



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ

Facultad Ciencias de la Vida y Tecnología

Carrera Biología

Modalidad:

Artículo académico

Tema:

Evaluación de la contaminación por plomo (Pb) en sedimentos marinos del Puerto de San Mateo y su impacto ecológico.

Estudiante:

Sánchez Saltos Jeremy Paúl

Tutor:

Blgo. Zambrano Santana Luis Jefferson, Mg.

Periodo 2025-2

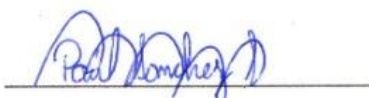
Manta-Ecuador

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Sánchez Saltos Jeremy Paúl, con número de cédula de identidad 1315247930, estudiante de la carrera Biología de la Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías perteneciente a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, declaro bajo juramento que el presente trabajo de titulación, en modalidad artículo académico, titulado: **"Evaluación de la contaminación por plomo (Pb) en sedimentos marinos del Puerto de San Mateo y su impacto ecológico."** es de mi autoría y ha sido desarrollado de manera individual.

Este trabajo es original, no ha sido previamente publicado ni presentado para la obtención de otro título o grado académico en esta u otra institución de educación superior. Asimismo, declaro que he respetado los derechos de autor y he citado adecuadamente todas las fuentes utilizadas, conforme a las normativas académicas vigentes.

En fe de lo cual, firmo la presente declaración en Manta, en el mes de febrero del año 2026.



Sánchez Saltos Jeremy Paúl

C.I:1315247930

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1
		Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad Ciencias de la Vida y Tecnología de Carrera de la Biología de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular Artículo Académico bajo la autoría del estudiante Sr., **JEREMY PAÚL SÁNCHEZ SALTOS**, legalmente matriculado/a en la carrera de Biología, período académico 2025(2), cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es, "Evaluación de la contaminación por plomo (pb) en sedimentos marinos del puerto de San Mateo y su impacto ecológico".

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Lugar, 02 de febrero de 2026.

Lo certifico,



Blgo. Zambrano Santana Luis Jefferson, Mg.
Docente Tutor(a)

Nota 1: Este documento debe ser realizado únicamente por el/la docente tutor/a y será receptado sin enmendaduras y con firma física original.

Nota 2: Este es un formato que se llenará por cada estudiante (de forma individual) y será otorgado cuando el informe de similitud sea favorable y además las fases de la Unidad de Integración Curricular estén aprobadas.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por regalarme la vida, la salud, la sabiduría y la oportunidad de alcanzar este objetivo. Su presencia ha sido la luz que ha guiado mis pasos y la fuerza que me ha sostenido en los momentos de dificultad.

Agradezco también a mi familia por su apoyo incondicional, por creer en mí y motivarme a seguir adelante cuando los desafíos parecían grandes. Asimismo, expreso mi gratitud a mis docentes y a todas las personas que compartieron sus conocimientos y experiencias, contribuyendo de manera significativa a mi formación y al desarrollo de este trabajo.

Cada enseñanza, consejo y muestra de apoyo han dejado una huella valiosa que me impulsa a continuar creciendo tanto en lo personal como en lo profesional.

Sánchez Saltos Jeremy Paúl

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza en cada etapa de mi vida, permitiéndome superar desafíos y continuar avanzando hacia mis metas. También lo dedico a mi familia, por ser el apoyo constante que me impulsa a crecer y mejorar cada día. Este logro representa no solo el resultado de mi esfuerzo, sino también el valor de las enseñanzas, el amor y la confianza que he recibido de quienes me acompañan en este camino.

Sánchez Saltos Jeremy Paúl

Evaluación de la contaminación por plomo (Pb) en sedimentos marinos del Puerto de San Mateo y su impacto ecológico

Jeremy Paúl Sánchez Saltos¹; Zambrano Santana Luis Jefferson¹

¹Carrera de Biología, Facultad de Ciencias de la Vida y tecnologías, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador.

Correo institucional: e1315247930@live.ulead.edu.ec

Resumen

Los sedimentos marinos en zonas portuarias pueden retener metales y reflejar presiones ambientales acumuladas. Este estudio describió las concentraciones de plomo (Pb) en sedimentos superficiales del Puerto de San Mateo (Manabí, Ecuador) y evaluó su significado ambiental mediante estadística descriptiva y comparación con guías internacionales de calidad de sedimentos. Se analizaron 15 valores válidos de Pb, con una media de 2.792 mg/kg, desviación estándar de 0.848 mg/kg y un rango de 1.190 a 4.010 mg/kg; la distribución fue compatible con normalidad ($p = 0.686$). Al contrastar estos resultados con criterios de referencia para sedimentos, las concentraciones se ubicaron ampliamente por debajo de umbrales asociados a efectos adversos probables sobre la biota bentónica. En conjunto, los hallazgos sugieren una carga total baja de Pb en el sedimento evaluado. Se recomienda mantener un programa de monitoreo que incorpore variables sedimentológicas, evaluación de biodisponibilidad y componentes biológicos, con el fin de fortalecer la interpretación ecológica y detectar oportunamente posibles cambios asociados a la dinámica portuaria.

