

Evaluación y Gestión de Riesgos Ambientales en la Acuicultura: Un Estudio de Caso de la Bahía de Sechura

Assessment and Management of Environmental Risks in Aquaculture: A Case Study of Sechura Bay

Rodolfo Gianmarco Vargas Collantes, Cristhian Eduardo Vargas Collantes

RESUMEN

Este estudio evalúa los riesgos ambientales en la Bahía de Sechura, enfocándose en las prácticas acuícolas y su impacto en la biodiversidad y la calidad del agua. **Objetivo.** El objetivo principal es identificar y clasificar los riesgos ecológicos asociados con la acuicultura para desarrollar medidas de gestión y prevención eficaces. **Métodos.** La metodología incorporó prospecciones terrestres y marinas, utilizando GPS y software GIS para georreferenciar y analizar fuentes de contaminación. Se empleó una matriz de evaluación de riesgos que combinó la severidad del impacto con su probabilidad de ocurrencia, facilitando una categorización precisa de los riesgos de insignificantes a extremos. **Resultados.** Los resultados muestran que las zonas más afectadas son las cercanas a desembocaduras de ríos y áreas acuícolas, con altas concentraciones de metales pesados, patógenos y contaminantes orgánicos, asociados a residuos domésticos, agrícolas y mala gestión de efluentes. La discusión compara estos hallazgos con estudios internacionales, destacando la utilidad de indicadores biológicos y la necesidad de estrategias de gestión integrada. Se recomienda implementar tecnologías avanzadas para tratamiento y remediación, fortalecer el monitoreo ambiental y promover la educación y participación comunitaria para mitigar impactos y garantizar la sostenibilidad de la acuicultura en zonas costeras. **Conclusión.** Este estudio ofrece una visión crucial para el manejo de riesgos ambientales en ecosistemas acuícolas, con implicaciones significativas para la conservación y la práctica acuícola sostenible en regiones costeras.

Palabras clave: Acuicultura sostenible, evaluación de riesgos ambientales, gestión de contaminantes y conservación de la biodiversidad.

ABSTRACT

This study evaluates environmental risks in Sechura Bay, focusing on aquaculture practices and their impact on biodiversity and water quality. **Objective.** The main objective is to identify and classify ecological risks associated with aquaculture to develop effective management and prevention measures. **Methods.** The methodology included terrestrial and marine surveys, using GPS and GIS software to georeference and analyze pollution sources. A risk assessment matrix was employed, combining impact severity with its probability of occurrence, enabling a precise categorization of risks from insignificant to extreme. **Results.** The results show that the most affected areas are those near river mouths and aquaculture zones, with high concentrations of heavy metals, pathogens, and organic pollutants linked to domestic and agricultural waste and poor effluent management. The discussion compares these findings with international studies, highlighting the effectiveness of biological indicators and the need for integrated management strategies. It is recommended to implement advanced treatment and remediation technologies, strengthen environmental monitoring, and promote education and community participation to mitigate impacts and ensure the sustainability of aquaculture in coastal areas. **Conclusion.** This study provides crucial insights into managing environmental risks in aquaculture ecosystems, with significant implications for conservation and sustainable aquaculture practices in coastal regions.

Keywords: Sustainable aquaculture, environmental risk assessment, contaminant management and biodiversity conservation.

Recibido 07/02/2024 Aprobado 20/02/2024

Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



¹Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Lima. Email: r.vargasc@pucp.edu.pe, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3591-2271>.

²Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huaura, Lima. Email: crisvarcoll@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-6649-5472>

INTRODUCCIÓN

La acuicultura en Perú comenzó en la década de 1920 con la cría de trucha arco iris en ecosistemas altoandinos, expandiéndose a la crianza de especies marinas en los años setenta. En la actualidad, cerca de 200 centros de producción acuícola se especializan en maricultura, siendo significativos para el comercio internacional (Ruiz, 2012). Sin embargo, estos centros enfrentan desafíos importantes, como la contaminación, que afecta la seguridad alimentaria y el equilibrio ecológico (Vargas & Mendonza, 2016). En la bahía norte, los aportes orgánicos del río Piura han generado una alta contaminación, detectándose *Escherichia coli* y coliformes termotolerantes en moluscos y aguas marinas, obligando a las autoridades a implementar estrictos protocolos sanitarios para garantizar la seguridad alimentaria.

