



Artículo de Divulgación

Análisis residual de compuestos orgánicos en sedimentos marinos superficiales del archipiélago de nuestra señora del Rosario (Islas del Rosario, Cartagena, Colombia)

Residual analysis of organic pollutants in surface marine sediments from the Archipelago of Nuestra Señora del Rosario (Rosario Islands, Cartagena, Colombia)

RESUMEN

En este estudio se evaluaron Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs), pesticidas Organoclorados (OCs) y Organofosforados (OPs) en sedimentos marinos superficiales de 12 puntos del Archipiélago de Nuestra Señora del Rosario. Las muestras fueron extraídas mediante Soxhlet y analizadas por cromatografía de gases con detector de ionización de llama (GC/FID) y espectrometría de masas (GC/MS). Además, se determinó el carbono orgánico total (COT) como indicador de calidad sedimentaria. Los resultados mostraron que el criseno presentó las mayores concentraciones entre los HAPs, mientras que el fluoranteno predominó en Isla Maravilla y el naftaleno en Isla Grande. Entre los pesticidas, se detectaron principalmente DDT, DDE y clorpirifos en Barú, Casa Agua e Isla del Rosario. Aunque las concentraciones estuvieron por debajo de los valores TEL/PEL de la NOAA, la presencia simultánea de contaminantes orgánicos evidencia la necesidad de mantener programas de monitoreo ambiental en los ecosistemas arrecifales del Caribe colombiano.

Palabras clave: Sedimentos marinos; Contaminación; Contaminantes orgánicos; Ecosistemas arrecifales; Caribe colombiano.

ABSTRACT

In this study, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), organochlorine (OCs) and organophosphorus (OPs) pesticides were assessed in surface marine sediments from 12 sites in the Nuestra Señora del Rosario Archipelago. The samples were extracted by Soxhlet and analyzed by gas chromatography with flame ionization detection (GC/FID) and mass spectrometry (GC/MS). In addition, total organic carbon (TOC) was determined as an indicator of sediment quality. The results showed that chrysene had the highest concentrations among the PAHs, while fluoranthene predominated in Isla Maravilla and naphthalene in Isla Grande. Among the pesticides, DDT, DDE, and chlorpyrifos were mainly detected in Barú, Casa Agua, and Isla del Rosario. Although concentrations were below NOAA TEL/PEL values, the simultaneous presence of organic contaminants highlights the need to maintain environmental monitoring programs in coral reef ecosystems of the Colombian Caribbean.

Keywords: Marine sediments; Contamination; Organic pollutants; Coral reef ecosystems; Colombian Caribbean.

Autor de Correspondencia

Kelly Buelvas-Lozano¹

kbuelvasl@unicartagena.edu.co

¹Dra. (c)

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Grupo de investigaciones agroquímicas
Universidad de Cartagena

Beatriz Jaramillo-Colorado²

²Docente de planta Programa de Química
Directora del Grupo de investigaciones
agroquímicas
Universidad de Cartagena

Artículo Recibido: 2 de abril, 2026

Artículo Aceptado: 26 de junio, 2026

Artículo Publicado: 30 de septiembre, 2026



Introducción

Las actividades humanas han modificado progresivamente los ambientes costeros e insulares a nivel mundial, generando problemáticas ambientales como la eutrofización, la proliferación de algas y la degradación de hábitats marinos (Zhao *et al.*, 2023). Estas presiones resultan especialmente críticas en los sistemas insulares, donde los ecosistemas arrecifales coexisten con actividades antropogénicas intensivas, entre ellas el turismo, la pesca artesanal, el transporte marítimo y el desarrollo costero (Duar-te-Restrepo *et al.*, 2021). Adicionalmente, las actividades industriales y agrícolas desarrolladas en zonas continentales cercanas contribuyen al ingreso continuo de contaminantes a través de corrientes marinas y escorrentía superficial (Moreira *et al.*, 2021).

Los sedimentos marinos desempeñan un papel fundamental en los ecosistemas costeros debido a su capacidad para retener sustancias tóxicas persistentes (Jaramillo-Colorado *et al.*, 2016). Entre los contaminantes de mayor interés ambiental se encuentran los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) y diversos pesticidas, incluidos los compuestos organoclorados (OCs), caracterizados por su persistencia, hidrofobicidad y afinidad por el material particulado (Ijzerman *et al.*, 2024). Además, los pesticidas organofosforados (OPs), aunque presentan menor persistencia ambiental y mayor susceptibilidad a procesos de degradación, continúan siendo contaminantes de interés debido a su elevada toxicidad para organismos acuáticos y su uso frecuente en actividades agrícolas (Eisenreich *et al.*, 2021). Estas propiedades favorecen su adsorción y permanencia en los sedimentos, los cuales pueden actuar como fuentes secundarias de contaminación bajo cambios en las condiciones ambientales (Combi *et al.*, 2022). En ambientes arrecifales, manglares, praderas de pastos marinos y lagunas someras, la presencia de estos compuestos representa una amenaza significativa debido a la sensibilidad ecológica de estos sistemas (Shekhar *et al.*, 2024). Además, algunos contaminantes orgánicos pueden bioacumularse y biomagnificarse a través de las redes tróficas, generando efectos adversos como alteraciones endocrinas, carcinogenicidad, mutagenicidad y neurotoxicidad (Moreira *et al.*, 2021; Combi *et al.*, 2022).