Palabras clave: plomo; sedimentos marinos; puerto pesquero; absorción atómica; calidad de sedimentos; riesgo ecológico.

Assessment of lead (Pb) contamination in marine sediments from San Mateo Port (Ecuador) and ecological implication

Abstract

Marine sediments in port areas can retain metals and reflect accumulated environmental pressures. This study described lead (Pb) concentrations in surficial sediments from San Mateo Port (Manabí, Ecuador) and assessed their environmental significance using descriptive statistics and comparison with international sediment quality guidelines. Fifteen valid Pb values were analyzed, with a mean of 2.792 mg/kg, a standard deviation of 0.848 mg/kg, and a range of 1.190 to 4.010 mg/kg; the distribution was consistent with normality ($p = 0.686$). When contrasted with reference criteria for sediments, concentrations were well below thresholds associated with probable adverse effects on benthic biota. Overall, the findings suggest a low total Pb burden in the assessed sediment. Continued monitoring is recommended, incorporating sedimentological variables, bioavailability assessment, and biological components to strengthen ecological interpretation and to detect potential changes associated with port dynamics in a timely manner.

Keywords: lead; marine sediments; fishing port; atomic absorption; sediment quality; ecological risk.

Introducción

Los ecosistemas costeros sostienen servicios ecosistémicos clave en las pesquerías, protección costera, reciclaje de nutrientes y concentran infraestructura humana (ciudades, puertos, industrias), por lo que la evaluación de contaminantes en sedimentos representa un eje central de gestión ambiental y de protección de la biota bentónica y demersal. (Leppänen et al., 2024; Hossain et al., 2024)

En ambientes portuarios, la interacción entre dinámica hidrodinámica, Resuspensión, dragados periódicos y aportes desde cuencas urbanas favorece la redistribución de partículas finas y la acumulación de contaminantes en fondos blandos; por ello, la composición del sedimento puede reflejar tanto presiones recientes como legados históricos, lo que hace al sedimento una matriz particularmente informativa. (Batley, 2016; Giarikos et al., 2023)

El plomo (Pb) es un metal que, a pesar de la disminución de su uso en combustibles en muchos países, continúa detectándose en sedimentos y biota debido a fuentes residuales y actuales, incluyendo emisiones y deposición atmosférica, pintura y mantenimiento de embarcaciones, desgaste de infraestructuras, escorrentía urbana y aportes difusos; además, su persistencia permite que eventos pasados permanezcan registrados en estratos sedimentarios. (Hossain et al., 2024; Giarikos et al., 2023)

La toxicidad del Pb en el ambiente acuático se vincula con interferencias bioquímicas y fisiológicas (p. ej., homeostasis iónica, estrés oxidativo y rutas enzimáticas), y sus efectos en invertebrados marinos pueden manifestarse desde etapas tempranas (fertilización y desarrollo larval) hasta alteraciones reproductivas, crecimiento y supervivencia, con respuestas moduladas por la química del medio y la forma del metal. (Radenac et al., 2022; Leppänen et al., 2024)

Un desafío persistente en la evaluación de Pb en sedimentos es que la concentración total no necesariamente captura la fracción que puede movilizarse o interactuar con organismos; la biodisponibilidad se controla por pH, potencial redox, contenido de sulfuros, materia orgánica y óxidos metálicos, así como por la granulometría y la bioturbación, lo que sugiere complementar totales con herramientas de fraccionamiento y fracción lábil. (Kuang et al., 2024; Sutherland, 2010)

La extracción secuencial estandarizada BCR ha sido ampliamente usada para aproximar movilidad potencial al separar fracciones operacionalmente definidas (ácido-extractable, reducible, oxidizable y residual); revisiones desde 2010 han resaltado su valor interpretativo cuando se reporta control de calidad y se reconoce su carácter operacional (no estrictamente de especiación). (Sutherland, 2010)

De forma complementaria, técnicas como diffusive gradients in thin films (DGT) permiten estimar una fracción lábil relacionada con disponibilidad en agua intersticial y han mostrado utilidad predictiva para toxicidad en organismos bentónicos en diversos estudios

y revisiones, fortaleciendo la transición desde enfoques de concentración total hacia marcos de exposición efectiva. (Amato et al., 2014; Cindrić et al., 2020)

Para interpretar concentraciones de metales en sedimentos, se utilizan guías de calidad derivadas de relaciones concentración–efecto; las Canadian Sediment Quality Guidelines (ISQG/PEL) para Pb establecen umbrales para sedimentos marinos/estuarinos (ISQG 30.2 mg/kg; PEL 112 mg/kg), ampliamente empleados como referencia internacional en ausencia de valores nacionales equivalentes, siempre reconociendo limitaciones por mezcla de contaminantes y condiciones locales. (CCME, 2001; Ormaza-González et al., 2024).