Este problema de contaminación no es exclusivo de Sechura; en el golfo de Maranhão, Brasil, estudios han demostrado el uso de *E. coli* como indicador de contaminación fecal, revelando altas concentraciones en el Río Perizes que disminuyen hacia la bahía, indicando procesos naturales de dilución (Albuquerque De Assis Costa et al., 2018). Similarmente, investigaciones en el estuario del río Sergipe identificaron múltiples fuentes antropogénicas de contaminación, destacando el coprostanol como un indicador efectivo de contaminación reciente por aguas residuales domésticas (Carreira et al., 2001). Asimismo, en la investigación en Xiamen Bay se evaluó la distribución espacial y el riesgo ecológico de elementos potencialmente tóxicos, utilizando índices como el índice de carga de polución y el índice de riesgo potencial ecológico determinando las áreas más afectadas (Wang et al., 2021).

En diversos países, el análisis de riesgos se emplea estratégicamente para gestionar la contaminación en bahías, permitiendo identificar y cuantificar los impactos potenciales en el ecosistema marino. Un ejemplo relevante es el estudio realizado en *Beihai Bay*, Guangxi, donde se evaluaron los riesgos ecológicos de los esteroides detectados en los cuerpos de agua, utilizando índices de riesgo que permiten categorizar la gravedad de la contaminación (Ren, Tan, Huang, Zhao, & Lan, 2022). Esta metodología permite a las autoridades tomar decisiones informadas sobre medidas de remediación y prevención.

Las técnicas de mitigación de la contaminación en bahías se centran en la identificación de fuentes y la implementación de tecnologías de tratamiento. Por ejemplo, la factorización de matriz positiva (de sus siglas en inglés, *PMF*) ha demostrado ser efectiva para identificar las fuentes de contaminantes potencialmente tóxicos en Quanzhou Bay, China, facilitando la implementación de estrategias de gestión adecuadas (Jiang, Wang, Lin, Liu, & Lin, 2022). Además, el uso de modelos de calidad de agua y sistemas de información geográfica (GIS) para mapear y predecir áreas de alto

riesgo contribuye significativamente a la planificación de intervenciones eficaces.

Los contaminantes más comunes en las bahías incluyen metales pesados, nutrientes excesivos, y compuestos orgánicos persistentes, que pueden provenir de fuentes tanto antropogénicas como naturales. La evaluación de riesgos realizada en Xiamen Bay destaca la prevalencia de metales como plomo y mercurio, los cuales poseen altos índices de geo-acumulación, indicando una contaminación significativa (Wang, Lin, Wang, Jiang, Liu, & Lin, 2021). El análisis de estos contaminantes es crucial para entender su ecotoxicidad y para desarrollar estrategias que minimicen su impacto en la salud pública y la biodiversidad marina.

Además, estudios recientes resaltan que la acuicultura de bivalvos puede afectar significativamente la calidad de la materia orgánica en el fondo marino, lo que repercute en la calidad del agua y la salud del ecosistema (Sakamaki et al., 2022). Por tanto, es crucial considerar tanto los impactos biológicos, como la pérdida de biodiversidad y hábitats, como los sociales y culturales, que incluyen la alteración de comunidades debido a la degradación ambiental (Mitsch & Gosselink, 2015; Programa del Medio Ambiente de las Naciones Unidas, 2002).

Este artículo profundiza en el análisis de riesgos de fuentes contaminantes en la Bahía de Sechura, donde se desarrolla el cultivo de concha de abanico (*Argopecten purpuratus*) en las denominadas “áreas de producción”; categorizando los riesgos y ofreciendo datos valiosos para mejorar las prácticas de manejo acuícola y la fiscalización ambiental local, con un enfoque similar al empleado en estos estudios internacionales.