La dinámica de acumulación de contaminantes en sedimentos se encuentra estrechamente relaciona-

da con el contenido de materia orgánica (Restrepo *et al.*, 2013). Los sedimentos finos enriquecidos en carbono orgánico favorecen la retención de compuestos hidrofóbicos e incrementan su biodisponibilidad para organismos bentónicos y arrecifales. Por esta razón, el carbono orgánico total (COT) es ampliamente utilizado como indicador de calidad sedimentaria, ya que permite evaluar tanto procesos naturales de productividad como aportes derivados de actividades humanas (Jaramillo-Colorado *et al.*, 2016; Moreira *et al.*, 2021). En ambientes insulares, valores elevados de COT suelen asociarse con descargas de aguas residuales, escorrentía costera, actividades turísticas y procesos de resuspensión sedimentaria, factores que favorecen la persistencia de contaminantes orgánicos en estos ecosistemas (Rizzi *et al.*, 2017; Commendatore *et al.*, 2018).

A pesar de la importancia ecológica de los ecosistemas arrecifales del Caribe colombiano, los estudios relacionados con la presencia y distribución de HAPs, OCs y OPs en sedimentos marinos de ambientes insulares aún son limitados. Esta falta de información resulta especialmente relevante en áreas protegidas o semiprotegidas, donde el incremento de la presión antrópica puede afectar la estabilidad y resiliencia ecológica de los ecosistemas (Moreira *et al.*, 2021; Combi *et al.*, 2022). En este contexto, el objetivo de este estudio fue determinar la presencia y distribución de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), pesticidas organoclorados (OCs) y organofosforados (OPs) en sedimentos marinos superficiales del Archipiélago de Nuestra Señora del Rosario, así como evaluar el carbono orgánico total (COT) como indicador asociado a la calidad sedimentaria y a la acumulación de contaminantes orgánicos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales y reactivos

Los estándares certificados de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), incluyendo naftaleno, acenafeno, antraceno, fluoranteno, pireno, criseno y benzo[a]pireno; pesticidas organoclorados (OCs), incluyendo 4,4'-DDT y 4,4'-DDE; y pesticidas organofosforados (OPs), incluyendo clorpirifos, fueron adquiridos de Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, EE. UU.), con purezas superiores al 95%. Como estándares surrogate se

emplearon PCB-209 y naftaleno- d_8 , ambos suministrados por la misma casa comercial. Las soluciones de trabajo se prepararon mediante dilución en n-hexano: Acetona (EMSURE®), para pesticidas organoclorados, Etil Acetato para pesticidas organofosforados y una disolución de diclorometano: benceno, para los hidrocarburos, hasta alcanzar las concentraciones requeridas para el análisis instrumental.

Para el acondicionamiento y limpieza de las muestras se utilizaron sulfato de sodio anhidro (J.T. Baker, NJ, EE. UU.), Florisil® (Supelco, Alemania) y acetona grado LC/GC (PanReac AppliChem, Darmstadt, Alemania). Adicionalmente, para la determinación del carbono orgánico total (COT) se emplearon ácido sulfúrico y dicromato de potasio (EMSURE®).

Descripción del área de estudio

El Archipiélago de Nuestra Señora del Rosario se localiza en la región Caribe colombiana, dentro de la Zona de Convergencia Intertropical (Restrepo *et al.*, 2013). La zona presenta una temperatura media anual del agua de mar de 27,5°C, una precipitación promedio anual de 1013,1 mm y una salinidad cercana al 35‰ (Villanueva García *et al.*, 2022). Este archipiélago fue declarado Parque Nacional Natural en 1978 con el propósito de proteger ecosistemas estratégicos como arrecifes coralinos, pastos marinos y manglares, además de la biodiversidad asociada (Díaz *et al.*, 2000). El Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo constituye uno de los ecosistemas marinos más importantes del Caribe colombiano, dominado principalmente por arrecifes coralinos que albergan una elevada diversidad biológica, incluyendo peces, crustáceos, corales y otros organismos marinos (González *et al.*, 2016).

Muestreo

Se recolectaron 12 muestras de sedimentos marinos superficiales en diferentes zonas del Archipiélago de Nuestra Señora del Rosario con el fin de evaluar la presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), pesticidas organoclorados (OCs) y organofosforados (OPs). El muestreo se realizó durante la temporada de lluvias, considerando profundidades aproximadas entre 10 y 20 cm. La Figura N° 1 presenta la localización de los puntos de muestreo.

Las muestras fueron recolectadas mediante una draga tipo Van Veen y rotuladas consecutivamente de M1 a M12. Posteriormente, los sedimentos se almacenaron en bolsas herméticas tipo Ziploc® y se conservaron a -18°C hasta su transporte al Laboratorio del Grupo de Investigaciones Agroquímicas de la Universidad de Cartagena para su procesamiento (Jaramillo-Colorado *et al.*, 2016).