Las guías de CCME suelen usar dos números principales:

- ISQG (Interim Sediment Quality Guideline)
Es un valor bajo. Si tu concentración está por debajo del ISQG, la probabilidad de efectos negativos suele considerarse baja (efectos raros).
- PEL (Probable Effect Level)
Es un valor alto. Si tu concentración está por encima del PEL, hay mayor probabilidad de que ocurran efectos adversos con frecuencia (efectos probables).

En la práctica, además de guías, se usan índices geoquímicos (EF, Igeo, CF, PLI, ERI) para inferir enriquecimiento y riesgo; sin embargo, una revisión crítica reciente advierte que muchos índices pueden producir lecturas inconsistentes si no se estandariza el valor de fondo, la normalización granulométrica y la selección de elementos conservativos, por lo que se recomienda transparencia y prudencia interpretativa. (Birch, 2023)

En Ecuador, la evidencia científica sobre metales en sedimentos costeros ha crecido, con contribuciones en estuarios y lagunas costeras como el Estero Salado y el Golfo de Guayaquil, donde se han documentado gradientes urbanos y clasificaciones de contaminación moderada para Pb usando índices como Igeo, destacando la pertinencia de fortalecer líneas base en distintos contextos costeros. (Ormaza-González et al., 2024; Pernía et al., 2018)

En la costa de Manabí, estudios recientes en puertos pesqueros han reportado perfiles multimetal donde el Pb tiende a mantenerse bajo en comparación con otros elementos, pero se identifican episodios o compuestos (p. ej., Hg, TPH) que pueden exceder valores de referencia, lo que sugiere que la evaluación de Pb debe ubicarse en un marco integrado de presión portuaria. (Sánchez-Moreira et al., 2025)

El Puerto de San Mateo constituye un sistema socioecológico relevante por su actividad pesquera y logística; en ese escenario, la caracterización de Pb en sedimentos aporta evidencia para gestión local y para la discusión científica sobre contaminación en puertos del Pacífico tropical, donde la información indexada aún es limitada en comparación con otras regiones. (Sánchez-Moreira et al., 2025; Hossain et al., 2024)

Por tanto, el objetivo del presente trabajo fue describir estadísticamente los niveles de Pb en sedimentos marinos del Puerto de San Mateo con base en el anexo provisto, discutir su significado ecológico frente a guías de calidad y literatura desde 2010, e identificar necesidades de fortalecimiento metodológico para futuras publicaciones en revistas indexadas. (CCME, 2001; Birch, 2023; Kuang et al., 2024)

Materiales y métodos

Área de estudio y diseño

El estudio se enmarca en un entorno portuario costero del Pacífico tropical ecuatoriano (Puerto de San Mateo, provincia de Manabí), donde las actividades de pesca, mantenimiento de embarcaciones y movilidad de materiales pueden generar presiones sobre la calidad del sedimento; se adoptó un enfoque observacional para caracterizar Pb en sedimento superficial. (Sánchez-Moreira et al., 2025)

En ambientes portuarios se recomienda priorizar sedimento superficial (primeros centímetros) por su relación con exposición bentónica y por la integración de aportes recientes; la guía canadiense para Pb menciona explícitamente sedimentos superficiales (p. ej., top 5 cm) como base comparativa de ISQG/PEL. (CCME, 2001; Batley, 2016)

Muestreo de sedimentos

La colecta de sedimentos se efectuó con draga tipo Van Veen, muestreador ampliamente usado en fondos blandos; su empleo permite recuperar una porción representativa del sedimento superficial y es consistente con reportes técnicos y manuales de muestreo costero, siempre que se controle la pérdida de fracción fina y se minimicen perturbaciones durante el izado. (SCCWRP, 2023; Batley, 2016)

Para reducir contaminación, se realizó protocolos de limpieza del equipo entre estaciones y uso de recipientes descontaminados, la variabilidad temporal (lluvioso/seco) puede influir en aportes de partículas y metales por escorrentía y cambios hidrodinámicos; por ello, el muestreo se realizó por 12 meses.

