

Cuantificación de metales pesados e hidrocarburos totales en sedimento marino de la zona costera de Ecuador

Quantification of heavy metals and total hydrocarbons in marine sediment from the coastal zone of Ecuador

Jaime Sanchez-Moreira¹; Jesus Briones-Mendoza¹; Luis Zambrano-Santana¹; Kléver Mendoza-Nieto¹; Javier Cañarte-Pin¹; Arturo Zavala-Murillo¹; Fabricio Zavala-Giler¹

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

* Autor correspondencia: klever.mendoza@uleam.edu.ec (K. Mendoza-Nieto).

ORCID de los autores:

J. Sánchez-Moreira: <https://orcid.org/0000-0001-6977-8361>

J. Briones-Mendoza: <https://orcid.org/0000-0001-6805-7706>

J. Zambrano-Santana: <https://orcid.org/0009-0002-7720-8101>

K. Mendoza Nieto: <https://orcid.org/0000-0002-9724-1139>

J. Cañarte-Pin: <https://orcid.org/0000-0003-3926-0320>

A. Zavala-Murillo: <https://orcid.org/0000-0001-7198-4500>

RESUMEN

La actividad portuaria en Ecuador genera contaminación ambiental, tema poco estudiado en el país. Se determinó la concentración de hidrocarburos totales (TPH), metales traza (antimonio, arsénico, cadmio, manganeso, mercurio, plomo y molibdeno) y pH en sedimentos de cuatro puertos pesqueros de Manabí con diferentes actividades de cabotaje. Se realizaron cuatro muestreos (A1-B1 en época lluviosa y A2-B2 en época seca) en los puertos de Jaramijó, Manta, San Mateo y Ligüique. Las muestras de sedimento se extrajeron a una profundidad de 10 a 15 m y se analizaron mediante espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados mostraron niveles similares de plomo, TPH, cadmio y molibdeno (<10 mg/kg, <40 mg/kg, <0,50 mg/kg y <25 mg/kg, respectivamente) en todos los puertos en ambos periodos. Manta presentó las mayores concentraciones de antimonio (0,34 mg/kg), manganeso (142,27 mg/kg) y mercurio (4,53 mg/kg), mientras que San Mateo tuvo la mayor concentración de arsénico (6,53 mg/kg). Ligüique mostró las menores concentraciones de antimonio, arsénico, manganeso y mercurio. El pH varió entre 8,95 y 9,48. El mercurio superó el valor de referencia (0,17 mg/kg) en el período 1, según las pautas canadienses para la calidad de sedimentos. Esto indica que los sedimentos presentan un riesgo potencial para la biota marina, al superar los umbrales de seguridad establecidos internacionalmente, y sugiere la necesidad de implementar medidas de monitoreo y control ambiental en la zona costera de Manabí.

Palabras clave: Sedimentos marinos; metales pesados; absorción atómica; Ecuador.

ABSTRACT

Port activity in Ecuador generates environmental pollution, a topic that is poorly studied in the country. The concentration of total hydrocarbons (TPH), trace metals (antimony, arsenic, cadmium, manganese, mercury, lead and molybdenum), and pH were determined in sediments from four fishing ports in Manabí with different coastal activities. Four sampling events were carried out (A1-B1 during the rainy season and A2-B2 during the dry season) at the ports of Jaramijó, Manta, San Mateo, and Ligüique. Sediment samples were collected from a depth of 10-15 cm and analyzed using atomic absorption spectrophotometry. Results showed similar levels of lead, TPH, cadmium, and molybdenum (<10 mg/kg, <40 mg/kg, <0.50 mg/kg, and <25 mg/kg, respectively) across all ports in both periods. Manta had the highest concentrations of antimony (0.34 mg/kg), manganese (142.27 mg/kg), and mercury (4.53 mg/kg), while San Mateo showed the highest concentration of arsenic (6.53 mg/kg). Ligüique had the lowest concentrations of antimony, arsenic, manganese, and mercury. pH values ranged from 8.95 to 9.48. Mercury exceeded the reference value (0.17 mg/kg) in period 1, according to the Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. This indicates that the sediments pose a potential risk to marine biota, as they exceed internationally established safety thresholds, and suggests the need to implement monitoring and environmental control measures along the coastal zone of Manabí.

Keywords: Marine sediments; heavy metals; atomic absorption; Ecuador.

Recibido: 02-06-2025.

Aceptado: 12-10-2025.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

INTRODUCCIÓN

Los océanos son el resumidero natural de las sales provenientes de los procesos erosivos de la lixiviación de la corteza terrestre, de allí que su contenido de sales es constante en todos los océanos y mayor que las otras matrices acuosas (Loya-Fernández 2018; Rosas Rodríguez 2001). La concentración de los elementos traza en el agua de mar está regulada por el balance geoquímico y la entrada de elementos producto de actividades antropogénicas y no antropogénicas (Gledhill and Gerringa 2017). La dinámica local de las aguas recibe los aportes directos de la actividad humana desarrollada en el entorno y los metales de advección que pueden reaccionar en matrices estables, ejemplo sedimentos (Chubarenko et al., 2018; Malea et al., 2019). Los cambios de concentración de los metales en el agua están sujetos a escalas de tiempos cortos y su límite está en el tiempo de residencia en estas (Lao et al., 2019; Mantiri et al., 2019). La concentración de metales en los sedimentos representa períodos de tiempo de escalas más amplias y se convierten en una matriz integradora de los cambios de la columna de agua (Gledhill and Gerringa 2017; Yin et al., 2019). Los principales procesos naturales que movilizan metales traza son: intemperismo de las rocas, desgasificación, vulcanismo terrestre y submarino y procesos relacionados con los sedimentos marinos (Shao et al., 2020; Wigley et al., 2012). Entre las principales causas de movilización antropogénica están los procesos industriales y minero-metalúrgicos, producción de cemento, consumo de combustibles fósiles, fertilización de suelos, extracción de petróleo (Heimbürger et al., 2012; Sapsford et al., 2017). Las contribuciones antropogénicas de metales trazan a los estuarios y sedimentos costeros y marinos son introducidas a través de las aguas de escurrimiento, incluyendo los ríos; razón por la cual, los metales pesados se presentan en diferentes formas en el ambiente acuático (Huq et al., 2019; Zhou et al., 2020; Mumtaz et al., 2020; Wang et al., 2021; Crecchio et al., 2020; Armiento et al., 2022). Los principales reservorios abióticos de metales son: la columna de agua, los sedimentos suspendidos y depositados y el agua intersticial (Nguyen et al., 2019). Cuando se alteran las condiciones redox se puede provocar un incremento en las concentraciones de metales y así, por procesos de difusión, compactación y bioturbación, afectar la concentración de los mismos en aguas adyacentes (Yang et al., 2018). En el ambiente marino ya sea en el agua o en el sedimento, los metales traza son introducidos a las tramas tróficas ocasionando diversos daños en los diferentes niveles de organización biológica e incluso a través de la cadena trófica pudiesen llegar al hombre (Kondo et al., 2016; Sujitha et al., 2020). La Provincia de Manabí es una de las 24 provincias que conforman la República del Ecuador con 320 kilómetros de playa, cuyo número de habitantes es de 1'562.079 según la proyección demográfica del INEC para 2020 (de Oro 2010). La región se encuentra en pleno desarrollo y presenta una alta diversidad biológica que sustenta la mayor parte del turismo (Cobeña 2018; Ponce and Pérez 2017).

