

Efectos potenciales por la presencia de hidrocarburos sobre macroalgas marinas de importancia ecológica y comercial

Potential effects of the presence of hydrocarbons on marine macroalgae of ecological and commercial importance

Max Castañeda-Franco¹ , Arturo Mires-Reyes¹ 
y Paul Baltazar-Guerrero^{1,2} * 

1 Grupo de Investigación en Acuicultura Sostenible (GIAS), Laboratorio de Investigación en Cultivos Marinos (LICMA), Dirección General de Investigación, Desarrollo e Innovación, Universidad Científica del Sur. Lima, Perú.
2 Carrera de Biología Marina, Facultad de Ciencias Veterinarias y Biológicas, Universidad Científica del Sur. Lima, Perú.



Citar como: Castañeda-Franco *et al.* (2024). «Efectos potenciales por la presencia de hidrocarburos sobre macroalgas marinas de importancia ecológica y comercial». *South Sustainability*, 5(2), e110. DOI: 10.21142/SS-0502-2024-e110

Artículo recibido: 9/8/2024
Revisado por pares
Artículo aceptado: 3/10/2024

Este documento formó parte de los trabajos generados en el marco del «Encuentro científico - Derrame de hidrocarburos: Soluciones desde la academia» organizado por la Universidad Científica del Sur (Lima, Perú, 2024).



© Los autores, 2024. Publicado por la Universidad Científica del Sur (Lima, Perú)

*E-mail de correspondencia:
pbaltazar@cientifica.edu.pe

RESUMEN

La recolección de macroalgas es una actividad económica importante en diversas regiones costeras del Perú, ya que constituye el soporte económico para los pescadores artesanales y sus familias. Varias especies de algas pardas y rojas se extraen en zonas con alta influencia antropogénica o con potencial de contaminarse por derrames de hidrocarburos de petróleo, lo que genera la disminución de su capacidad reproductiva y fotosintética. Ante ello es imprescindible realizar estudios a corto plazo acerca de los procesos metabólicos de las algas en la captación de hidrocarburos, e implementar medidas de regulación de la descarga indiscriminada de petróleo en las zonas costeras donde se recolecten macroalgas destinadas al procesamiento y consumo humano local.

Palabras claves: algas marinas, industria petrolera, derrame de petróleo, inhibición de crecimiento, bioindicadores

ABSTRACT

Seaweed harvesting is an important economic activity in several coastal regions of Peru, providing an income for artisanal fishermen and their families. Several species of brown and red seaweeds are harvested in areas with high anthropogenic influence or with the potential to be polluted by oil spills, resulting in a decline in their reproductive and photosynthetic capacities. In this context, it is essential to conduct short-term studies on the metabolic processes of seaweeds, regarding hydrocarbon capture, and implement measures that regulate indiscriminate oil discharges in coastal areas where seaweeds are harvested for processing and local human consumption.

Keywords: seaweeds, oil industry, oil spill, growth inhibition, bioindicators



Introducción

Hasta 2016, se comercializaron 373 000 toneladas métricas (TM) de macroalgas en Latinoamérica, de las cuales el 97 % fueron de la extracción de praderas naturales o bosques de kelps (Alemañ *et al.*, 2019). De acuerdo con los datos proporcionados por el Ministerio de la Producción del Perú (Produce, 2023), la colecta de macroalgas se ha triplicado en los últimos 12 años, dado que en 2010 se reportó un volumen de 4368 TM y en 2022 el reporte fue de 50 826 TM. Estos volúmenes de extracción han registrado una disminución importante en la biomasa de varias especies comercialmente relevantes, como *Chondracanthus chamissoi*, *Macrocystis pyrifera* y *Lessonia trabeculata* (Flores *et al.*, 2015; Ávila-Peltroche y Padilla-Vallejos, 2020; Uribe *et al.*, 2020; Imarpe, 2022), las cuales son de suma importancia ecológica (por ser ingenieras ecosistémicas) y económica para distintas comunidades pesqueras artesanales, pues viene a ser, en algunas ocasiones, su único sustento de vida (Quispe-Ubilla *et al.*, 2022).