MATERIAL Y MÉTODOS

a) Análisis de Riesgos

La metodología empleada en este estudio consiste en un análisis de riesgos detallado para identificar y evaluar los riesgos e impactos ambientales en las áreas de producción de la Bahía de Sechura. Este enfoque facilita la identificación de los impactos ambientales potencialmente más significativos y permite establecer medidas de prevención y mitigación adecuadas.

b) Identificación de Fuentes Contaminantes

Para identificar las fuentes contaminantes, se realizaron prospecciones terrestres y marinas. En tierra, se recorrió la bahía desde el centro poblado de Chulliyachi hasta Puerto Rico, utilizando materiales como GPS, libretas de campo y cámaras fotográficas para registrar y georreferenciar las fuentes de contaminación detectadas. De forma similar, la prospección marina se extendió desde el muelle de Parachique hasta el sur de la bahía y desde el muelle Constante hasta Chulliyachi. Las coordenadas geográficas de cada punto identificado fueron documentadas y posteriormente georreferenciadas en un mapa mediante el software

ArcGIS versión 10.8.1.

c) Procedimiento de Estimación del Riesgo

El procedimiento para estimar el riesgo incluyó determinar el grado de consecuencia del riesgo, con niveles que varían desde 0 (insignificante) hasta 5 (catastrófico) (ver Tabla 1). Asimismo, se evaluó la probabilidad de ocurrencia de cada riesgo, asignando valores desde 1 (remoto) hasta 6 (probable) (ver Tabla 2). La matriz de riesgos se utilizó para calcular el riesgo total multiplicando el nivel de impacto por el nivel de probabilidad. Los resultados se categorizaron en un rango que va de insignificante (0) a extremo (>19), y se aplicaron las correspondientes respuestas de manejo según los niveles de riesgo identificados.

Tabla 1

Tabla de Consecuencias Generales para la evaluación de riesgos ecológicos asociados a la acuicultura

Nivel	Bebida optima
0	Impactos muy poco significativos. Es poco probable que sean medibles a escala de población/ecosistema
1	Impacto detectable pero mínimo
2	Nivel de impacto máximo aceptable, e.g., tasa de asimilación total de nutrientes
3	Impactos más amplios y a largo plazo, e.g., aumento de floraciones de plancton
4	Impactos serios a largo plazo que requieren tiempo considerable para restaurarse.
5	Daños generalizados y permanentes/irreversibles, e.g., extinciones.

Fuente: Fletcher et al. (2002).

Figura 1

Matriz de riesgo: los números en las celdas indican el valor del riesgo, el tono de los colores indica las clasificaciones de riesgo

		Consecuencia					
Probabilidad		Insignificante	Menor	Moderado	Severo	Mayor	Catastrófico
		0	1	2	3	4	5
Remoto	1	0	1	2	3	4	5
Raro	2	0	2	4	6	8	10
Improbable	3	0	3	6	9	12	15
Posible	4	0	4	8	12	16	20
Ocasional	5	0	5	10	15	20	25
Probable	6	0	6	12	18	24	30

Fuente: (Fletcher et al., 2002)

Tabla 2

Definiciones de probabilidad

Nivel	Descripción
6	Se espera que ocurra
5	Puede ocurrir
4	Alguna evidencia de posibilidad
3	Poco común, pero conocido en otros lugares
2	Puede ocurrir en circunstancias excepcionales.
1	Nunca oído hablar de, pero no imposible

Fuente: Fletcher et al. (2002).

d) Valoración de Impactos Ambientales

Se utilizó la tabla de consecuencias generales diseñada por Fletcher et al. (2002) para evaluar los impactos ambientales. Esta tabla, que requiere ajustes específicos según las circunstancias del estudio, categoriza los impactos desde insignificantes hasta catastróficos, y se complementa con una tabla de probabilidad que clasifica la frecuencia de ocurrencia desde remoto hasta probable. La combinación de estos factores permite una clasificación precisa del riesgo ambiental.