En el laboratorio, las muestras fueron liofilizadas, homogeneizadas y tamizadas mediante una malla de 63 μ m, seleccionando la fracción fina (<63 μ m), debido a su mayor área superficial y contenido de materia orgánica, características que favorecen la adsorción de contaminantes orgánicos hidrofóbicos en comparación con fracciones sedimentarias de mayor tamaño (NOAA, 2008; United States Environmental Protection Agency, 2001).

Extracción y limpieza de las muestras

La extracción de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), pesticidas organoclorados (OCs) y organofosforados (OPs) se realizó mediante extracción Soxhlet, siguiendo el método EPA 3540C. Para ello, se emplearon 5 g de sedimento previamente liofilizado y tamizado, colocados en cartuchos de celulosa. Como sistema de extracción se utilizó una mezcla n-hexano: Acetona (1:1, v/v), manteniendo el proceso durante 5 h.

Posteriormente, los extractos fueron sometidos a un procedimiento de limpieza mediante columnas de Florisil® y Na_2SO_4 anhidro, con el fin de eliminar interferencias y restos de material particulado provenientes de la matriz sedimentaria. Los extractos purificados fueron concentrados mediante rotoevaporación utilizando un rotaevaporador VELP® (Italia) y transferidos a viales de 1,5 mL.

El secado final se realizó mediante una corriente de nitrógeno gaseoso (N_2) empleando un evaporador de nitrógeno (modelo MS-H-S). Finalmente, las muestras fueron reconstituidas en 0,5 mL del solvente correspondiente para cada grupo de compuestos: n-hexano para OCs, Acetato de etilo para OPs y una Solución (1:1) de N-hexano:Acetona para HAPs. Posteriormente, se adicionaron los estándares fortificados correspondientes para el análisis instrumental (Mix de OCs, Mix de OPs y Mix de HAPs).