Además, el Perú es un país que también se enfoca en la actividad extractiva de hidrocarburos, como el petróleo, ello reflejado en la producción de un total de 7631,48 miles de barriles (MBLS) de hidrocarburos líquidos hasta 2022 para la costa peruana (Minem, 2023). Esto supone posibles riesgos de contaminación por derrames de hidrocarburos en el medio marino. Según OEFA (2022), entre 2011 y 2022 se han producido 144 derrames de combustible, de los cuales los de mayor frecuencia fueron los ocurridos en la costa norte del Perú (Piura y Tumbes) y en menor instancia en el Callao, tal como sucedió en 2022 con el derrame de petróleo de la refinería La Pampilla (Aponte *et al.*, 2022), que presentó diversos efectos adversos en el ambiente marino y sobre distintos recursos hidrobiológicos (Pulido-Capurro *et al.*, 2022a; Pulido-Capurro *et al.*, 2022b). Sin embargo, los estudios no muestran a totalidad las posibles afectaciones que estos eventos podrían tener sobre una comunidad tan importante como las praderas o bosques de macroalgas marinas.

Asimismo, la escorrentía urbana, los desechos y los efluentes de industrias no petroleras son fuentes importantes de contaminación, que pueden representar el 45 % del petróleo que ingresa al mar, aunque los derrames son la principal fuente de contaminación de hidrocarburos (Ralph y Burchett, 1998). Los efectos adversos de estos compuestos en el ecosistema son un tema importante de discusión en todo el mundo. El grado de impacto de la contaminación por petróleo depende de la cantidad y el tipo de petróleo comprometido, así como de los organismos involucrados (Elkady y Younis, 2023).

Por lo tanto, el presente manuscrito busca discutir sobre los efectos conocidos de los hidrocarburos derivados de petróleo a gran escala y los efectos a largo plazo en la degradación de dichos compuestos sobre las macroalgas en sus diversos estados reproductivos, capacidad

propagativa y su alto grado de bioacumulación, con el fin de proponer medidas a corto, mediano y largo plazo en el manejo de las praderas de macroalgas.

Enfoque y discusión

En nuestro país, diversos entes se encargan de evaluar y administrar las praderas de macroalgas y el impacto de un posible derrame de petróleo. Ante ello, es fundamental identificar y coordinar a los diversos actores involucrados en la prevención y respuesta a la contaminación ante tal contexto. El Ministerio del Ambiente (Minam), el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), las capitanías de puerto, el Ministerio de Energía y Minas (Minem) y el Produce son entidades estatales esenciales que desempeñan funciones importantes en la gestión y mitigación de emergencias ambientales. El Instituto del Mar del Perú (Imarpe) y varias universidades nacionales y privadas brindan conocimientos científicos y técnicos útiles para evaluar el impacto ambiental y crear estrategias de remediación. La responsabilidad de implementar los planes recae en las empresas petroleras y pesqueras, así como en las Organizaciones Sociales de Pescadores Artesanales (OSPA) dedicadas a la extracción del recurso macroalgas que tienen un impacto directo.

Las macroalgas marinas se han identificado como agentes naturales capaces de capturar una variedad de contaminantes presentes en el ecosistema porque pueden absorberlos en sus tejidos. Como resultado, a las algas se les consideran bioindicadores efectivos de la contaminación ambiental (Saldarriaga-Hernández *et al.*, 2020). Por lo tanto, en relación con la posibilidad de que los contaminantes provengan de derrames de petróleo, las algas son el primer grupo taxonómico de importancia ecológica y económica (Contreras *et al.*, 2007; Leal *et al.*, 2016) que se evalúa para reconocer su presencia, como resultado del inadecuado manejo durante la extracción y el transporte de petróleo y sus derivados, a mediano y largo plazo (Qari y Hassan, 2017).