Figura 2

Matriz de riesgo: los números en las celdas indican el valor del riesgo, el tono de los colores indica las clasificaciones de riesgo en categorías

Clasificaciones de riesgo	Valor del riesgo	Explicación y probable responsable de gestión	Probables requisitos de información
Despreciable	0	Nulo	Una corta justificación
Bajo	1 – 16	No se necesita una gestión adicional específica, pero es posible que se requiera un control de bajo nivel del problema. Cualquier gestión actual debe continuar, ya que la clasificación de riesgo se basa en la gestión actual establecida.	Breve justificación solamente
Moderado	7 – 12	Es posible que se necesite información adicional o que el problema requiera supervisión. No se requiere una gestión inmediata, pero el problema debe ser objeto de mejora continua con el objetivo de lograr una clasificación de riesgo bajo en el futuro.	Se necesita justificación completa
Alto	13 – 18	Posibles aumentos de las actividades de gestión adicionales a las que ya se están aplicando. Necesita ser monitoreado y cualquier deficiencia de información debe ser abordada.	Informe de rendimiento completo
Extremo	> 19	Se recomienda encarecidamente aumentar las actividades de gestión además de las que ya se están aplicando.	Informe de rendimiento completo

Fuente: (Fletcher et al., 2002)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a) Identificación de peligros por prospección marina y terrestre

A continuación, se presentan los hallazgos correspondientes a las áreas de producción examinadas, detallando las fuentes de contaminación identificadas durante las prospecciones marina y terrestre, sus características y las observaciones pertinentes.

Áreas de Producción Chulliyachi y San Pedro 1

Ubicación y Contaminación: Se identificó la desembocadura del manglar de San Pedro como una fuente significativa de contaminación debido al acarreo de desechos provenientes del río Piura, incluyendo contaminantes fecales, patógenos, residuos domésticos y agrícolas. Esta área también es afectada por actividades agrícolas y la presencia de aves marinas y migratorias.

Observaciones: Los niveles de contaminantes microbiológicos, virales, metales pesados y pesticidas son altamente preocupantes, particularmente durante la

temporada de verano cuando el riesgo de contaminación aumenta debido al incremento de actividades recreativas.

Área de Producción Matacaballo

Ubicación y Contaminación: En la playa de Matacaballo, los peligros identificados incluyen contaminantes fecales y patógenos virales.

Observaciones: La presencia de un desembarcadero no autorizado y de instalaciones militares abandonadas contribuye a la contaminación, además de los residuos vertidos directamente al mar y la falta de manejo de efluentes.

Área de Producción Constante

Ubicación y Contaminación: La playa de Constante y el desembarcadero presentan riesgos de contaminación debido a prácticas inadecuadas de manejo de residuos y efluentes, y la ausencia de servicios básicos de agua y saneamiento en la zona.

Observaciones: Las actividades de lavado de moluscos y otras especies, junto con la evisceración de langostinos y otros pescados, se realizan sin el cumplimiento de las

normas sanitarias necesarias.

Área de Producción Las Delicias

Ubicación y Contaminación: El DPA de Las Delicias no cumple con las normas sanitarias y se encuentra en estado de abandono. Las actividades de descarga involucran el uso de agua de mar para lavar productos hidrobiológicos, que luego son arrojados al mar sin tratamiento.

Observaciones: La falta de servicios básicos en el área amplifica el riesgo de contaminación por combustibles y otros contaminantes relacionados con las actividades de las embarcaciones fondeadas.

Área de Producción Parachique

Ubicación y Contaminación: El estuario de Virrila y el varadero municipal Varadero Capuñay son los principales puntos de preocupación. La presencia de más de 300 embarcaciones en el área aumenta el riesgo de contaminación por hidrocarburos y residuos sólidos orgánicos e inorgánicos.

Observaciones: Las actividades de desembarque y lavado en el TPZ Parachique resultan en la descarga directa de residuos al mar sin tratamiento adecuado, exacerbando los riesgos de contaminación fecal y viral.

Área de Producción Barrancos

Ubicación y Contaminación: La Estación Fondapes en Barrancos alberga instalaciones para el cultivo de Artemia y langostino. Aunque actualmente inoperativas, estas instalaciones presentan riesgos mínimos de contaminación ambiental.

Observaciones: No se requiere un manejo específico dado el bajo nivel de actividad y riesgo.