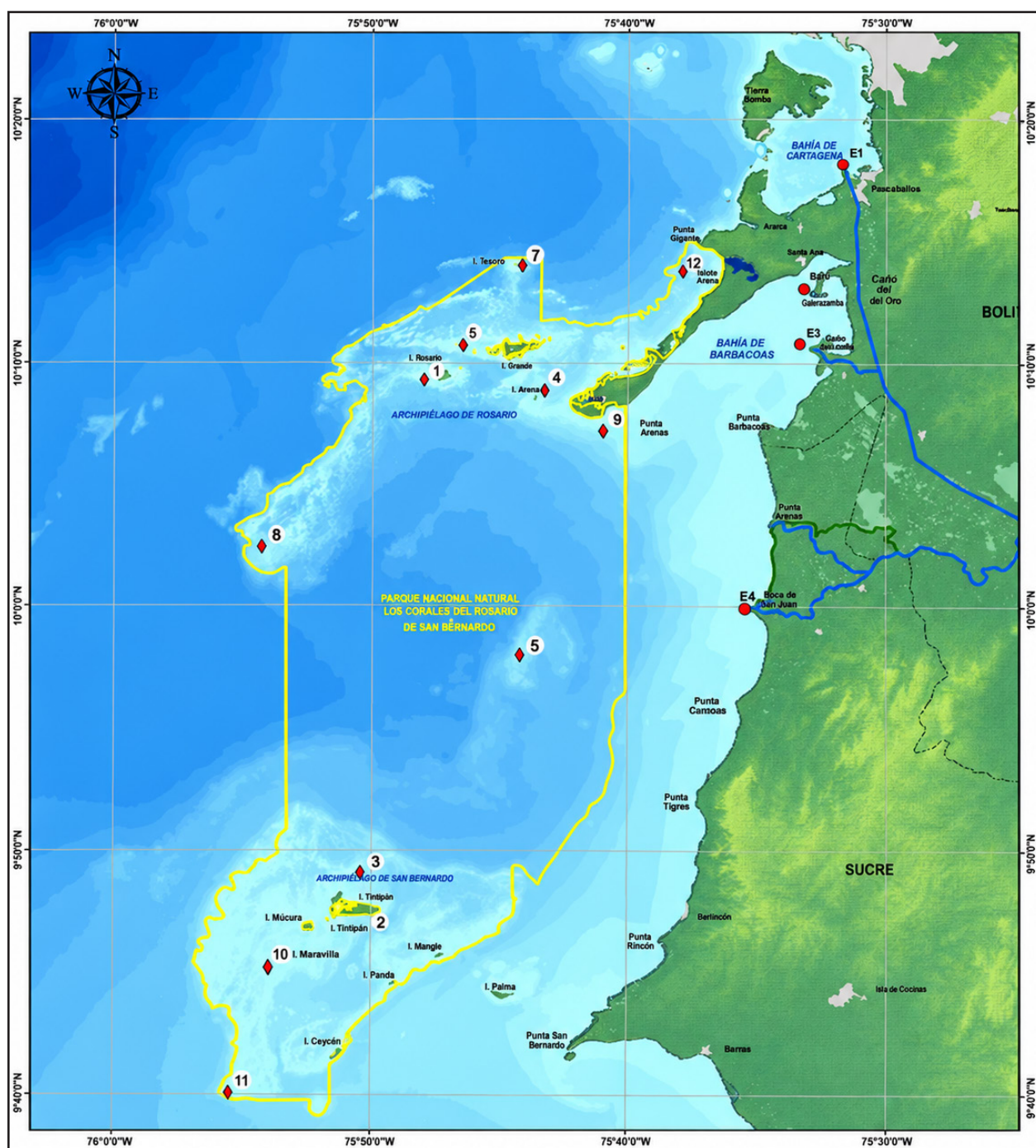


Figura N° 1. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo de sedimentos superficiales en el Archipiélago de Nuestra Señora del Rosario y San Bernardo (Caribe colombiano).

Análisis por GC/MS y GC/FID

La determinación de pesticidas organoclorados (OCs) y organofosforados (OPs) se realizó mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS), utilizando un cromatógrafo Agilent Technologies 7890A GC System acoplado a un espectrómetro de masas 5975C VL MSD (CA, USA), operando en modo de ionización por impacto electrónico (EI, 70 eV).

La separación cromatográfica se efectuó mediante una columna capilar HP-5 (30 m × 0,25 mm × 0,25 µm; J&W Scientific, EE. UU.), utilizando helio como gas portador a un flujo constante de 1,0 mL min⁻¹. El inyector operó en modo splitless a 260°C, con un volumen de inyección de 1 µL, tiempo splitless de 1 min y flujo de purga de 50 mL min⁻¹. Se utilizó un liner desactivado de 4 mm sin lana de vidrio.

El programa de temperatura del horno fue el siguiente: temperatura inicial de 60 °C durante 2 min; incremento de 10°C min⁻¹ hasta 250°C, manteniéndose durante 2 min; posteriormente, incremento de 15 °C min⁻¹ hasta 280 °C, manteniéndose durante 4 min. La línea de transferencia y la fuente de iones se mantuvieron entre 290–300°C y 250–300°C, respectivamente.

La adquisición de datos se realizó en modo SIM, empleando iones característicos para cada compuesto. Para los OPs se utilizaron, entre otros, diclorvos (m/z 185) y clorpirifos (m/z 197), mientras que para los OCs se emplearon hexaclorobenceno (m/z 284) y p,p'-DDT (m/z 235). Se aplicó un solvent delay de 3,0–3,5 min. La identificación de los analitos se realizó mediante comparación de tiempos de retención y relaciones iónicas (± 20%), mientras que la cuantificación se efectuó utilizando el ion base de cada compuesto.

La determinación de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) se realizó mediante cromatografía de gases acoplada a detector de ionización de llama (GC-FID) utilizando un equipo Thermo Scientific (MS, EE. UU.). La separación cromatográfica se llevó a cabo mediante una columna capilar EQUITY® R-1 (30 m × 0,25 mm × 0,25 µm; Merck-Supelco, Alemania), empleando nitrógeno como gas de arrastre a un flujo de 1,5 mL min⁻¹ y modo de inyección splitless.

La temperatura del inyector y del detector se estableció en 280°C. El programa de temperatura del horno inició a 80°C, seguido de un incremento hasta 240°C a razón de 10°C min⁻¹ con un tiempo de espera de 2 min; posteriormente, la temperatura se incrementó hasta 260°C a 4°C min⁻¹ con un tiempo

de espera de 3 min, y finalmente hasta 300°C a 20°C min⁻¹, manteniéndose durante 9,2 min. Para todos los análisis cromatográficos se inyectó un volumen de 1 µL de muestra.

Método de verificación

La linealidad instrumental se evaluó mediante curvas de calibración ajustadas a matriz, utilizando siete puntos de concentración para cada grupo de compuestos analizados. Los modelos de calibración presentaron coeficientes de determinación superiores a 0,999 ($R^2 \geq 0,999$), indicando una adecuada respuesta lineal del método.

La cuantificación de los analitos se realizó mediante el método de adición de patrón, con el fin de minimizar los efectos de matriz asociados al análisis de contaminantes orgánicos en sedimentos marinos (Castañeda *et al.*, 2025). La confirmación de los compuestos se efectuó mediante comparación de tiempos de retención, aceptando variaciones máximas de ± 0,1 min respecto a los estándares de referencia correspondientes.

Determinación de carbono orgánico total (COT)

El carbono orgánico total (COT) se determinó de manera aleatoria dentro del muestreo realizado, mediante el método colorimétrico de Walkley–Black descrito por García-Galvis y Ballesteros-González (2005), basado en una reacción de óxido-reducción del cromo hexavalente (Cr⁶⁺). Este parámetro fue empleado como indicador de calidad sedimentaria y como variable asociada a la retención de contaminantes orgánicos en los sedimentos marinos.