Desde hace varias décadas, en la provincia de Manabí, se viene desarrollando un sin número de actividades antropogénicas en la costa, tales como la pesca, tráfico de embarcaciones que utilizan hidrocarburos para su propulsión, sistemas de refrigeración y congelación para la conservación de recursos marinos extraídos, procesamiento de recursos marinos, y estas actividades, sumadas al crecimiento de los centros urbanos, podrían estar implicando una contaminación al medio marino (Merino et al., 2017; Moreira-Cevallos 2020; Orellana Izquierdo 2008; Mumtaz et al., 2020; Wang et al., 2021; Crecchio et al., 2020).

En la provincia de Manabí, se han instalado puertos de cabotaje para embarcaciones artesanales e industriales, tales como en los sitios de San Mateo, Manta, y Jaramijó, en donde Manta es considerado uno de los puertos pesqueros más importante de Ecuador (Párraga et al., 2016; Solys 2017). En la actualidad en el puerto de Manta existen más de 300 barcos industriales con capacidad para más de 2.000 toneladas métricas, así como un promedio de 3.000 fibras artesanales, que unidas a las decenas de barcos camaroneros constituyen la mayor flota pesquera del Ecuador (Párraga et al., 2016; Toala Reyes 2018). Por su industria y su flota, Manta no solo es el puerto pesquero más importante del Pacífico Oriental, sino que tiene otras características geográficas que convierten a la ciudad en estratégica para los negocios portuarios, el comercio exterior por vía marítima y aérea y el turismo de trasatlánticos, en una ruta que la mantiene enlazada con puertos de Estados Unidos, Panamá, Perú, Chile y Argentina (Dávalos Quiroz 2017; González Bravo 2018). Estas actividades, podrían estar descargando metales pesados e hidrocarburos totales al océano frente a la costa de San Mateo, Manta, y Jaramijó, precipitándose en el sedimento, pudiendo causar efectos negativos en este ecosistema.

La evaluación de la diversidad, abundancia y distribución espacial de las poblaciones naturales, y el estudio de las condiciones fisicoquímicas del ambiente constituyen una etapa fundamental en el diagnóstico de las perturbaciones antrópicas (Mummullage et al., 2016; Oyibo et al., 2018). En este contexto, muestreos cualitativos y/o cuantitativos previos y posteriores a una perturbación, son sin duda una de las herramientas de mayor utilidad que permiten determinar el impacto de las perturbaciones inducidas, estas evaluaciones son fundamentales al momento de generar medidas de remediación o mitigación, permitiendo que la actividad antrópica productiva no modifique significativamente la sustentabilidad biológica y ecológica del ambiente (Ekere et al., 2017; Yang et al., 2019).

Por tal motivo, el conocimiento de las propiedades y composición de los sedimentos de fondo permite evaluar la condición de los ambientes marinos y reconocer eventuales perturbaciones derivadas de la acumulación de sustancias antrópicas y naturales que puedan constituir riesgos para la salud del ecosistema.

METODOLOGÍA

El presente estudio fue de tipo investigativo - inferencial, desde enero de 2019 hasta mayo de 2019 se extrajeron muestras de sedimento marino de cuatro zonas de las costas en San Mateo (0°57'32.28"S y 80°48'30.40"O), Manta (0°56'25.93"S y 80°44'5.92"O), Jaramijó (0°56'44.47"S y 80°38'16.69"O) y Ligüiqui (1°1'45.44"S y 80°52'57.88"O).

Se realizaron muestreos en dos periodos (lluvioso y seco), recolectando un total de 144 muestras para 9 parámetros analizados. El tamaño de la muestra fue de 1 kg por estación en cada periodo (Tabla 1). Las muestras se obtuvieron con una draga tipo Van Veen (capacidad 5 kg, modelo SG-1000), a profundidades de 10 a 15 m. Los sedimentos fueron colocados en fundas de polietileno y preservados a 4 °C hasta su procesamiento en laboratorio.

Posteriormente, las muestras se secaron a temperatura ambiente sobre una superficie plástica durante 48 horas. Una vez secas, se disgregaron con mortero y se tamizaron utilizando un tamiz de 125 µm de luz de malla (marca Endecotts, modelo Octagon 200, Reino Unido). Entre muestra y muestra el tamiz fue limpiado con alcohol para evitar contaminación cruzada.