Preparación de muestra y determinación analítica

La preparación del sedimento para análisis de Pb requiere homogenización, ya que la fracción fina suele concentrar metales; en estudios costeros recientes, el tamaño de grano se reporta como covariable clave en la explicación de gradientes de metales. (Ormaza-González et al., 2024; Birch, 2023)

La determinación instrumental por espectrofotometría de absorción atómica (AAS) es una técnica consolidada en monitoreo de metales en sedimentos; trabajos recientes en Ecuador y Manabí han utilizado AAS para cuantificar Pb y otros metales traza en matrices sedimentarias, facilitando comparabilidad regional cuando se documentan digestión y control de calidad. (Pernía et al., 2018; Sánchez-Moreira et al., 2025)

El control de calidad analítico recomendado incluye blancos, duplicados, estándares de calibración y, cuando sea posible, materiales de referencia; estas prácticas reducen incertidumbre, favorecen trazabilidad y son altamente valoradas en procesos editoriales de revistas indexadas. (Batley, 2016; Sutherland, 2010)

Análisis estadístico e interpretación

El análisis estadístico se basó en estadística descriptiva (media, mediana, desviación estándar, rango) y prueba de normalidad Shapiro–Wilk, apropiadas para caracterizar datos ambientales con tamaño muestral moderado, y útiles para planificar comparaciones paramétricas o no paramétricas en estudios ampliados. (Field, 2018)

La interpretación ambiental utilizó como referencia las Canadian Sediment Quality Guidelines para Pb, que reportan ISQG y PEL para sedimentos marinos/estuarinos y describen su relación con efectos adversos observados en bases de datos concentración–efecto; dichas guías se emplean ampliamente como comparador internacional en estudios recientes. (CCME, 2001; Ormaza-González et al., 2024)

Resultados

Se muestrearon 15 muestras de 1kg de sedimento ($n = 15$) y resume la tendencia central y dispersión del conjunto analizado, permitiendo describir el nivel de Pb en sedimentos del Puerto de San Mateo para la campaña considerada.

En dicho anexo se reporta una media de 2.792 mg/kg ($DE = 0.848$ mg/kg), mediana 2.790 mg/kg, mínimo 1.190 mg/kg y máximo 4.010 mg/kg; adicionalmente, la prueba Shapiro–Wilk ($p = 0.686$) no sugiere desviación significativa de la normalidad para el conjunto analizado. (Field, 2018)

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de Pb (mg/kg) en sedimentos marinos ($n = 15$).

Estadístico	Valor
n válido	15
Media (mg/kg)	2.792
Desviación estándar (mg/kg)	0.848
Mediana (mg/kg)	2.790
Mínimo (mg/kg)	1.190
Máximo (mg/kg)	4.010
Shapiro–Wilk (p)	0.686

El gráfico de distribución incluido en el anexo evidencia una dispersión moderada alrededor de la media y apoya la lectura de normalidad del conjunto, lo cual resulta útil para diseñar análisis comparativos posteriores entre estaciones o periodos si se incrementa el tamaño muestral y se verifica homocedasticidad. (Field, 2018)

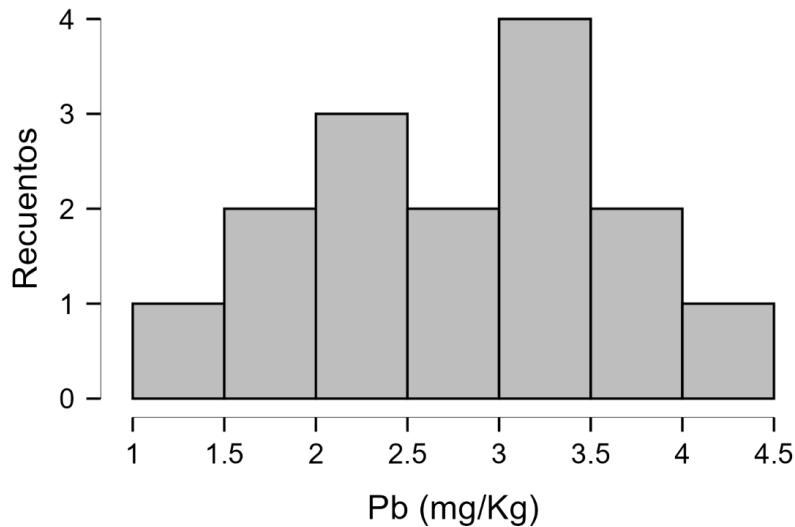


Figura 1. Gráfico de distribución de Pb (mg/kg) reportado en el anexo de estadísticos descriptivos.