El impacto de la fitotoxicidad por contaminación de hidrocarburos como el petróleo se refleja en mayor instancia en las macroalgas pardas y rojas, cuya capacidad de propagarse o reproducirse es la más afectada frente a tal situación. Los efectos en estos dos grupos pueden visualizarse en la tabla 1.

Sin embargo, poblaciones de macroalgas verdes presentan una mayor resistencia frente a la intromisión de hidrocarburos en la columna de agua, puesto que se ha demostrado en diversos estudios que la exposición a concentraciones inhibitorias en otras especies de algas rojas y pardas no disminuye la actividad fotosintética ni reproductiva en este grupo (Zokm *et al.*, 2022; Elkady y Younis, 2023), aunque ello depende del tipo de hidrocarburo y de su concentración, pues esto determinará efectos estimulantes o inhibitorios (Liu *et al.*, 2024). Asimismo, dichos estudios recomiendan tomar a este grupo como

Tabla 1. Detalle de la intervención de hidrocarburos en los procesos fisiológicos de macroalgas pardas y rojas.

Grupo de macroalgas	Efecto	Referencia
Pardas	Elevada mortalidad, distribución de tamaños anormal	Stekoll <i>et al.</i> (1993); Peterson (2001)
	Disminución de la capacidad fotosintética	Stepaniyan (2008); Ribeiro-Soares <i>et al.</i> (2017)
	Problemas en el crecimiento, la formación de estructuras reproductivas y la generación de gametos y esporas	Tegner <i>et al.</i> (1995); Lewis y Pryor (2013); Elkady y Younis (2023)
	Limitada capacidad de adhesión en sustratos naturales	Binark <i>et al.</i> (2000)
	Disminución en la liberación y asentamiento de esporas, además del desarrollo de gametofitos (germinación, crecimiento del tubo germinativo y migración nuclear)	Garman <i>et al.</i> (1994); BurrIDGE y Shir (1995); Meynard <i>et al.</i> (2021)
	Reducción de los metabolitos o compuestos intrínsecos de las macroalgas	Voskoboinikov <i>et al.</i> (2004)
Rojas	Disminución de la capacidad fotosintética y la tasa de crecimiento	Stepaniyan (2008)
	Alta capacidad de concentración de hidrocarburos	Binark <i>et al.</i> (2000); Pavoni <i>et al.</i> (2003)
	Cambios en la abundancia según la especie	Lobón <i>et al.</i> (2008)

el principal bioacumulador de hidrocarburos, por lo cual puede ser empleado como bioindicador en casos en que se estipule realizar estudios de la intromisión de estos contaminantes al mar.

Consideremos que, para la costa peruana, debido a la abundante riqueza en nutrientes y a las condiciones geográficas, la capacidad de propagación mayoritariamente reportada en las macroalgas se realiza a través de la liberación y asentamiento de esporas (Arbaiza *et al.*, 2019), por lo que, ante posibles derrames, se vería afectada esta capacidad. En la costa centro-sur del Perú, las macroalgas pardas son especies dominantes y en formadoras de hábitat en ecosistemas intermareales y submareales (Meynard *et al.*, 2021). Sin embargo, su presencia disminuye en áreas con presencia de terminales pesqueros, actividades marítimas comerciales y desarrollo de asentamientos urbanizados con alto índice de descargas de hidrocarburos, donde se ha demostrado

que individuos juveniles y adultos persisten frente a estos contaminantes (Elkady y Younis, 2023), por lo cual se ven afectadas la propagación y recuperación de estos recursos debido a la vulnerabilidad que presentan los primeros estadios de desarrollo de las macroalgas (Garman *et al.*, 1994). Asimismo, la comunidad de organismos asociados a las macroalgas se puede ver afectada negativamente, al alterarse la cadena trófica (Craveiro *et al.*, 2021)

Conclusiones y recomendaciones

Debido a que absorben estos contaminantes del entorno circundante, las macroalgas juegan un papel importante en la biomagnificación de compuestos contaminantes en el ecosistema. Por lo tanto, se recomendaría que tanto el Imarpe como las universidades públicas y privadas realicen estudios a corto plazo relacionados con los procesos de acumulación, identificación de los procesos metabólicos de las algas en la captación de estos compuestos y su relación con las actividades antropogénicas, particularmente con el uso o la intromisión de hidrocarburos.