Las fracciones obtenidas se colocaron en cápsulas de porcelana y se secaron en una estufa de aire forzado (Mettler, modelo SNB-200, Alemania) a 80 °C durante 1 h. Luego se pesaron aproximadamente 0,5 g en una balanza analítica de alta precisión (Sartorius, modelo CP2245, Alemania), incluyendo réplicas de control para cada muestra. El análisis de metales pesados (Sb, As, Cd, Hg, Mo, Pb, Mn) se realizó mediante espectrofotometría de absorción atómica con llama (Shimadzu, modelo AA-6800, Japón). Para la determinación de hidrocarburos totales de petróleo (TPH), las muestras fueron previamente sometidas a extracción con solventes orgánicos y cuantificadas mediante el mismo espectrofotómetro, siguiendo protocolos de referencia internacionales. Se emplearon los criterios de calidad ambiental de la Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life (Cly, 2001), debido a que la normativa ecuatoriana no contempla parámetros específicos para sedimentos marinos.

Los análisis estadísticos se realizaron en IBM SPSS Statistics 25, con pruebas de comparación de medias y evaluación de diferencias significativas entre estaciones y periodos de muestreo.

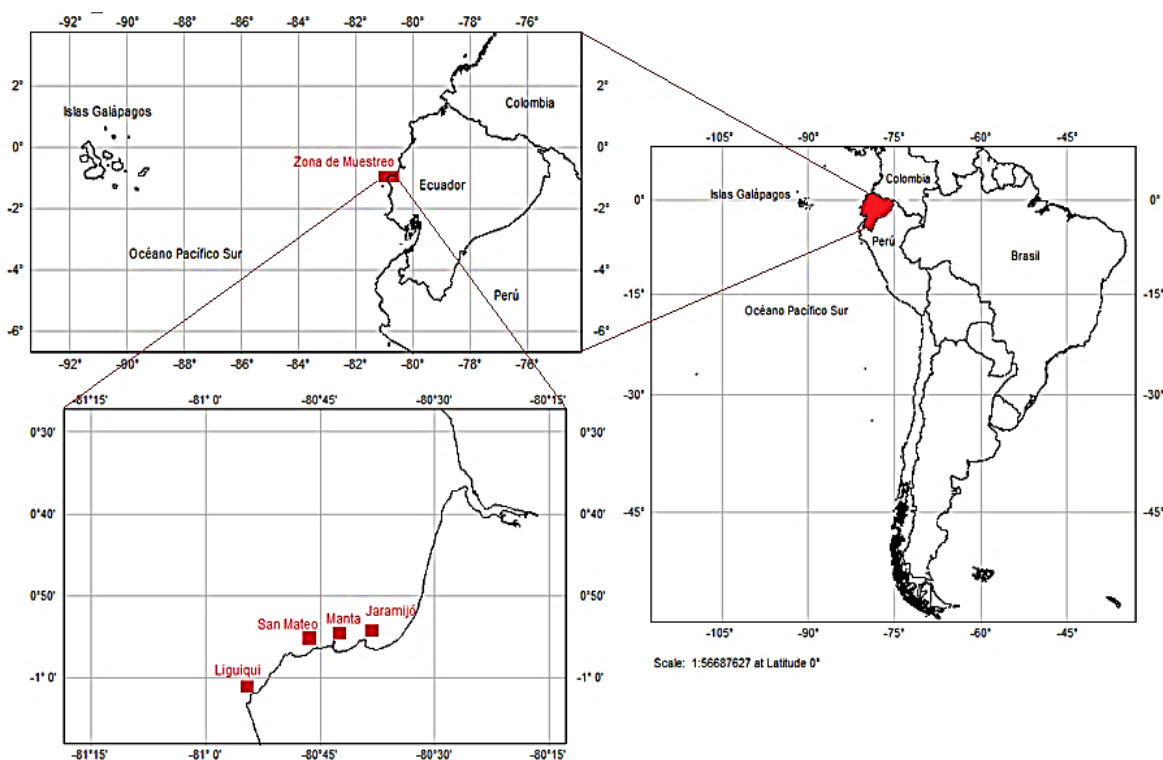


Figura 1. Mapa de las costas de Jaramijó, Manta, San Mateo, Ligüiqui, Manabí, Ecuador, donde se presenta la ubicación de las diferentes estaciones establecidas para la presente investigación.

Tabla 1

Periodos de muestreo 1A, 1B, 2A, 2B con sus respectivas zonas y peso de sedimento colectando

Periodos de muestreo			Ligüiqui	San Mateo	Manta	Jaramijó
	1	Puntos de muestreos	A (1 kg) B (1 kg)	A (1 kg) B (1 kg)	A (1 kg) B (1 kg)	A (1 kg) B (1 kg)
	2	Puntos de muestreos	A (1 kg) B (1 kg)	A (1 kg) B (1 kg)	A (1 kg) B (1 kg)	A (1 kg) B (1 kg)
TOTAL			4 kg	4 kg	4 kg	4 kg

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se analizaron las concentraciones de los metaloides o Metales pesados no esenciales Antimonio (Sb), Arsénico (As), a su vez los metales pesados Cadmio (Cd), Mercurio (Hg), Molibdeno (Mo), Plomo (Pb), las concentraciones del mineral Manganeseo (Mn) e Hidrocarburos totales de petróleo (TPH) y los niveles de pH. Los sedimentos superficiales presentaron concentraciones que oscilan entre 0,03 - 0,34 mg/kg y un valor promedio de $0,12 \pm 0,019$ mg/kg. Se evidenció que en el periodo 1A las concentraciones fueron similares entre las zonas costeras muestreadas (0,13 mg/kg), el porcentaje más bajo se detectó en el periodo 2B presente en San Mateo (0,03 mg/kg) y el más alto en Manta (0,34 mg/kg) presente en el periodo 2A (Figura 2, A).

El análisis de Kruskal-Wallis no reveló diferencias significativas ($p > 0,05$). En la zona costera de San Mateo se registró el nivel más bajo de Arsénico (As) 3,79 mg/kg y más alto 6,53 mg/kg de todas las zonas muestreadas, presentó un promedio de $5,39 \pm 0,18$ mg/kg, no existe diferencia estadísticamente significativa entre los valores (Kruskal-Wallis, $p > 0,05$). Se identificó una relación entre los puertos de Manta y Jaramijó con valores muy similares con respecto a los cuatro periodos muestreados, los valores se mantuvieron constantes en la zona costera de Ligüiqui con un promedio de $4,3 \pm 0,2$ mg/kg (Figura 2, B).