Al contrastar la media observada (2.792 mg/kg) con los valores guía ISQG/PEL para Pb en sedimentos marinos/estuarinos, se observa una amplia distancia respecto a los umbrales, lo cual sugiere baja probabilidad de efectos adversos frecuentes bajo el marco por umbrales; sin embargo, esta lectura debe considerarse preliminar si no se evalúan otras variables de biodisponibilidad y mezcla de contaminantes. (CCME, 2001; Kuang et al., 2024; Leppänen et al., 2024)

Discusión

La concentración media de Pb observada (2.792 mg/kg) corresponde a un nivel bajo en sedimento marino superficial y es consistente con reportes regionales para puertos pesqueros de Manabí donde Pb se mantiene típicamente en valores inferiores a 10 mg/kg, lo que sugiere que, para el conjunto analizado, el Pb no constituye un contaminante dominante en comparación con otros elementos o compuestos asociados a actividad portuaria. (Sánchez-Moreira et al., 2025; Hossain et al., 2024)

Este hallazgo contrasta con escenarios urbanos altamente presionados donde Pb puede superar valores guía, como se ha documentado en sectores del Estero Salado (Guayaquil) con promedios cercanos a 41.9 mg/kg y clasificaciones de contaminación moderada para Pb según Igeo, lo que evidencia que la magnitud del problema depende de la intensidad y

naturaleza de fuentes locales, así como de la hidrodinámica y confinamiento del sistema. (Ormaza-González et al., 2024)

Desde una perspectiva de guías por umbral, los valores observados se ubican muy por debajo de ISQG (30.2 mg/kg) y PEL (112 mg/kg) para sedimentos marinos/estuarinos, lo que según el enfoque de CCME se asocia a una baja probabilidad de ocurrencia frecuente de efectos adversos; esta comparación resulta útil para priorización, aunque no reemplaza evaluaciones biológicas o de biodisponibilidad específicas del sitio. (CCME, 2001; Leppänen et al., 2024)

La guía canadiense enfatiza que los efectos biológicos dependen de múltiples factores fisicoquímicos y biológicos (pH, redox, especiación, comportamiento alimentario), por lo que el mismo nivel de Pb puede expresar riesgos distintos entre sedimentos; esta consideración es especialmente importante en puertos, donde condiciones de resuspensión y aportes orgánicos pueden variar rápidamente. (CCME, 2001; Batley, 2016)

La biodisponibilidad de Pb en sedimentos se controla por su asociación con fases sólidas reactivas: óxidos de Fe/Mn, sulfuros, materia orgánica y carbonatos; bajo condiciones anóxicas, los sulfuros pueden inmovilizar Pb, mientras que cambios a condiciones más oxidadas pueden favorecer transformaciones que alteran la fracción lábil, un fenómeno relevante en sistemas que alternan entre estados redox por eutrofización o variabilidad estacional. (Kuang et al., 2024; Ormaza-González et al., 2024)

Los trabajos recientes que integran variables sedimentológicas muestran consistentemente que los sedimentos finos tienden a concentrar más metales por mayor área superficial y capacidad de sorción; por ello, la ausencia de datos de granulometría y carbono orgánico limita la interpretación mecanística, y su inclusión en campañas futuras permitiría discriminar si niveles bajos se deben a baja carga o a dominancia de fracciones arenosas con menor capacidad de retención. (Ormaza-González et al., 2024; Birch, 2023)

En estudios contemporáneos, la combinación de concentración total con índices geoquímicos se usa para sugerir enriquecimiento antrópico; sin embargo, la revisión crítica de Birch (2023) demuestra que resultados pueden ser contradictorios si no se selecciona un fondo adecuado o si no se normaliza por tamaño de grano, por lo que la aplicación de índices en San Mateo debería acompañarse de una estrategia explícita de fondo local o regional y de justificación metodológica. (Birch, 2023)

Un ejemplo ilustrativo de aplicación de índices en puertos es el estudio de Port Everglades (Florida), donde se hallaron rangos de Pb hasta 73.8 µg/g y se calculó riesgo ecológico potencial asociado a remobilización por dragado; aunque el contexto difiere, subraya que el riesgo puede emerger no solo por concentraciones, sino por perturbaciones físicas que movilizan sedimento contaminado hacia hábitats sensibles. (Giarikos et al., 2023)

En San Mateo, la baja concentración total sugiere que la remobilización por dragado o resuspensión probablemente no liberaría cargas significativas de Pb en comparación con

puertos más industrializados; no obstante, la literatura advierte que incluso concentraciones bajas pueden volverse relevantes si se incrementa la fracción lábil por cambios en química del agua intersticial, por ejemplo, asociados a incrementos de materia orgánica o cambios de pH. (Kuang et al., 2024; Hossain et al., 2024)