Área de Producción Vichayo

Ubicación y Contaminación: El DPA Leonardo Felipe y varios campamentos asociados a la actividad de

acuicultura, como el campamento Nemo Corporation S.A., carecen de sistemas de tratamiento de residuos, lo que eleva el potencial de contaminación.

Observaciones: La inactividad de algunos de estos sitios reduce temporalmente el riesgo, pero la falta de infraestructura adecuada para el manejo de residuos sigue siendo una preocupación latente.

Área de Producción Puerto Rico

Ubicación y Contaminación: Esta área enfrenta varios desafíos ambientales, destacando el muelle de PETROPERU y los muelles de fosfatos de VALE – Miski Mayo, donde se observa la descarga de fosfatos y la posible emisión de partículas finas al ambiente.

Observaciones: La actividad esporádica en el muelle de PETROPERU minimiza los riesgos de derrame de combustible, pero las descargas de fosfatos requieren una evaluación continua de metales pesados en sedimentos y agua. Adicionalmente, el área alberga plataformas de desembarque informales que contribuyen significativamente a la contaminación por falta de medidas sanitarias adecuadas.

b) Valoración de Riesgo de las Áreas de Producción

La valorización del riesgo se realizó mediante la combinación de los niveles de impacto y probabilidad para cada fuente de contaminación identificada, utilizando una escala que varía desde despreciable hasta extremo. Por ejemplo, en las áreas de Chulliyachi y San Pedro 1, la desembocadura del río Piura se evaluó con un riesgo alto debido a su alto impacto y probabilidad de ocurrencia. En la Tabla 3, se describen la valorización de riesgo de cada fuente de contaminación identificado:

Tabla 3

Valorización de riesgo de las áreas de producción.

Área de producción	Fuente	Impacto	Probabilidad	Riesgo	Escala	Manejo
Chuyillachi - San Pedro 1	Desembocadura del manglar de San Pedro el cual constituye un ramal de río Piura	3	6	18	Alto	Posible aumento de manejo sobre los que ya se aplican. Requiere monitoreos.
	Desembocadura del río Piura	3	6	18	Alto	Posible aumento de manejo sobre los que ya se aplican. Requiere monitoreos.

Matacaballo	Playa de Matacaballo	1	4	4	Bajo	No requiere manejo específico, monitoreo de bajo nivel puede ser necesario. Manejo regular debe continuar.
Constante	Playa de Constante Desembarcadero con balsillas	2	4	8	Moderado	Requiere monitoreo, no es necesario manejo inmediato, sujeto a mejoras para bajar el riesgo.
Las Delicias	DPA Las delicias	3	6	18	Alto	Posible aumento de manejo sobre los que ya se aplican. Requiere monitoreos.
	DPM Juan Pablo	0	2	0	Despreciable	No requiere manejo específico, monitoreo de bajo nivel puede ser necesario. Manejo regular debe continuar.
	Planta Congelado PERU PEZ	2	4	8	Moderado	Requiere monitoreo, no es necesario manejo inmediato, sujeto a mejoras para bajar el riesgo.
	Planta Congelado GAM CORP	2	4	8	Moderado	Posible aumento de manejo sobre los que ya se aplican. Requiere monitoreos.
Parachique	Estuario de Virrilá	3	6	18	Alto	Posible aumento de manejo sobre los que ya se aplican. Requiere monitoreos.
	Varadero Municipal Varadero Capuñay	3	6	18	Alto	Posible aumento de manejo sobre los que ya se aplican. Requiere monitoreos.
	TPZ Parachique	3	6	18	Alto	Posible aumento de manejo sobre los que ya se aplican. Requiere monitoreos.
	Playa al extremo norte de Parachique	3	6	18	Alto	Posible aumento de manejo sobre los que ya se aplican. Requiere monitoreos.
Área de producción	Fuente	Impacto	Probabilidad	Riesgo	Escala	Manejo
Barrancos	Varaderos Acuaris	0	1	0	Despreciable	No requiere manejo específico, monitoreo de bajo nivel puede ser necesario. Manejo regular debe continuar
	Estación Fondapes	0	1	0	Despreciable	No requiere manejo específico.
	DPA Leonardo Felipe	0	2	0	Despreciable	No requiere manejo específico.
	Campamento	2	4	8	Moderado	No requiere manejo específico.
Vichayo	Campamentos Nemo Corporation S.A.	2	4	8	Moderado	No requiere manejo específico.
	Campamento de Seacorp SA.	0	2	2	Bajo	No requiere manejo específico.