En el mediano y largo plazo, es fundamental llevar a cabo investigaciones con Imarpe, Produce, Minam, OEFA y las OSPA sobre la distribución de elementos menores y oligoelementos como consecuencia de la presencia de hidrocarburos en aguas costeras, para determinar los niveles de acumulación en las macroalgas, sobre todo en las zonas de extracción. Para ello, se propone, junto con OEFA y Minam, implementar medidas de regulación de la descarga indiscriminada de petróleo, efluentes y aguas residuales nacionales directa o indirectamente en las zonas costeras donde se recolecten grandes cantidades de algas y se destinen para el procesamiento y el consumo humano local.

Finalmente, es imprescindible implementar un enfoque integral y coordinado para mejorar la prevención y respuesta ante derrames de petróleo en el mar peruano, como un comité permanente con miembros del Ministerio del Ambiente, OEFA, capitanías de puerto, Minem, Produce, Imarpe, universidades, compañías petroleras, pesqueras y OSPAS. Además, tener protocolos actualizados y armonizados, simulacros y capacitaciones conjuntas.

Contribución de los autores

MC-F, AM-R: conceptualización, revisión bibliográfica, metodología, redacción del manuscrito; PBG: conceptualización, revisión, validación y edición del documento.

Fuente de financiamiento

Autofinanciado.

Potenciales conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés.