El arsénico se encuentra dentro del límite permisible, resultados que se asemejan a los reportados por Chalen-Medina et al. (2017) y Cabrera Idrovo (2017), así como a los descritos en estudios recientes, como el meta-análisis global de cuerpos de agua superficiales realizado por Kumar et al. (2020) y la evaluación de sedimentos marinos en áreas protegidas del Golfo Pérsico reportada por Ghaemi et al. (2023).

La concentración Cadmio en todos los periodos de muestreo fue inferior a $< 0,50$ mg/kg en las zonas costeras, concentraciones dentro del límite máximo permisible (Figura 2, C), por otra parte, Chalen-Medina et al. (2017), reporta límites superiores de Cadmio en el Ramal B del Estero Salado con una media de 3,01 mg/kg, Guarco (2015), se analizó la presencia de este metal en muestras sólidas correspondiente al ramal B, cuyos contenidos en promedio se ubicaron en 4,05 mg/kg, donde nos da a entender que los niveles de este metal siguen superando el límite establecido por la norma ambiental vigente, Alcivar Tenorio & Mosquera Armijo (2011) reportan la presencia de Cadmio en el sedimento durante la época de muestreo que tuvo su mayor concentración en septiembre con un valor de 9,5 ppm (mg/kg) en el Puente Ecológico y la menor concentración fue 1,49 ppm en agosto en la estación 2° Puente Perimetral del estero Salado, (Cabrera Idrovo (2017) el parámetro Cadmio se evidenció que los valores más altos en Santa Elena y Manabí fueron en noviembre del 2015 y Lobería 0,5 mg/kg, en Playa Prieta con 0,34 mg/kg, ambas estaciones presentan una tendencia lineal decreciente entre los periodos del muestreo y estuvieron dentro de los límites permisibles coincidiendo con la presente investigación.

El mercurio presentó un valor mínimo de 0,008 mg/kg y un máximo de 4,53 mg/kg un promedio de $0,37 \pm 0,28$ mg/kg, en promedio superando su límite máximo permitido, en la presente investigación se registró un valor extremo en el periodo 1B para la zona costera de Manta de 4,53 mg/kg, un valor mínimo de 0,03 mg/kg en los periodos 1A y 2A con un promedio de $1,16 \pm 1,12$ mg/kg, en la zona costera de Jaramijó se registró un valor mínimo de 0,02 mg/kg en el periodo 1A, y un valor máximo en el periodo 2B de 0,38 mg/kg, un promedio de $0,13 \pm 0,08$ mg/kg, la zona costera de San Mateo presentó un valor mínimo de 0,05 mg/kg en el periodo 1A, y un máximo de 0,24 mg/kg en los periodos 2A y 2B, un promedio de $0,16 \pm 0,05$ mg/kg, por otra parte Ligüiqui presentó los valores mínimos de mercurio en todos los periodos con un promedio de $0,01 \pm 0,005$ mg/kg, existe diferencia estadísticamente significativa entre los valores (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) (Figura 2, D).

En el estudio realizado por Chalen-Medina et al. (2017) reporta que el mercurio sobrepasa su límite máximo permitido tanto en muestras sólidas como líquidas ya que sus promedios son más del doble en ambos estados en el Ramal B del Estero Salado, Cárdenas & Mair (2014) muestran que el contenido de este metal en sedimento marino en sectores como: Puerto Hondo, Terminal tres bocas y Puerto Marítimo correspondientes a los tramos G, H, I del Estero Salado sus promedios estuvieron en un intervalo de 0,4 a 0,89 mg/kg, lo que nos da a entender que este metal a medida que nos acercamos al Golfo de Guayaquil va incrementando su concentración, por otra parte, Cabrera Idrovo (2017) registra para Manabí la existencia de fluctuaciones en las concentraciones de mercurio, en el tiempo se distribuyen con una tendencia de crecimiento a través del periodo muestreado siendo el punto más alto 0,1 mg/kg en Frailes en noviembre del 2016 (FRA1116), mientras que en Santa Elena observó el aumento en los últimos meses del 2015, pero sus concentraciones más elevadas las encontró en Chocolatera junio del 2016 (CHO 0616) con un valor de 0,12 mg/kg; seguido por Lobería (LOB1116) y Chocolatera (CHO1116) ambos de noviembre del 2016 con un valor igual a 0,11 mg/kg. González et al. (2018) reportan que los valores de concentración de mercurio en todas las muestras de sedimentos del estero Huaylá (Entre 0,89 y 5,79 $\mu\text{g/g}$), estuvieron por encima de la concentración de efecto probable (PEL) (1,06 $\mu\text{g/g}$), con excepción de la muestra A, situada cerca del asentamiento urbano, algunas muestras como la D, superó el valor límite hasta por cuatro veces, así mismo sugiere un notable efecto de contaminación antrópica en los ecosistemas del estero posiblemente proveniente de las zonas de minería de oro.

El mercurio es uno de los metales pesados más peligrosos para la salud de los seres vivos ya que, incluso en bajas concentraciones, es extremadamente tóxico y se acumula en la biota (Bolognesi & Hayashi 2011; Mitchelmore & Chipman 1998;

Kumar et al., 2020; Ghaemi et al., 2023). Además, ejerce efectos neurotóxicos, como déficit en el desarrollo neurológico y neuroconductual (García et al., 2005; Ozuah, 2001; Wastensson et al., 2008), disminución de la memoria visual, atención y velocidad en las respuestas visual, auditiva y psicomotora (Counter et al., 2002; Ellingsen et al., 2001; Wastensson et al., 2008), pérdida de la capacidad para distinguir colores (Cavalleri & Gobba 1998), y otros efectos como inflamaciones severas de la piel (Boyd et al., 2000; Zimmer et al., 1997), entre otros.

El manganeso mantuvo valores similares entre las zonas costeras muestreadas, siendo el valor mínimo de 104,47 mg/kg en Ligüiqui y un valor máximo de 142,27 mg/kg en la zona costera de Manta, con un promedio de $127,26 \pm 2,7$ mg/kg, no se encontraron diferencias significativas (K-W, $p > 0,05$) (Figura 2, E).

