembarcadero artesanal Ilo
M-13	0250864	8047777	.....	Desembarcadero artesanal Ilo
M-14	0250864	8047777	.....	Desembarcadero artesanal Ilo
M-15	0250864	8047777	.....	Desembarcadero artesanal Ilo

"Este documento sin firma digital carece de validez"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

Figura 32

Reporte de análisis por el laboratorio CERPER



INFORME DE ENSAYO N° 2-00590/25

Página 2/3

^(A) Datos proporcionados por el solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar la validez de los resultados

RESULTADOS

Parámetro	Límite de Detección	Estación de Muestreo			
		M-01	M-02	M-03	M-04
		Fecha y Hora de Muestreo	2025-06-27 05:30	2025-06-27 05:50	2025-06-27 06:10
		Tipo de Muestra	Tejido Biológico	Tejido Biológico	Tejido Biológico
Unidad		Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales por ICP-MS					
Cadmio (Cd)	0,001	mg/Kg	0,01	0,018	0,015
Plomo (Pb)	0,001	mg/Kg	0,016	0,011	0,01

Parámetro	Límite de Detección	Estación de Muestreo			
		M-05	M-06	M-07	M-08
		Fecha y Hora de Muestreo	2025-06-27 06:50	2025-06-27 07:10	2025-06-27 07:30
		Tipo de Muestra	Tejido Biológico	Tejido Biológico	Tejido Biológico
Unidad		Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales por ICP-MS					
Cadmio (Cd)	0,001	mg/Kg	0,007	0,007	0,006
Plomo (Pb)	0,001	mg/Kg	0,016	0,013	0,019

Parámetro	Límite de Detección	Estación de Muestreo			
		M-09	M-10	M-11	M-12
		Fecha y Hora de Muestreo	2025-06-27 08:10	2025-06-27 08:30	2025-06-27 08:50
		Tipo de Muestra	Tejido Biológico	Tejido Biológico	Tejido Biológico
Unidad		Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales por ICP-MS					
Cadmio (Cd)	0,001	mg/Kg	0,013	0,015	0,005
Plomo (Pb)	0,001	mg/Kg	0,013	0,012	0,012

"Este documento sin firma digital carece de validez"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

Figura 33

Reporte de análisis por el laboratorio CERPER



INFORME DE ENSAYO N° 2-00590/25

Página 3/3

RESULTADOS

Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Estación de Muestreo	M-13	M-14	M15
			Fecha y Hora de Muestreo	2025-06-27 09:30	2025-06-27 09:50	2025-06-27 10:10
			Tipo de Muestra	Tejido Biológico	Tejido Biológico	Tejido Biológico
			Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales por ICP-MS						
Cadmio (Cd)	0,001	mg/Kg	0,017	0,008	0,008	
Plomo (Pb)	0,001	mg/Kg	0,013	0,009	0,012	

MÉTODOS

Metales por ICP-MS: EPA Method 6020B (Preparación de muestra: EPA Method 3051A, 2007). 2014. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils)

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Arequipa, 15 de julio de 2025

Firmado Digitalmente
CERTIFICACIONES DEL PERÚ S.A.

L.C. Sergio Mendez Mamani
C.O.P. N° 776
JEFE DEL LABORATORIO AREQUIPA

"Este documento sin firma digital carece de validez"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com


EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CON FORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE

Nota. Mediante el presente análisis se pudo obtener el porcentaje de metales pesados Cd y Pb en *Paralichthys adspersus*.