Referencias bibliográficas

- Alemañ, A. E., Robledo, D. y Hayashi, L. (2019).** «Development of seaweed cultivation in Latin America: current trends and future prospects». *Phycologia*, 58(5), pp. 462-471. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/00318884.2019.1640996>
- Arbaiza, S., Gil-Kodaka, P., Arakaki, N. y Alveal, K. (2019).** «Primeros estadios de cultivo a partir de carpósporas de *Chondracanthus chamissoi* de tres localidades de la costa peruana». *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 54(2), pp. 204-213. Disponible en: <https://doi.org/10.22370/rbmo.2019.54.2.1901>
- Ávila-Peltroche, J. y Padilla-Vallejos, J. (2020).** «The seaweed resources of Peru». *Botánica Marina*, 63(4), pp. 381-394. Disponible en: <https://doi.org/10.1515/bot-2020-0026>
- Binark, N., Güven, K., Gezgin, T. y Ünlü S. (2000).** «Oil pollution of marine algae». *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 64, pp. 866-872. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00128000083>
- Burridge, T. R. y Shir, M.-A. (1995).** «The comparative effects of oil dispersants and oil/dispersant conjugates on germination of the marine macroalga *Phyllospora comosa* (Fucales: Phaeophyta)». *Marine Pollution Bulletin*, 31(4-12), pp. 446-452. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(95\)00177-0](https://doi.org/10.1016/0025-326X(95)00177-0)
- Contreras, L., Medina, M., Andrade, S., Oppliger, V. y Correa, J. (2007).** «Effects of copper on early developmental stages of *Lessonia nigrescens* Bory (Phaeophyceae)». *Environmental Pollution*, 145, pp. 75-83. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.03.051>
- Craveiro, N., de Almeida Alves, R. V., da Silva, J. M., Vasconcelos, E., de Almeida Alves-Junior, F. y Rosa Filho, J. S. (2021).** «Immediate effects of the 2019 oil spill on the macrobenthic fauna associated with macroalgae on the tropical coast of Brazil». *Marine Pollution Bulletin*, 165, 112107. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112107>
- Elkady, E. y Younis, A. (2023).** «The potential accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons in macroalgae from the Egyptian coast of the Red Sea». *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 49(4), pp. 452-459. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2023.09.001>
- Flores, D., Zavala, J., Donayre, S., Guardia, A. y Sarmiento, H. (2015).** «Evaluación poblacional de *Chondracanthus chamissoi* (C. Agardh, 1820) en las bahías de Pisco y Paracas, otoño 2010». *Informe del Instituto del Mar del Perú*, 42(4), pp. 504-509. Disponible en: <https://repositorio.imarpe.gob.pe/handle/20.500.12958/2998>
- Garman, G. D., Pillai, M. C. y Cherr, G. N. (1994).** «Inhibition of cellular events during early algal gametophyte development: effects of select metals and an aqueous petroleum waste». *Aquatic Toxicology*, 28(1-2), pp. 127-144. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0166-445X\(94\)90025-6](https://doi.org/10.1016/0166-445X(94)90025-6)
- Instituto del Mar del Perú, Imarpe. (2023).** *Anuario científico tecnológico IMARPE 2022*. Disponible en: <https://repositorio.imarpe.gob.pe/handle/20.500.12958/8357>
- Liu, Q., Cui, R., Du, Y., Shen, J., Jin, C. y Zhou, X. (2024).** «The green tide causative-species *Ulva prolifera* responding to exposure to oil and dispersant». *Heliyon*, 10(9), e29641. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29641>
- Lewis, M. y Pryor, R. (2013).** «Toxicities of oils, dispersants and dispersed oils to algae and aquatic plants: review and database value to resource sustainability». *Environmental Pollution*, 180, pp. 345-367. Disponible en: <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.05.001>
- Meynard, A., Espinoza-Gonzalez, C., Nuñez, A., Castañeda, F. y Contreras-Porcía, L. (2021).** «Synergistic, antagonistic, and additive effects of heavy metals (copper and cadmium) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) under binary and tertiary combinations in key habitat-forming kelp species of Chile». *Environmental Science and Pollution Research*, 28, pp. 18300-18307. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13261-6>
- Ministerio de Energía y Minas, Minem. (2023).** *Anuario estadístico de hidrocarburos*. 2022. Disponible en: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5223379/4702707-anuario-2022-consolidado_version-final-03-10-23_re.pdf?v=1697141858
- Ministerio de la Producción del Perú, Produce. (2023).** *Anuario estadístico pesquero y acuícola*. 2022. Disponible en: <https://ogeie.produce.gob.pe/index.php/en/shortcode/oe-documentos-publicaciones/publicaciones-anuales/item/1116-anuario-estadistico-pesquero-y-acuicola-2022>
- Organismo Evaluación y Fiscalización Ambiental, OEFA. (2023).** «Evaluación ambiental Focal por el derrame de petróleo crudo en el mar frente a la refinería La Pampilla ocurrido el 15 de enero de 2022». Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4077988/Informe%20N.00026-2022-OEFA-DEAM-STEC.pdf?v=1675107669>
- Pavoni, B., Caliceti, M., Sporni, L. y Sfriso, A. (2003).** «Organic micropollutants (PAHs, PCBs, pesticides) in seaweeds of the lagoon of Venice». *Oceanologica Acta*, 26(5-6), pp. 585-596. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0399-1784\(03\)00052-5](https://doi.org/10.1016/S0399-1784(03)00052-5)
- Pulido-Capurro, V., Escobar-Mamani, F., Arana-Bustamante, C. y Olivera Carhuaz, E. (2022a).** «Efectos del derrame de petróleo en la Refinería la Pampilla en las costas del litoral marino, Lima (Perú)». *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(1), pp. 5-8. Disponible en: <https://doi.org/10.18271/ria.2022.411>
- Pulido-Capurro, V., Arana-Bustamante, C., Olivera-Carhuaz, E. y Riveros, J. C. (2022b).** «El derrame de petróleo en el Terminal 2 de la Refinería la Pampilla y sus efectos en la biodiversidad de las costas del litoral marino, Perú». *Arnaldoa*, 29(1), pp. 71-88. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2413-32992022000100071
- Qari, H. A. y Hassan, I. A. (2017).** «Bioaccumulation of PAHs in *Padina boryana* alga collected from a contaminated site on the Red Sea, Saudi Arabia». *Polish Journal of Environmental Studies*, 26(1), pp. 435-439. Disponible en: <https://doi.org/10.15244/pjoes/63937>
- Quispe-Ubilla, A. S., Vasquez-Rosas, S. B., Baltazar-Guerrero, P., Castañeda-Franco, M. y Meza-Balvin, S. A. (2022).** «Análisis económico del cultivo comercial de *Chondracanthus chamissoi* en San Andrés, Pisco, Perú». *Revista Lasallista de Investigación*, 19(2), pp. 131-148. Disponible en: <https://doi.org/10.22507/rli.v19n2a9>
- Ralph, P. y Burchett, M. (1998).** «Impact of petrochemicals on the photo-synthesis of *Halophila ovalis* using chlorophyll fluorescence». *Marine Pollution Bulletin*, 36, pp. 429-436. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(97\)00207-5](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(97)00207-5)
- Ribeiro-Soares, A., Simas, D., Gestinari, L., Kaiser, C. y Duarte, H. (2017).** «Influence of the water-soluble fraction of petroleum on photosynthesis and chemical defenses in two sympatric seaweeds». *Journal of Applied Phycology*, 29, pp. 799-810. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10811-016-1035-9>
- Saldarriaga-Hernández, S., Hernández-Vargas, G., Iqbal, H., Barceló, D. y Parra, R. (2020).** «Bioremediation potential of *Sargassum* sp. biomass to tackle pollution in coastal ecosystems: Circular economy approach». *Science of The Total Environment*, 715, pp. 136978. Disponible en: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136978>