Procesamiento de datos

El tratamiento estadístico y multivariado de los datos se realizó utilizando Python 3.10. Se aplicó un análisis de conglomerados jerárquicos (clúster) mediante el método de vinculación media entre grupos, con el propósito de identificar similitudes espaciales entre las zonas de muestreo.

Adicionalmente, se efectuó un análisis de componentes principales (ACP) empleando una matriz de covarianza para evaluar las asociaciones entre contaminantes y variables sedimentarias. Los componentes principales significativos fueron seleccionados de acuerdo con su contribución a la varianza total del sistema y utilizados para interpretar patrones espaciales de distribución de contaminantes en los sedimentos analizados (Espinosa-Díaz *et al.*, 2021).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La distribución espacial de los contaminantes orgánicos en los sedimentos del Archipiélago de Nuestra Señora del Rosario estuvo influenciada por el contenido de carbono orgánico total (COT) (Tabla N° 1). Los sitios con mayores valores de COT, particularmente Isla Rosario (19,16 g/kg), Isla Tesoro (12,97 g/kg), Tintipán y Barú (≈9–10 g/kg), presentaron una mayor acumulación de compuestos hidrofóbicos, incluyendo hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) (Tabla N° 2), así como pesticidas organoclorados (OCs) y organofosforados (OPs). En estas zonas se observó la presencia de HAPs de alto peso molecular, especialmente crisenos, además de clorpirifos y residuos de DDT y DDE, lo que evidencia aportes tanto históricos como recientes de contaminación en los sedimentos marinos (Espinosa-Díaz *et al.*, 2021).

Masa (Kg) Abs (585 nm) C.O (g/kg)

I Rosario	0,0005	0,46	19,16
casa Agua	0,0005	0,23	9,66
I Tesoro	0,0005	0,32	12,97
Tintipan	0,0010	0,45	9,89
Barú	0,0010	0,42	9,34
Playa Blanca	0,0010	0,32	6,99

Tabla N° 1. Determinación de carbono orgánico total (COT) en sedimentos superficiales del Archipiélago de Nuestra Señora del Rosario.

Playa Blanca presentó el menor contenido de carbono orgánico total (6,99 g/kg), asociado con menores concentraciones de contaminantes en comparación con los demás sitios evaluados. Este comportamiento podría estar relacionado con una mayor dinámica hidrodinámica y una menor capacidad de retención de compuestos orgánicos en los sedimentos (Villanueva García *et al.*, 2022).

La predominancia de DDE sobre DDT en la mayoría de las zonas de muestreo sugiere procesos de degradación ambiental del DDT y evidencia aportes históricos de este pesticida (Tabla N° 3). Por otra parte, las mayores concentraciones de clorpirifos observadas en Isla Maravilla e Isla Rosario indican posibles aportes recientes asociados a actividades antropogénicas en áreas cercanas (Tabla N° 3).

Todas las concentraciones de HAPs, OCs y OPs se mantuvieron por debajo de los valores guía de calidad de sedimentos establecidos por la NOAA (TEL/PEL), lo que sugiere un bajo riesgo ecológico inmediato para los organismos bentónicos presentes en los sedimentos superficiales analizados. Sin embargo, la presencia simultánea de múltiples contaminantes y los elevados contenidos de COT observados en algunos sectores del archipiélago resaltan la necesidad de mantener programas de monitoreo ambiental continuo, especialmente en ecosistemas arrecifales sensibles a cambios en la presión antrópica y a procesos de resuspensión sedimentaria (Jonathan *et al.*, 2019; Torregroza-Espinosa *et al.*, 2020).

En la Figura N° 2, el análisis de componentes principales (ACP) permitió identificar patrones espaciales en la distribución de hidrocarburos aromáticos policíclicos y pesticidas en los sedimentos insulares. Los tres primeros componentes explicaron una proporción importante de la variabilidad total, evidenciando perfiles químicos diferenciados entre las zonas evaluadas (Duarte-Restrepo *et al.*, 2021).

Isla Maravilla presentó una separación marcada respecto a las demás islas, asociada principalmente a concentraciones elevadas de clorpirifos, lo que sugiere aportes recientes y localizados de este compuesto. De manera similar, Tintipán e Isla Arena mostraron perfiles diferenciados, posiblemente relacionados con una mayor presencia de HAPs de alto peso molecular, especialmente crisenos. Por otra parte, Isla Grande y Tesoro presentaron proximidad espacial en el análisis multivariado, indicando composiciones químicas relativamente similares (Zhao *et al.*, 2023).

Por otro lado, la Figura N° 3 permitió identificar patrones de similitud en la distribución conjunta de HAPs, pesticidas organoclorados y clorpirifos. El dendrograma confirmó la separación de Isla Maravilla observada en el ACP. Asimismo, se identificó un grupo conformado por Islote, Barú y Múcra, caracterizado por concentraciones intermedias de contaminantes, mientras que Isla Grande y Tesoro presentaron la mayor similitud en sus perfiles químicos. En conjunto, el ACP y el análisis de conglomerados evidenciaron patrones espaciales consistentes, relacionados con el contenido de carbono orgánico de los sedimentos y con fuentes antropogénicas locales (Duarte-Restrepo *et al.*, 2021; Torregroza-Espinosa *et al.*, 2020).