El molibdeno se mantuvieron valores por debajo de <25 mg/kg, al igual que el plomo valores por debajo de los <10 mg/kg y el TPH con valores por debajo de <40 mg/kg en todas las zonas costeras muestreadas (Figura 2, C). El pH no varió considerablemente en ningún periodo o zona de

muestreo, el valor mínimo fue de 8,95 UpH un máximo de 9,48 UpH todos los valores con una incertidumbre del 0,08, y un promedio de $9,26 \pm 0,03$ UpH, no se encontraron diferencias significativas (K-W, $p > 0,05$) (Figura 2, F).

La Tabla 2 muestra el análisis comparativo de metales en sedimentos marinos con una marcada heterogeneidad geográfica en los perfiles de contaminación. Mientras el arsénico (As) presenta su concentración más elevada en el Caribe Colombiano ($13,97 \pm 20,95$ µg/g), el plomo (Pb) muestra los valores más altos en Puerto El Morro, Ecuador ($38,10$ µg/g) y Puerto Ilo, Perú ($31,8 \pm 24,6$ µg/g). El cadmio (Cd) presenta la mayor contaminación en Estero Salado, Ecuador ($3,01$ µg/g), contrastando con los niveles no detectables (<0,50 µg/g) reportados en Puerto Ilo. Destaca especialmente el manganeso (Mn), que exhibe una concentración excepcionalmente alta en Puerto Ilo ($759,3 \pm 257,6$ µg/g), superando en órdenes de magnitud a los otros estudios. Esta variabilidad refleja la influencia de fuentes de contaminación antropogénica específicas de cada localidad, como actividades industriales, mineras y portuarias.

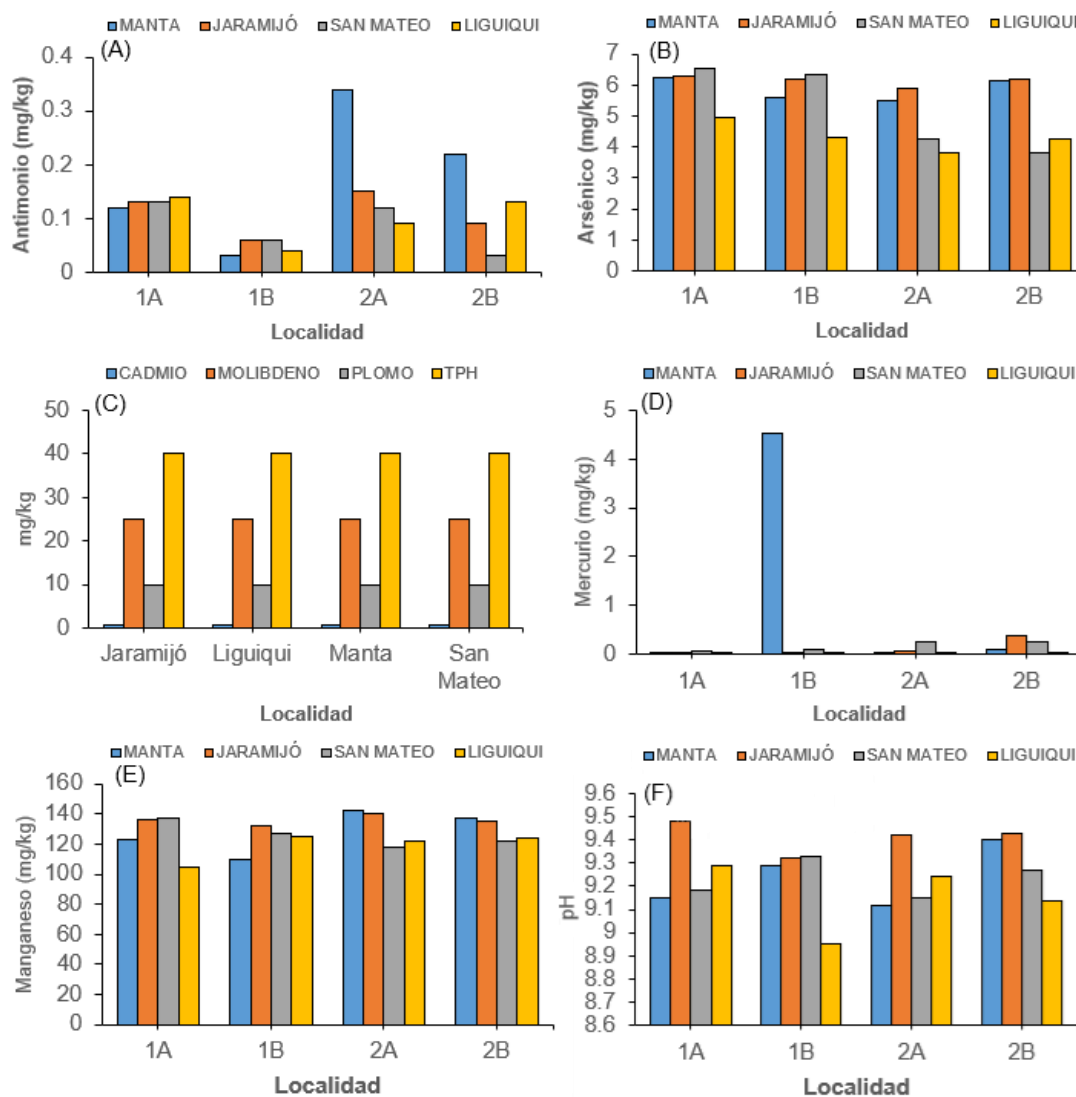


Figura 2. Concentración de Sb (A), As (B), Cd (C), Pb (C), Mo (C), TPH (C), Hg (D), Mn (E), pH (F) en los sedimentos recolectados de las zonas costeras de Jaramijó, Manta, San Mateo, Ligüiqui.