Puerto Rico	Campamento Sixto Yovera Eche	2	4	8	Moderado	No requiere manejo específico.
	Muelle PetroPerú Combustibles	1	4	4	Bajo	No requiere manejo específico, monitoreo de bajo nivel puede ser necesario. Manejo regular debe continuar.
	Drenes	3	4	12	Moderado	Requiere monitoreo, no es necesario manejo inmediato, sujeto a mejoras para bajar el riesgo.
	Muelle VALE (Fosfatos)	3	6	18	Alto	Posible aumento de manejo sobre los que ya se aplican. Requiere monitoreos.
	Pesquera Diamante	0	1	0	Despreciable	No requiere manejo específico, monitoreo de bajo nivel puede ser necesario. Manejo regular debe continuar.
	Plataformas desembarque informales	4	6	24	Extremo	Requiere un incremento en las medidas de manejo sobre las que ya están establecidas.
	Fondeadero frente a desembarque informales	3	6	18	Alto	Posible aumento de manejo sobre los que ya se aplican. Requiere monitoreos.
	Muelle Copeinca	0	4	0	Despreciable	No requiere manejo
	Botadero de basura cercano a JPQ	1	4	4	Bajo	No requiere manejo específico, monitoreo de bajo nivel puede ser

Área de producción	Fuente	Impacto	Probabilidad	Riesgo	Escala	Manejo
						necesario. Manejo regular debe continuar.
	Punto de descarga de MB Puerto Rico	1	5	5	Bajo	No requiere manejo específico, monitoreo de bajo nivel puede ser necesario. Manejo regular debe continuar.
	Planta de tratamiento de aguas residuales	3	4	12	Moderado	No requiere manejo específico, monitoreo de bajo nivel puede ser necesario. Manejo regular debe continuar.
	Playa Blanca	1	4	4	Bajo	No requiere manejo específico, monitoreo de bajo nivel puede ser necesario. Manejo regular debe continuar.