Compuesto	TEL (ng/g d.w.)	PEL (ng/g d.w.)
Naftaleno	34,6	391
Acenafteno	5,87	128
Antraceno	46,9	245
Fluoranteno	113	1494
Pireno	153	1398
Criseno	108	846
Benzo[a]pireno	88,8	763

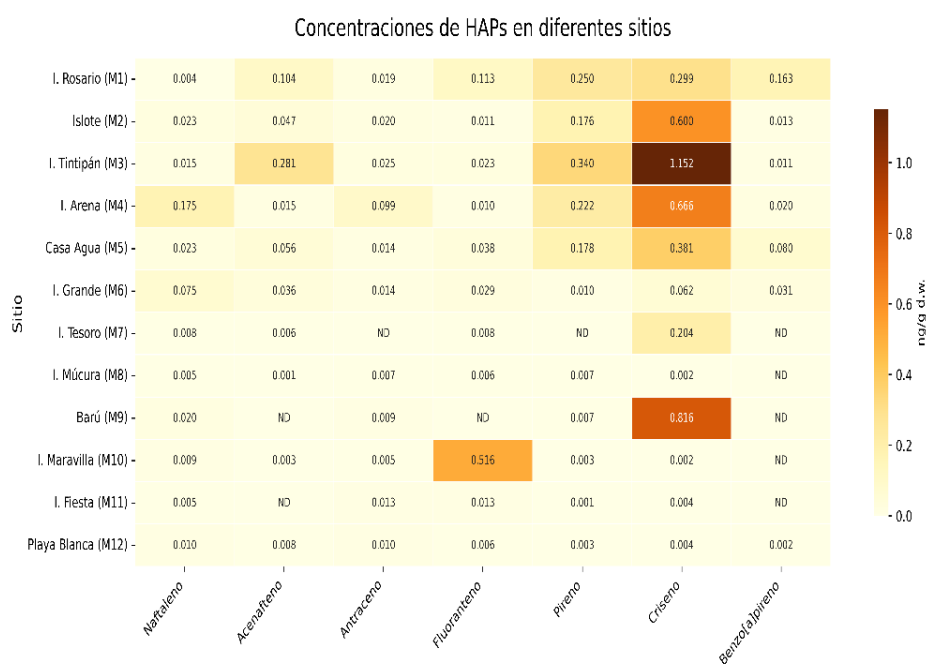


Tabla N° 2. Concentraciones de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) en sedimentos superficiales del Archipiélago de Nuestra Señora del Rosario, expresadas en ng/g de peso seco (d.w.). ND: no detectado.

CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos confirmaron la presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), pesticidas organoclorados (OCs) y organofosforados (OPs) en sedimentos superficiales del Archipiélago de Nuestra Señora del Rosario. Las mayores concentraciones se registraron en Isla Maravilla e Isla Rosario, particularmente asociadas a la presencia de clorpirifos y compuestos derivados del DDT. Así mismo los sitios con mayores contenidos de carbono orgánico total (COT) mostraron una mayor acumulación de compuestos hidrofóbicos, lo que sugiere una influencia importante de la materia orgánica sobre la retención de contaminantes en los sedimentos marinos.

Aunque las concentraciones determinadas se mantuvieron por debajo de los valores guía establecidos

por la NOAA (TEL/PEL), la detección simultánea de diferentes contaminantes orgánicos resalta la necesidad de fortalecer los programas de monitoreo ambiental en ecosistemas arrecifales del Caribe colombiano, debido a su alta sensibilidad frente a las actividades antropogénicas y a los procesos de acumulación sedimentaria.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Grupo de Investigaciones Agroquímicas y a la Dra. Beatriz E. Jaramillo Colorado por su orientación y apoyo durante el desarrollo de este trabajo. Asimismo, agradecen a la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad de Cartagena y al Dr. Hernán Alejandro Henao por el respaldo brindado durante las actividades desarrolladas en el Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo.

Concentraciones de compuestos orgánicos en sedimentos



ND: No detectado. NOAA (Buchman, 2008): 4,4'-DDE (TEL: 2,1 ng/g; PEL: 374 ng/g); ΣDDT (TEL: 3,89 ng/g; PEL: 51,7 ng/g).(Buchman, Michael F (2008)

Tabla N° 3. Concentraciones de pesticidas organoclorados (OCs) y organofosforados (OPs) en sedimentos superficiales del Archipiélago de Nuestra Señora del Rosario (ng/g d.w.).