Tabla 2

Concentraciones de metales e hidrocarburos en sedimentos marinos: comparativa de estudios en América del Sur

Parámetro	Este estudio (Promedio ± DE)	Estero Salado, Ecuador (Chalen-Medina et al., 2017)	Santa Elena & Manabí, Ecuador (Cabrera Idrovo, 2017)	Puerto El Morro, Ecuador (Arcos & Kuontay, 2024)	Bahía de Huarmey, Perú (Gaspar Salazar et al., 2024)	Puerto Ilo, Perú (Condori Apaza 2023)	Caribe Colombiano (Navarro-Martínez et al., 2025)
Sb	0,12 ± 0,02	-	-	-	-	-	-
As	5,39 ± 0,18	-	-	5,6	-	-	13,97 ± 20,95 (SC-TIN)
Cd	<0,50	3,01	0,1 – 0,5	0,1	1,09	<0,50	0,78 ± 0,26 (SC-TIN)
Hg	0,37 ± 0,28	>0,17	0,1 – 0,12	-	-	-	0,11 ± 0,05 (LI-TIN)
Mo	<25	-	-	-	-	-	-
Pb	<10	>10	-	38,10	~40	31,8 ± 24,6	7,58 ± 0,95 (SC-ZEN)
Mn	127,26 ± 2,7	-	-	-	-	759,3 ± 257,6	-
TPH	<40	>40	-	-	-	-	-

- = no reportado. SC: Época Seca; LI: Época Lluviosa; TIN: Localidad Tinajones; ZEN: Localidad Sinú.

CONCLUSIONES

Este estudio permitió demostrar la existencia de contaminantes persistentes como hidrocarburos totales y metales pesados en sedimentos de las zonas costeras de Jaramijó, Manta, San Mateo y Ligüiqui. Se determinó, que si existen fluctuaciones temporales, pero se observó tendencias distintas a nivel de los diferentes contaminantes, y localidades, así las concentraciones de mercurio en la zona costera de Manta son preocupantes, el mercurio llega al océano procedente de la atmósfera (arrastrado por la lluvia), o a través de los ríos donde los procesos antropogénicos como la combustión de carbón, de residuos, fundición y residuos industriales donde se demuestra un legado de mercurio en la zona costera de la ciudad de Manta, una vez depositado en el agua, algunos microorganismos pueden convertirlo en metilmercurio, una forma altamente tóxica que se acumula en peces y mariscos. El plomo, Cadmio, Molibdeno, TPH se mantienen constantes en todas

las zonas costeras muestreadas, más sin embargo en la zona costera de Manta y San Mateo los valores están cercanos al límite permisible. Los niveles de metales encontrados en este estudio pueden afectar el ecosistema a largo plazo si no se mantiene o se establece un control permanente al cumplimiento de una normativa ambiental establecida vigente.

Se recomienda realizar estudios futuros que profundicen en la bioacumulación de estos contaminantes en organismos marinos comerciales, así como su transferencia a lo largo de la cadena alimentaria. Los resultados de dichos estudios podrían ser utilizados para establecer planes de manejo ambiental más efectivos, fortalecer la normativa vigente y diseñar estrategias de monitoreo continuo que protejan la salud de los ecosistemas costeros y de las comunidades que dependen de ellos para su alimentación y economía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcivar Tenorio, M., & Mosquera Armijo, J. (2011). Concentración de metales pesados (Cr total, Pb, Cd) en agua superficial y sedimentos en el Estero Salado (Guayaquil) Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Naturales. Escuela de Biología].
- Arcos Aldaz, F. D., & Kuontay Jaime, P. S. (2024). Evaluación integral de la calidad ambiental y tolerancias fúngicas a diferentes concentraciones de metales pesados (Cd, Pb y Cr) en el sedimento marino del Puerto El Morro [Trabajo de titulación, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional UPS.
- Armiento, G., Carafa, R., D'Alessandro, F., & De Vivo, B. (2022). Natural background levels and anthropogenic contamination in marine sediments of the Gulf of Pozzuoli (Southern Italy). *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(11), 746. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10480-3>
- Bolognesi, C., & Hayashi, M. (2011). Micronucleus assay in aquatic animals. *Mutagenesis*, 26(1), 205-213.
- Boyd, A. S., Seger, D., Vannucci, S., Langley, M., Abraham, J. L., & King Jr, L. E. (2000). Mercury exposure and cutaneous disease. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 43(1), 81-90.
- Cabrera Idrovo, R. (2017). Análisis de las concentraciones de metales pesados e hidrocarburos en el período 2015-2016 en sedimento de la zona intermareal de Santa Elena y Manabí, Ecuador. Tesis de grado. Ingeniería Ambiental. Universidad Espíritu Santo.
- Cárdenas, M., & Mair, J. (2014). Caracterización de macroinvertebrados bentónicos de dos ramales estuarinos afectados por la actividad industrial, Estero Salado-Ecuador. *Intropica*, 9, 118-128.
- Cavalleri, A., & Gobba, F. (1998). Reversible color vision loss in occupational exposure to metallic mercury. *Environmental Research*, 77(2), 173-177.
- CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). (2001). Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: Introduction. In: Canadian environmental quality guidelines, 1999. Canadian Council of Ministers of the Environment.
- Cly, C. (2001). Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life. <https://ccme.ca/en/res/protocol-for-the-derivation-of-canadian-sediment-quality-guidelines-for-the-protection-of-aquatic-life-en.pdf>
- Cobeña, M. V. A. (2018). Importancia del turismo para el desarrollo local de la provincia Manabí. *RECUS - Revista Electrónica Cooperación Universidad Sociedad*, 3(1), 44-49.
- Counter, S. A., Buchanan, L. H., Ortega, F., & Laurell, G. (2002). Elevated blood mercury and neuro-otological observations in children of the Ecuadorian gold mines. *Journal of Toxicology and Environmental Health Part A*, 65(2), 149-163.
- Chalen-Medina, J. A., Flor-Chávez, G. F., & Fun-Sang, K. C. (2017). Estudio de las concentraciones por metales pesados e hidrocarburos en el ramal B del Estero Salado. *Pol. Con.*, 2(6), 711-730. <https://doi.org/10.23857/pc.v2i6.153>
- Chubarenko, I., Esiukova, E., Bagaev, A., Bagaeva, M., & Grave, A. (2018). Three-dimensional distribution of anthropogenic microparticles in the body of sandy beaches. *Science of the Total Environment*, 628, 1340-1351.