La evidencia sobre efectos de Pb en invertebrados marinos, sintetizada en revisiones recientes, indica que los valores más sensibles pueden ocurrir a concentraciones que dependen de forma química y condiciones ambientales; por ello, la recomendación de incorporar pruebas de toxicidad de sedimentos o agua intersticial se alinea con marcos reguladores y científicos contemporáneos que buscan triangulación entre química y biología. (Radenac et al., 2022; Leppänen et al., 2024)

La revisión crítica de Leppänen y colaboradores (2024) destaca que los ensayos de toxicidad de sedimentos se usan en varias jurisdicciones como soporte en evaluación de riesgos, especialmente para sustancias con afinidad por sedimentos; además, enfatiza la importancia de seleccionar organismos representativos y de considerar exposiciones crónicas, lo que resulta pertinente para fortalecer inferencias ecológicas en estudios portuarios del Pacífico tropical. (Leppänen et al., 2024)

Un camino metodológico complementario es la evaluación de fracciones lábiles mediante DGT, que en estudios experimentales y de campo ha mostrado relación con toxicidad y exposición efectiva; en particular, investigaciones y revisiones desde 2014 resaltan la utilidad del DGT para integrar procesos de difusión desde la fase sólida, ofreciendo una métrica operativa de biodisponibilidad. (Amato et al., 2014; Cindrić et al., 2020)

En términos de analítica, la absorción atómica sigue siendo una herramienta robusta, pero la comparabilidad entre estudios depende de la digestión empleada (pseudototal o total) y del reporte de control de calidad; la guía canadiense menciona digestión con ácidos fuertes y determinación por protocolos estándar, por lo que detallar procedimientos fortalece la capacidad de comparación frente a ISQG/PEL y literatura regional. (CCME, 2001; Batley, 2016)

La extracción secuencial BCR, revisada por Sutherland (2010), se destaca por su estandarización y por el uso de material de referencia BCR-701 para control de calidad; incorporar este enfoque en campañas futuras permitiría estimar qué fracción de Pb se encuentra en fases potencialmente móviles, aportando una dimensión interpretativa ausente cuando se reporta solo concentración total. (Sutherland, 2010)

Los puertos pesqueros de Manabí presentan un mosaico de presiones: combustibles, mantenimiento de embarcaciones, residuos sólidos, hidrocarburos totales y metales traza; el estudio de 2025 en Manglar muestra que, aunque Pb se mantuvo bajo, otros metales como Hg pueden exceder valores de referencia en ciertos periodos, enfatizando la necesidad de una visión multimetal y multicomponente en el monitoreo. (Sánchez-Moreira et al., 2025)

Este punto es relevante para la interpretación de Pb: un valor bajo no implica ausencia de presión ambiental global, sino que puede reflejar que otras presiones son más dominantes; de este modo, la gestión debería priorizar una matriz de riesgo que considere simultáneamente metales, hidrocarburos, nutrientes y variables de eutrofización y oxigenación, tal como se discute en literatura reciente para sistemas estuarinos. (Ormaza-González et al., 2024; Hossain et al., 2024)

A nivel regional, estudios ecuatorianos en estuarios urbanos han mostrado que Pb puede asociarse a impactos combinados y a potencial bioacumulación en organismos bioindicadores; tales evidencias sugieren que, aunque San Mateo exhiba niveles bajos en el conjunto analizado, es conveniente mantener vigilancia para detectar cambios vinculados a urbanización, incremento de flota o modificaciones en infraestructura portuaria. (Pernía et al., 2018; Ormaza-González et al., 2024)

El valor $p = 0.686$ en Shapiro–Wilk no sugiere desviación de normalidad, lo cual facilita el uso de pruebas paramétricas en futuras comparaciones; sin embargo, la robustez inferencial dependerá de un diseño con tamaños muestrales adecuados por estación y periodo, y del reporte explícito de la estructura del muestreo. (Field, 2018)

Otra limitación es la ausencia de evaluación multimetal y de contaminantes orgánicos en el conjunto reportado; en puertos, la mezcla de contaminantes puede influir en efectos biológicos, por lo que se recomienda ampliar el espectro analítico para evitar conclusiones basadas en un solo metal. (Leppänen et al., 2024; Sánchez-Moreira et al., 2025)

El rol de la granulometría merece énfasis: estudios en Estero Salado incorporan medición de tamaño de grano precisamente por su correspondencia con concentraciones de metales; replicar este enfoque en San Mateo facilitaría discernir controles físicos versus aportes contaminantes, mejorando la plausibilidad causal en la discusión. (Ormaza-González et al., 2024)