Análisis de componentes Principales (PCA 3D)

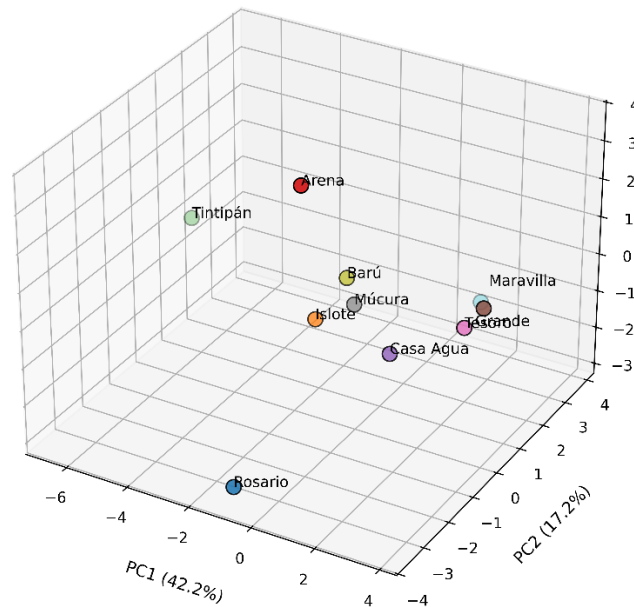


Figura N°2. Análisis de componentes principales (PCA), de la zona de estudio.

Dendrograma jerárquico de contaminantes orgánicos

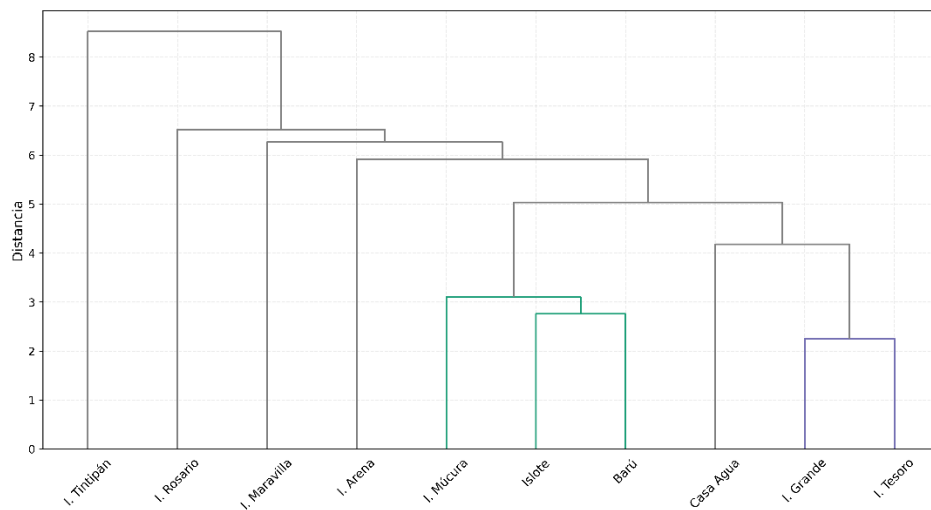


Figura N°3. Dendrograma jerárquico de sitios de muestreo basado en la distribución de HAPs, pesticidas organoclorados y organofosforados en sedimentos superficiales del Archipiélago de Nuestra Señora del Rosario.

REFERENCIAS

- Buchman MF. 2008. NOAA screening quick reference tables, NOAA OR&R Report 08-1. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Office of Response and Restoration
- Castañeda M, Avila BS, Gallego-Ríos SE, Peñuela GA. 2025. Analysis of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in tropical fruits and soils from Antioquia, Colombia and health risk assessment by consumption. *J Food Composition Analysis* 142: 107428. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.107428>
- Combi T, Montone RC, Corada-Fernández C, Lara-Martín PA, Gusmão JB, Oliveira Santos MC. 2022. Persistent organic pollutants and contaminants of emerging concern in spinner dolphins (*Stenella longirostris*) from the Western Atlantic Ocean. *Marine Pollution Bulletin* 174: 113263. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113263>
- Commendatore M, Yorio P, Scenna L, Ondarza PM, Suárez N, Marinao C, Miglioranza KSB. 2018. Persistent organic pollutants in sediments, intertidal crabs, and the threatened Olrog's gull in a northern Patagonia salt marsh, Argentina. *Marine Pollution Bulletin* 136: 533 - 546. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.09.010>
- Díaz JM, Barrios LM, Cendales MH, Garzón-Ferreira J, Geister J, López-Victoria M, Ospina GH, Parra-Velandia F, Pinzón J, Vargas-Angel B, Zapata FA, Zea S. 2000. Áreas coralinas de Colombia. INVEMAR, Serie Publicaciones Especiales No. 5, Santa Marta, Colombia.
- Duarte-Restrepo E, Noguera-Oviedo K, Butryn D, Wallace JS, Aga DS, Jaramillo-Colorado BE. 2021. Spatial distribution of pesticides, organochlorine compounds, PBDEs, and metals in surface marine sediments from Cartagena Bay, Colombia. *Environm Sci Poll Res Int* 28: 14632 - 14653. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11504-6>
- Eisenreich SJ, Hornbuckle K, Jones KC. 2021. The global legacy of POPs: Special issue. In *Environmental Science and Technology*. American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c03067>
- Espinosa-Díaz LF, Sánchez-Cabeza JA, Sericano JL, Parra JP, Ibarra-Gutierrez KP, Garay-Tinoco JA, Betancourt-Portela JM, Alonso-Hernández C, Ruiz-Fernández AC, Quejido-Cabezas A, Díaz-Asencio M. 2021. Sedimentary record of the impact of management actions on pollution of Cartagena Bay, Colombia. *Marine Pollution Bulletin* 172: 112807. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112807>
- García Galvis J, Ballesteros González MI. 2005. Evaluación de parámetros de calidad para la determinación de carbono orgánico en suelos. *Rev Colomb Quim* 34: 201 - 209.
- Ijzerman MM, Raby M, Letwin NV, Black T, Kudla YM, Osborne RK, Sibley PK, Prosser RS. 2024. Pesticide presence in stream water, suspended sediment and biofilm is strongly linked to upstream catchment land use and crop type. *Ecotoxicol Environ Saf* 288: 117382. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.117382>
- Jaramillo-Colorado BE, Echeverri G, Duarte-Restrepo E, Aga DS, Noguera-Oviedo K. 2016. Pesticide residues in marine sediments. A case study: Cartagena Bay (Colombia). *Toxicol Lett* 259: S215. <https://doi.org/10.1016/J.TOXLET.2016.07.516>
- Jonathan MP, Rodriguez-Espinosa PF, Sujitha SB, Shruti VC, Martinez-Tavera E. 2019. A multi-elemental approach to assess potential contamination in tourist beaches: The case of Loreto Bay (Marine Protected Area), NW Mexico. *Marine Pollution Bulletin* 146: 729 - 740. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2019.06.083>
- León González CJ, de León Ledesma J, Niño Martínez LM. 2016. Valoración económica de los recursos naturales de Islas del Rosario y San Bernardo, Colombia. *Estud Perspect Tur* 25: 241 - 254.