- Condori Apaza, R. M. (2023). Evaluación de la calidad de sedimento marino por metales pesados en el puerto de Ilo, Perú. Tesis de Maestría en Gestión Minera y Ambiental, Escuela de Posgrado Newman.
- Crecchio, C., Ventorino, V., Mininni, A. N., & Ricciuti, P. (2020). Heavy metals and their impact on microbial communities in aquatic environments. *Microorganisms*, 8(9), 1402. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8091402>
- Dávalos Quiroz, M. S. (2017). Análisis correlacional del sector financiero dirigido a la pesca artesanal e industrial del Puerto de Manta en el periodo 2016. Maestría en Finanzas y Economía Empresarial. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- de Oro, M. (2010). Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- Ekere, N., Yakubu, N., & Ihedioha, J. (2017). Ecological risk assessment of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments of rivers Niger and Benue confluence, Lokoja, Central Nigeria. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(23), 18966-18978.
- Elobaid, E., Madani, N., & Al-Taani, A. A. (2025). Ecological risk assessment of heavy metals in the marine sediments associated with the petroleum hydrocarbon industry in the central Arabian Gulf. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 19, 100749. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2025.100749>
- Ellingsen, D. G., Bast-Pettersen, R., Efskind, J., & Thomassen, Y. (2001). Neuropsychological effects of low mercury vapor exposure in chloralkali workers. *Neurotoxicology*, 22(2), 249-258.
- Gaspar Salazar, L. S., Gutierrez Malca, M., & Licapa-Redolfo, G. S. (2024). Evaluación De La Contaminación Por Metales Pesados En Sedimentos Marinos De La Bahía De Huarney (Perú). <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4795795>
- Ghaemi, M., Soleimani, F., & Gholamipour, S. (2023). Heavy metal and persistent organic pollutant profile of sediments from marine protected areas: The northern Persian Gulf. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(44), 120877-120891. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-29232-9>
- García, J. O., Tortajada, J. F., Conesa, A. C., & Castell, J. G. (2005). Neurotóxicos medioambientales (y II). Metales: efectos adversos en el sistema nervioso fetal y posnatal. *Acta Pediatr Esp*, 63, 182-192.
- Gledhill, M., & Gerringa, L. J. (2017). The effect of metal concentration on the parameters derived from complexometric titrations of trace elements in seawater - A model study. *Frontiers in Marine Science*, 4, 254. <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00254>
- González Bravo, E. S. (2018). Estudio del sistema portuario y del sector pesquero en Ecuador. Propuesta de ordenamiento del Puerto de Manta (Provincia de Manabí). Tesis de Máster en Transporte, Territorio Y Urbanismo E. T. S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universitat Politècnica de València.
- González, V., Valle, S., Nírchio, M., Olivero, J., Tejeda, L., Valdelamar, J., . . . González, K. (2018). Evaluación del riesgo de contaminación por metales pesados (Hg y Pb) en sedimentos marinos del Estero Huaylá, Puerto Bolívar, Ecuador. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 21(41), 75-82.
- Guarco, K. (2015). Tratamiento del sedimento marino del ramal B del Estero Salado para la Remoción de metales pesados. Tesis de Ingeniería Química. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Heimbürger, L.-E., Cossa, D., Thibodeau, B., Khripounoff, A., Mas, V., . . . Migon, C. (2012). Natural and anthropogenic trace metals in sediments of the Ligurian Sea (Northwestern Mediterranean). *Chemical Geology*, 291, 141-151.
- Huq, M. E., Fahad, S., Shao, Z., Sarven, M. S., Al-Huqail, A. A., Siddiqui, M. H., . . . Saeed, M. (2019). High arsenic contamination and presence of other trace metals in drinking water of Kushtia district, Bangladesh. *Journal of environmental management*, 242, 199-209.
- Kondo, Y., Obata, H., Hioki, N., Ooki, A., Nishino, S., Kikuchi, T., & Kuma, K. (2016). Transport of trace metals (Mn, Fe, Ni, Zn and Cd) in the western Arctic Ocean (Chukchi Sea and Canada Basin) in late summer 2012. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 116, 236-252.
- Kumar, V., Parihar, R. D., Sharma, A., Bakshi, P., Sidhu, G. P. S., Bali, A. S., Karaouzas, I., Bhardwaj, R., Thukral, A. K., Gyasi-Agyei, Y., & Rodrigo-Comino, J. (2019). Global evaluation of heavy metal content in surface water bodies: A meta-analysis using heavy metal pollution indices and multivariate statistical analyses. *Chemosphere*, 236, 124364. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124364>
- Lao, Q., Su, Q., Liu, G., Shen, Y., Chen, F., Lei, X., . . . Gao, J. (2019). Spatial distribution of and historical changes in heavy metals in the surface seawater and sediments of the Beibu Gulf, China. *Marine pollution bulletin*, 146, 427-434.
- Loya-Fernández, A. (2018). Análisis de la zona de mezcla de vertidos hipersalinos provenientes de plantas desalinizadoras de ósmosis inversa. Tesis de Doctorado en Ciencias del Mar y Biología Aplicada. Universidad de Alicante.
- Malea, P., Mylona, Z., & Kevrekidis, T. (2019). Trace elements in the seagrass *Posidonia oceanica*: Compartmentation and relationships with seawater and sediment concentrations. *Science of the Total Environment*, 686, 63-74.
- Mantiri, D. M., Kepel, R. C., Manoppo, H., Paulus, J. J., & Paransa, D. S. (2019). Metals in seawater, sediment and *Padina australis* (Hauck, 1887) algae in the waters of North Sulawesi. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 12(3), 840-850.
- Merino, M. Á. O., Conforme, M. V. M., & Conforme, M. C. M. (2017). Incidencia de la pesca artesanal en la contaminación de la Playa del Cantón Puerto López, de la Provincia de Manabí-Ecuador. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 20(40), 18-27.
- Mitchellmore, C., & Chipman, J. (1998). DNA strand breakage in aquatic organisms and the potential value of the comet assay in environmental monitoring. *Mutation Research/ Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 399(2), 135-147.
- Moreira-Cevallos, J. E. (2020). Contaminación ambiental de los ríos bravo y muerto, y su incidencia en la salud de los habitantes de la parroquia Los Esteros, Cantón Manta. *Polo del Conocimiento*, 5(2), 556-578.
- Mummullage, S., Egodawatta, P., Ayoko, G. A., & Goonetilleke, A. (2016). Sources of hydrocarbons in urban road dust: Identification, quantification and prediction. *Environmental Pollution*, 216, 80-85.
- Mumtaz, M., Khalid, S., Iqbal, R., & Saeed, M. (2020). Ecological and health risk assessment of heavy metals in surface sediments from selected urban rivers of Pakistan. *Environmental Pollution*, 266, 115466. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115466>
- Navarro-Martínez, A., Vélez-Mendoza, A., Almario-García, M., Campos-Campos, N. H., & Sanjuan-Muñoz, A. (2025). Contaminación en sedimentos por metales (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni y Pb) en el Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 54(1), 153-174. <https://doi.org/10.25268/bimc.invenmar.2025.54.1.1346>
- Nguyen, C. C., Hugie, C. N., Kile, M. L., & Navab-Daneshmand, T. (2019). Association between heavy metals and antibiotic-resistant human pathogens in environmental reservoirs: a review. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 13(3), 46.
- Orellana Izquierdo, P. V. (2008). Diagnostico ambiental de la cuenca del Rio Manta desde el sector de las lagunas de estabilización, hasta la confluencia de los ríos Manta y Burro. Tesis de Maestría en Gestión Ambiental. Universidad Internacional SEK.
- Oyibo, J. N., Wegwu, M. O., Uwakwe, A. A., & Osuoha, J. O. (2018). Analysis of total petroleum hydrocarbons, polycyclic aromatic hydrocarbons and risk assessment of heavy metals in some selected finfishes at Forcados Terminal, Delta State, Nigeria. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 9, 128-135.
- Ozuah, P. O. (2001). Folk use of elemental mercury: a potential hazard for children? *Journal of the National Medical Association*, 93(9), 320.
- Párraga, M. M., González-Cancelas, N., & Soler-Flores, F. (2016). Estrategia de planificación del puerto de aguas profundas de la ciudad de Manta: inclusión de metodología DaDED (DAFO-DELPHI - Estadística Descriptiva). *Revista Transporte y Territorio*, 14, 39-60.
- Ponce, W. P. P., & Pérez, J. F. R. (2017). Modelo de Desarrollo Turístico Sostenible para cantones costeros: herramienta para actores locales de Manabí, Ecuador. Posgrado y Sociedad. *Revista Electrónica del Sistema de Estudios de Posgrado*, 15(2), 65-78.
- Rosas Rodríguez, H. (2001). Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Sapsford, D., Cleall, P., & Harbottle, M. (2017). In situ resource recovery from waste repositories: exploring the potential for mobilization and capture of metals from Anthropogenic ores. *Journal of Sustainable Metallurgy*, 3(2), 375-392.
- Shao, H., Freiburg, J. T., Berger, P. M., Taylor, A. H., Cohen, H. F., & Locke II, R. A. (2020). Mobilization of trace metals from