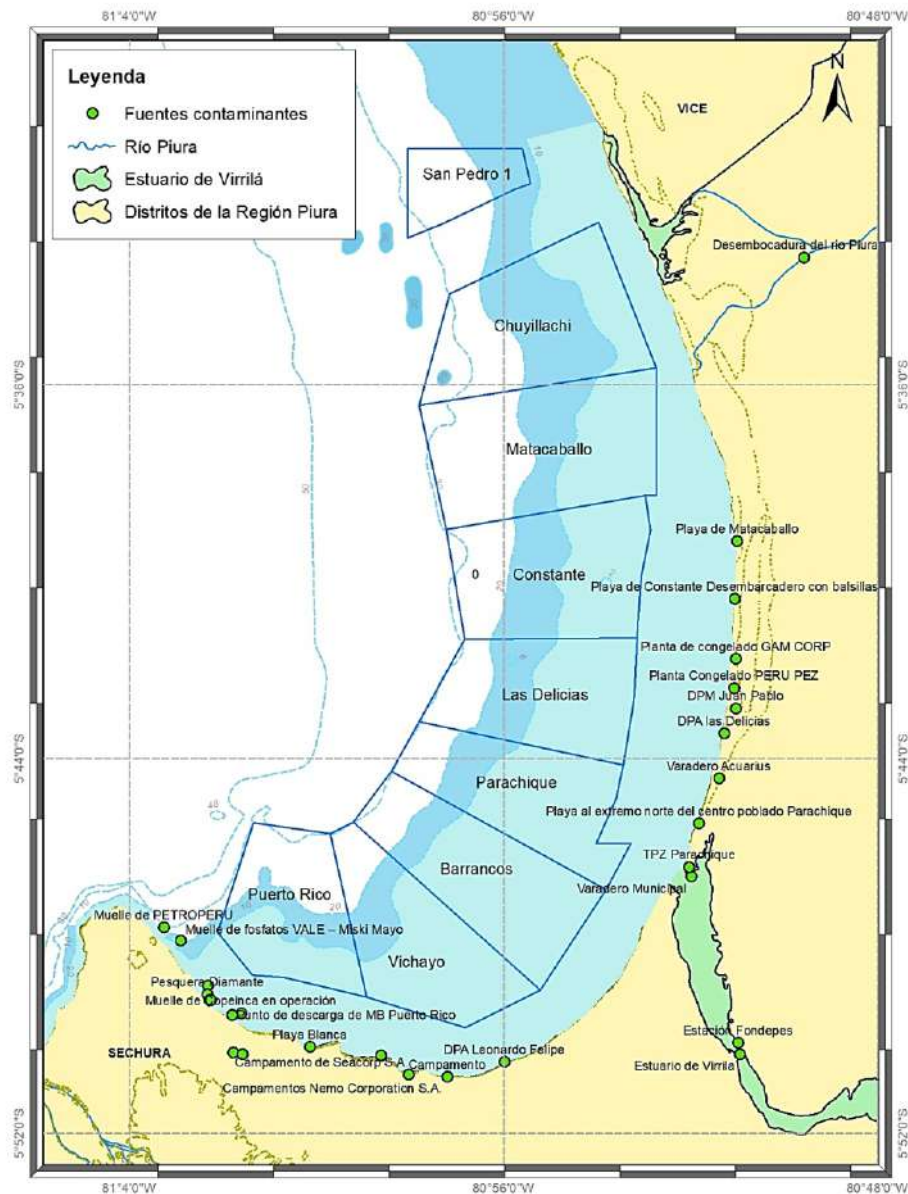
c) Mapa de Ubicación de las Fuentes de Contaminación

Se elaboró un mapa de ubicación de las fuentes de contaminación utilizando la georreferenciación a través

del software ArcGIS versión 10.8.1, lo que facilita la visualización de las áreas críticas y la planificación de intervenciones.

Figura 3

Georreferenciación de las fuentes de contaminación en la prospección marina y terrestre de la bahía de Sechura



La investigación en la Bahía de Sechura revela un paisaje complejo de riesgos ambientales asociados con la actividad acuícola y otras prácticas humanas. Estos hallazgos resuenan con estudios globales que abordan los desafíos similares en distintas bahías, proporcionando un contexto valioso para entender la magnitud y las implicancias de los impactos observados. La prevalencia de contaminantes identificados en este estudio, como metales pesados y patógenos, es consistente con los hallazgos de Jiang et al. (2022) en la Bahía de Quanzhou, donde se utilizó la factorización de matriz positiva para identificar fuentes de contaminación. Esta técnica podría aplicarse en futuras investigaciones en Sechura para mejorar la precisión en la identificación de fuentes contaminantes. La utilización de indicadores biológicos como *Escherichia coli*, similar al estudio de Albuquerque De Assis Costa et al. (2018), ha demostrado ser efectiva para evaluar la contaminación fecal. Los impactos de la acuicultura en la calidad de la materia

orgánica del fondo marino, destacados por Sakamaki et al. (2022), sugieren que la acuicultura en Sechura podría estar contribuyendo significativamente a los cambios en la calidad del agua y la salud del ecosistema, lo que requiere una gestión y monitoreo continuo.

CONCLUSIONES

La presente investigación ha evidenciado que la Bahía de Sechura enfrenta desafíos ambientales significativos derivados de prácticas acuícolas y otras actividades antropogénicas. Estos desafíos se caracterizados por:

- Alta presencia de contaminantes, incluyendo metales pesados y patógenos, que no solo afectan la biodiversidad local, sino que también representa un riesgo para la salud humana.
- Impactos ecológicos significativos sobre la biodiversidad y los hábitats naturales, con potenciales consecuencias irreversibles en los ecosistemas

locales.

- Necesidad de mejorar las prácticas de gestión y monitoreo para mitigar los efectos adversos y garantizar la sostenibilidad de las actividades económicas y la conservación ambiental en la región.