Moreira LB, Fernandes GM, Figueira RCL, Nascimento RF, Cavalcante RM, Machado WTV, Abessa DMS. 2021. Sediment contamination and toxicity of Marine Protected Areas in southeastern Brazilian coast: A baseline for management planning. *Marine Pollution Bulletin* 170: 112613. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112613>

Restrepo JC, Franco D, Escobar J, Darío Correa I, Otero L, Gutiérrez J. 2013. Sedimentos superficiales de la bahía de Cartagena Bahía de Cartagena (Colombia): distribución de sedimentos superficiales y ambientes sedimentarios Cartagena Bay (Colombia): superficial sediments distribution and sedimentary environments. *Am J Aquat Res* 41 (1).

Rizzi J, Taniguchi S, Martins CC. 2017. Polychlorinated biphenyls (PCBs) and organochlorine pesticides (OCPs) in sediments from an urban- and industrial-impacted subtropical estuary (Babitonga Bay, Brazil). *Mar Poll Bull* 119: 390 - 395. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.03.032>

Shekhar C, Khosya R, Thakur K, Mahajan D, Kumar R, Kumar S, Sharma AK. 2024. A systematic review of pesticide exposure, associated risks, and long-term human health impacts. *Toxicol Rep* 13: 101840. <https://doi.org/10.1016/J.TOXREP.2024.101840>

Torregroza-Espinosa AC, Restrepo JC, Correa-Metrio A, Hoyos N, Escobar J, Pierini J, Martínez JM. 2020. Fluvial and oceanographic influences on suspended sediment dispersal in the Magdalena River Estuary. *J Mar Syst* 204: 103282. <https://doi.org/10.1016/J.JMARSYS.2019.103282>

Tosic M, Restrepo JD, Lonin S, Izquierdo A, Martins F. 2019. Water and sediment quality in Cartagena Bay, Colombia: Seasonal variability and potential impacts of pollution. *Estuarine Coastal Shelf Sci* 216: 187 - 203. <https://doi.org/10.1016/J.ECSS.2017.08.013>

United States Environmental Protection Agency. 1996. Method 3540C: Soxhlet extraction (Revision 3). In: Test methods for evaluating solid waste, physical/ chemical methods (SW-846). U.S. Environmental Protection Agency. United States Environmental Protection Agency. (2001). Methods for collection, storage and manipulation of sediments for chemical and toxicological analyses: Technical manual (EPA-823-B-01-002). U.S. Environmental Protection Agency.

Villanueva García EP, Parra León N, Parodi Jaramillo J, Restrepo López JC. 2022. Caracterización sedimentológica y morfológica de la bahía de Cartagena (2000-2020). *Boletín Científico CIOH* 41. <https://doi.org/10.26640/22159045.2022.587>

Zhao M, Wu J, Figueiredo DM, Zhang Y, Zou Z, Cao Y, Li J, Chen X, Shi S, Wei Z, Li J, Zhang H, Zhao E, Geissen V, Ritsema CJ, Liu X, Han J, Wang K. 2023. Spatial-temporal distribution and potential risk of pesticides in ambient air in the North China Plain. *Environ Int* 182: 108342. <https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2023.108342>