- caprock and formation rocks at the Illinois Basin-Decatur Project demonstration site under geological carbon dioxide sequestration conditions. *Chemical Geology*, 550, 119758.
- Solys, G. A. P. (2017). Situación actual del sector pesquero. *Revista Perfiles gerenciales*, 6(2), 59-71.
- Sujitha, S., Jonathan, M., Villegas, L. E. C., & Hernández-Camacho, C. J. (2020). Occurrences and ecotoxicological risks of trace metals in the San Benito Archipelago, Eastern Pacific Ocean, Mexico. *Ocean & Coastal Management*, 184, 105003.
- Toala Reyes, J. F. (2018). Influencia de la actividad económica pesquera en el puerto de Manta período 2012-2016 Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Económicas.
- Wastensson, G., Lamoureux, D., Sällsten, G., Beuter, A., & Barregård, L. (2008). Quantitative assessment of neuromotor function in workers with current low exposure to mercury vapor. *Neurotoxicology*, 29(4), 596-604.
- Wigley, M., Kampman, N., Dubacq, B., & Bickle, M. (2012). Fluid-mineral reactions and trace metal mobilization in an exhumed natural CO₂ reservoir, Green River, Utah. *Geology*, 40(6), 555-558.
- Wang, H., Fan, Z., Kuang, Z., Yuan, Y., Liu, H., & Huang, H. (2021). Heavy metals in marine surface sediments of Daya bay, Southern China: Spatial distribution, sources apportionment, and ecological risk assessment. *Front. Environ. Sci.*, 9, 755873. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.755873>
- Yang, J., Cui, Z., Dada, O. A., Yang, Y., Yu, H., Xu, Y., ... Tang, X. (2018). Distribution and enrichment of trace metals in surface marine sediments collected by the manned submersible Jiaolong in the Yap Trench, northwest Pacific Ocean. *Marine pollution bulletin*, 135, 1035-1041.
- Yang, T., Cheng, H., Wang, H., Drews, M., Li, S., Huang, W., ... Diao, X. (2019). Comparative study of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and heavy metals (HMs) in corals, surrounding sediments and surface water at the Dazhou Island, China. *Chemosphere*, 218, 157-168.
- Yin, K., Chan, W.-P., Dou, X., Lisak, G., & Chang, V. W.-C. (2019). Vertical distribution of heavy metals in seawater column during IBA construction in land reclamation-Re-exploration of a large-scale field trial experiment. *Science of the Total Environment*, 654, 356-364.
- Zhou, C., Gaulier, C., Luo, M., Guo, W., Baeyens, W., & Gao, Y. (2020). Fine scale measurements in Belgian coastal sediments reveal different mobilization mechanisms for cationic trace metals and oxyanions. *Environment International*, 145, 106140.
- Zimmer, J., Grange, F., Straub, P., Haegy, J.-M., & Guillaume, J.-C. (1997). Mercury erythema after accidental exposure to mercury vapor. *Ann Med Interne (Paris)*, 148(4), 317-20.