Asimismo, la hidrodinámica local puede condicionar retención y dispersión: en estuarios con circulación restringida se favorece acumulación; en sistemas más abiertos, los contaminantes pueden diluirse o redistribuirse. Discutir estos procesos con datos oceanográficos locales fortalecería la interpretación y el aporte original del estudio. (Ormaza-González et al., 2024; Batley, 2016)

En síntesis, el Pb total en el conjunto analizado describe un escenario de baja carga y bajo riesgo bajo guías ISQG/PEL, pero la literatura desde 2010 enfatiza que la evaluación de riesgo debe considerar biodisponibilidad, mezcla de contaminantes y perturbaciones físicas; por tanto, el principal aporte de este manuscrito es situar el resultado en un marco precautorio y proponer una ruta metodológica para ampliación y publicación robusta. (CCME, 2001; Birch, 2023; Kuang et al., 2024; Leppänen et al., 2024)

Los estudios internacionales de sedimentos portuarios muestran que las concentraciones de metales suelen responder a la combinación de fuentes puntuales (descargas industriales,

astilleros, mantenimiento) y difusas (escorrentía urbana, deposición atmosférica), por lo que la identificación de fuentes se beneficia de enfoques multivariados y de normalización por elementos conservativos; este tipo de aproximación ha sido usado en investigaciones recientes que combinan índices e inferencia espacial. (Birch, 2023; Naik et al., 2023)

En particular, el uso de índices como EF e Igeo es frecuente en literatura 2010–2024 para estimar enriquecimiento y contaminación; no obstante, revisiones y estudios comparativos señalan que su interpretación debe acompañarse de análisis de sensibilidad a diferentes fondos y a diferentes elementos normalizadores (p. ej., Al, Fe), y que la clasificación categórica puede ocultar incertidumbre. (Birch, 2023; Wang et al., 2023)

En el contexto de sistemas tropicales, la meteorización intensa y aportes fluviales pueden modificar el fondo geoquímico y la mineralogía del sedimento, lo que impacta la selección de valores de referencia; por ello, cuando se aplican índices en Ecuador o regiones similares, resulta más defensible construir fondos locales (p. ej., estaciones prístinas comparables) que importar fondos globales sin ajuste. (Ormaza-González et al., 2024; Birch, 2023)

El trabajo de Ormaza-González et al. (2024) ilustra un enfoque de fondo local al utilizar datos del canal El Morro como referencia relativamente prístina para estimar Igeo del Estero Salado; adoptar una lógica similar en Manabí (p. ej., sitios menos impactados cercanos) podría mejorar la robustez de inferencias sobre enriquecimiento antrópico en San Mateo. (Ormaza-González et al., 2024)

La relevancia de la materia orgánica se destaca en revisiones de metales en sedimentos: la complejación con ligandos orgánicos puede inmovilizar o, en algunos casos, facilitar transporte coloidal; además, la degradación orgánica altera condiciones redox, lo que a su vez controla formación de sulfuros y movilidad de metales, por lo que medir carbono orgánico total y redox contribuiría a explicar variabilidad temporal. (Hossain et al., 2024; Kuang et al., 2024)

En términos de riesgo ecológico, el enfoque actual promueve la integración de líneas de evidencia (chemical lines-of-evidence, bioavailability, toxicity, benthic community structure), por lo que incluso en escenarios de baja concentración se recomienda verificar que la comunidad bentónica no muestre señales de estrés y que las propiedades del sedimento no favorezcan exposición intersticial elevada. (Leppänen et al., 2024; Cindrić et al., 2020)

Las pruebas de toxicidad de sedimentos tienen fortalezas (integran mezcla y biodisponibilidad) pero también limitaciones (variabilidad biológica, diferencias entre especies y endpoints, representatividad del sedimento manipulado); la revisión de 2024 discute estas limitaciones y sugiere mejoras metodológicas, lo cual es relevante para planificar componentes biológicos en futuras investigaciones en Manabí. (Leppänen et al., 2024)

Conclusiones

El conjunto de datos analizado para Pb en sedimentos del Puerto de San Mateo ($n = 15$) presentó valores bajos (media 2.792 mg/kg; rango 1.190–4.010 mg/kg) y no mostró desviación significativa de la normalidad ($p = 0.686$), según el anexo de estadísticos descriptivos provisto.

En comparación con las Canadian Sediment Quality Guidelines (ISQG/PEL para sedimentos marinos/estuarinos), las concentraciones se ubicaron muy por debajo de los umbrales, lo que sugiere baja probabilidad de efectos adversos frecuentes bajo el enfoque por umbrales, sin reemplazar la necesidad de evaluación específica del sitio.