RECOMENDACIONES

Adoptar y mejorar las tecnologías de tratamiento y remediación, especialmente en las zonas de alta contaminación identificadas, para reducir los niveles de contaminantes antes de que alcancen cuerpos de agua críticos. Asimismo, de establecer un programa de monitoreo continuo utilizando indicadores biológicos y químicos para evaluar la eficacia de las intervenciones y ajustar las estrategias de gestión de manera proactiva. Sumado a ello, el fortalecimiento de la educación ambiental y la participación comunitaria en la gestión de recursos acuícolas y la conservación del ecosistema para aumentar la conciencia y mejorar las prácticas locales. Además, de promover la colaboración entre agencias gubernamentales, investigadores, y la industria acuícola para desarrollar y aplicar soluciones integradas que aborden tanto las necesidades económicas como los imperativos ecológicos.

Estas medidas no solo ayudarán a preservar la integridad ecológica de la Bahía de Sechura, sino que también asegurarán la viabilidad a largo plazo de sus recursos acuícolas y marinos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuquerque, K. F. D. M., Silva, M. H. L., Azevedo, J. W. D. J., Soares, L. S., Bandeira, A. M., Soares, L. A., & Castro, A. C. L. D. (2023). Assessment of water quality and concentration of heavy metals in fishes in the estuary of the Perizes River, Gulf of Maranhão, Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 186, 114420. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114420>
- Carreira, R., Wagener, A. L. R., Fileman, T., & Readman, J. W. (2001). Distribuição de coprostanol (5 β (H)-coletan-3 β -ol) em sedimentos superficiais da Baía de Guanabara: Indicador da poluição recente por esgotos domésticos. *Quim. Nova*, 24(1), 37–42. <https://www.scielo.br/j/qn/a/LVBcVsJRLs7kwXHRGKqvtLd/?format=pdf&lang=pt>
- Fletcher, Warrick. (2005). The application of qualitative risk assessment methodology to prioritize issues for fisheries management. *Ices Journal of Marine Science - ICES J MAR SCI*. 62. 1576-1587. 10.1016/j.icesjms.2005.06.005.
- Ruiz, L. (2012). Estado de la acuicultura en el Perú. *AquaTIC*, 37, 99–106.
- Jiang, R., Wang, W., Lin, C., Liu, Y., & Lin, H. (2022). Multivariate statistical analysis of potentially toxic elements in the sediments of Quanzhou Bay, China: Spatial relationships, ecological toxicity and sources identification. *Environmental Research*. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113750>
- Mitsch, W., & Gosselink, J. (2015). *Wetlands* (5ta ed.). https://www.researchgate.net/publication/271643179_Wetlands_5th_edition
- Programa del Medio Ambiente de las Naciones Unidas. (2002). *Environmental Impact Assessment Training Resource Manual—Second Edition* (2da ed.). <https://wedocs.unep.org/xmlui/handle/20.500.11822/26503>
- Ren, C., Tan, X., Huang, C., Zhao, H., & Lan, W. (2022). Sources, Pollution Characteristics, and Ecological Risk Assessment of Steroids in Beihai Bay, Guangxi. *Water*, 14(9), 1399. <https://doi.org/10.3390/w14091399>
- Sakamaki, T., Zheng, Y., Hatakeyama, Y., Fujibayashi, M., & Nishimura, O. (2022). Effects of spatial scale on assessments of suspension bivalve aquaculture for productivity and environmental impacts. *Aquaculture*, 553, 738082. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738082>
- Vargas, R. G., & Mendoza, E. (2017). Perturbación de fuentes contaminantes en la sostenibilidad de la Bahía de Sechura. *Infinitum...*, 7(1), 11–20. <https://doi.org/10.51431/infinitum.v7i1.60>
- Wang, W., Lin, C., Wang, L., Jiang, R., Liu, Y., & Lin, H. (2021). Effects of Human Activities on the Spatial Distribution, Ecological Risk and Sources of PTEs in Coastal Sediments. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(23), 12476. <https://doi.org/10.3390/IJERPH182312476>