- Stekoll, M. S., Deysher, L. y Dean, T. A. (1993).** «Seaweeds and the Exxon Valdez oil spill». *International Oil Spill Conference*, 1993(1), pp. 135-140. Disponible en: <https://doi.org/10.7901/2169-3358-1993-1-135>
- Stepaniyan, O. (2008).** «Effects of crude oil on major functional characteristics of macroalgae of the Barents Sea». *Russian Journal of Marine Biology*, 34, pp. 131-134. Disponible en: <http://doi.org/10.1134/S1063074008020077>
- Tegner, M. J., Dayton, P. K., Edwards, P. B., Riser, K. L., Chadwick, D. B., Dean, T. A. y Deysher, L. (1995).** «Effects of a large sewage spill on a kelp forest community: Catastrophe or disturbance?». *Marine Environmental Research*, 40(2), pp. 181-224. Disponible en: [http://doi.org/10.1016/0141-1136\(94\)00008-d](http://doi.org/10.1016/0141-1136(94)00008-d)
- Uribe, R., Atoche-Suclupe, D., Paredes-Paredes, J. y Seclén, J. (2020).** «Características bioecológicas de la macroalga roja *Chondracanthus chamissoi* (C. Agardh) Kützing (Rhodophyta, Gigartinales) en la zona intermareal del norte del Perú». *Boletín del Instituto del Mar del Perú*, 35(2), pp. 271-293. Disponible en: <https://repositorio.imarpe.gob.pe/handle/20.500.12958/3495>
- Voskoboinikov, G. M., Matishov, G. G., Bykov, O. D., Maslova, T. G., Sherstneva, O. A. y Usov, A. I. (2004).** «Resistance of marine macrophytes to oil pollution». *Doklady Biological Sciences*, 397, pp. 340-341. Disponible en: <https://doi.org/10.1023/B:DOBS.0000039711.48557.16>
- Zokm, G., Ismail, M. y Okbah, M. (2022).** «Seaweed as bioindicators of organic micropollutants polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and organochlorine pesticides (OCPs)». *Environmental Science Pollution*, 29, pp. 34738-34748. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18634-z>