La literatura desde 2010 enfatiza que la evaluación de riesgo debe integrar biodisponibilidad (fracción lábil), propiedades sedimentológicas y mezcla de contaminantes; por ello, se recomienda incorporar granulometría, carbono orgánico, extracción secuencial (BCR) y/o DGT, y evidencia biológica mediante pruebas de toxicidad o biomonitoreo en campañas futuras. (Kuang et al., 2024; Sutherland, 2010; Cindrić et al., 2020; Leppänen et al., 2024)

Referencias

- Amato, E. D., Simpson, S. L., Jarolimek, C., Jolley, D. F., & Maher, W. (2014). Diffusive Gradients in Thin Films technique provide robust predictions of metal toxicity in sediments. *Environmental Science & Technology*, 48(8), 4485–4493. <https://doi.org/10.1021/es404850f>
- APA. (2020). *Publication Manual of the American Psychological Association* (7th ed.). American Psychological Association.
- Batley, G. E. (2016). Sediment sampling, sample preparation and general analysis. In *Sediment Quality Assessment: A Practical Guide*. CSIRO.
- Birch, G. F. (2023). A review and critical assessment of sedimentary metal indices used in determining the magnitude of anthropogenic change in coastal environments. *Science of the Total Environment*, 854, 158129. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158129>
- Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). (2001). *Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: Lead*. CCME.
- Cindrić, A. M., et al. (2020). Evaluation of diffusive gradients in thin films (DGT) technique to assess potentially bioavailable metals in a stratified estuary. *Science of the Total Environment*, 745, 140794. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140794>
- Estadísticos descriptivos Pb. (2026). Estadísticos descriptivos plomo (Pb) en sedimentos marinos (archivo interno adjunto). Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.
- Field, A. (2018). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics* (5th ed.). SAGE.

Giarikos, D. G., et al. (2023). Assessing the ecological risk of heavy metal sediment contamination from Port Everglades, Florida, USA. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11, Article eXXXX. (Versión en PMC).

Hossain, M. M., Rahman, M. M., Rahman, M. A., et al. (2024). A review of potentially toxic elements in sediment, water, and biota: Sources, exposure, and risk. *Toxics*, 13(1), 26. <https://doi.org/10.3390/toxics13010026>

ICMJE. (2024). Recommendations for the Conduct, Reporting, Editing, and Publication of Scholarly Work in Medical Journals. International Committee of Medical Journal Editors.

Kuang, Z., Shi, Z., Wang, H., et al. (2024). Bioavailability of trace metals in sediments from Daya Bay nature reserve: Spatial variation, controlling factors and the exposure risk assessment for aquatic biota. *Ecological Indicators*, 165, 112789. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112789>

Leppänen, M. T., et al. (2024). Sediment toxicity tests: A critical review of their use in environmental regulations. *Environmental Toxicology and Chemistry*. (Versión en PMC).

Naik, S., et al. (2023). Ecological risk assessment of heavy metals in coastal sediments using geochemical indices. *Frontiers in Marine Science*, 10, 1255466. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1255466>

Ormaza-González, F. I., Castro-Rendón, R. D., Maridueña-Bravo, A., Bobadilla-Cordova, N., Ramos-Castañeda, I., & Statham, P. J. (2024). Hg, Cd, As, and Pb in surface sediments from the tropical coastal lagoon Estero Salado, Gulf of Guayaquil-Ecuador. *Frontiers in Marine Science*, 11, 1457548. <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1457548>

Pernía Santos, B. M., Mero, M., Cornejo, X., Ramírez-Prado, N., Ramírez, L., Bravo, K., López, D., Muñoz, J., & Zambrano, J. (2018). Determinación de cadmio y plomo en agua, sedimento y organismos bioindicadores en el Estero Salado, Ecuador. *Enfoque UTE*, 9(2), 1–12.

Radenac, G., et al. (2022). Lead in the marine environment: Concentrations and effects on invertebrates (review). (Disponible en ResearchGate).

Sánchez-Moreira, J., Briones-Mendoza, J., Zambrano-Santana, L., Mendoza-Nieto, K., Cañarte-Pin, J., Zavala-Murillo, A., & Zavala-Giler, F. (2025). Cuantificación de metales pesados e hidrocarburos totales en sedimento marino de la zona costera de Ecuador. *Manglar*, 22(4), 479–486. <https://doi.org/10.57188/manglar.2025.048>

SCCWRP. (2023). A Van Veen grab sampling method (Technical Report). Southern California Coastal Water Research Project.

Sutherland, R. A. (2010). BCR®-701: A review of 10-years of sequential extraction analyses. *Analytica Chimica Acta*, 680(1–2), 10–20. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2010.09.016>

Wang, Q., et al. (2023). Heavy metals and their ecological risk assessment in sediments using EF, Igeo and PLI. Sustainability, 15(5), 4323. <https://doi.org/10.3390/su15054323>.