

Asesoría política y técnica sobre los usos benéficos de los sedimentos marinos dragados en Colombia, incluyendo las soluciones basadas en la naturaleza.

Evaluación de la calidad física y química de los sedimentos dragados en el canal de acceso a la zona portuaria de Barranquilla

30 de enero de 2026

Contacto

PARTNERS FOR WATER

info@partnersforwater.nl

www.partnersforwater.nl

Netherlands Enterprise
Agency (RVO).
PO Box 93144, 2509 AC
The Hague

El proyecto “Asesoramiento político y técnico sobre los usos benéficos de los sedimentos marinos dragados en Colombia, incluidas las soluciones basadas en la naturaleza” forma parte de la colaboración entre el Gobierno de los Países Bajos, a través del programa Partners for Water, y el Ministerio de Ambiente de Colombia, el Departamento Nacional de Planeación (DNP) y el Ministerio de Transporte. El proyecto fue ejecutado por un consorcio conformado por Arcadis, la Fundación Herencia Ambiental Caribe, JESyCA y Netics, en conjunto con entidades gubernamentales tanto de Colombia como de los Países Bajos.

Contenidos

1	Introducción	6
1.1	Antecedentes	6
1.2	Objetivos y resultados del proyecto	6
1.3	Estructura de este entregable	7
2	Contexto general sobre sedimentos y sustancias en el canal de acceso a la zona portuaria de Barranquilla	8
2.1	Características del canal de acceso	9
2.2	Entidades involucradas y marco de gobernanza en las actividades de dragados de mantenimiento	10
2.3	Profundidades de dragado de mantenimiento y volúmenes de material dragado	12
2.4	Sustancias en los sedimentos	14
3	Calidad física y química de sedimentos en el canal de acceso a la zona portuaria de Barranquilla	18
3.1	Calidad física	21
3.1.1	Granulometría	21
3.1.2	Contenido de carbono orgánico	22
3.2	Calidad química en relación con los umbrales de Florida, Brasil y Países Bajos	23
3.2.1	Sustancias minerales	24
3.2.2	Sustancias orgánicas	34
4	Calidad química de los sedimentos en la zona de depósito cercana al canal de acceso a la zona portuaria de Barranquilla	40
5	Discusión sobre las sustancias de mayor preocupación	42
5.1	Sustancias minerales	43
5.1.1	Metales pesados y arsénico	43
5.1.2	Otras sustancias minerales	43
5.2	Sustancias orgánicas	44
5.2.1	Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)	44
5.2.2	Plaguicidas	44
5.3	Fiabilidad de los datos	44

6	Vacíos de información para evaluar la calidad química de los sedimentos en el canal de acceso al puerto de Barranquilla	46
6.1	Sustancias minerales	47
6.1.1	Metales pesados y metaloides	47
6.1.2	Otras sustancias minerales	47
6.2	Sustancias orgánicas	48
6.2.1	Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	48
6.2.2	Plaguicidas	48
	Otras sustancias orgánicas y tributilestaño	48
6.3	Información adicional necesaria para evaluar la calidad de los sedimentos	48
6.3.1	Granulometría, contenido de materia orgánica, pH y capacidad de intercambio catiónico	48
6.3.2	Mineralogía de arcillas	49
6.3.3	Otro tipo de información a tener en cuenta	49
7	Recomendaciones para evaluar la calidad química de los sedimentos en las áreas de dragado de los puertos marítimos de Colombia, y establecer lineamientos de calidad de los sedimentos	51
7.1	Evaluaciones exhaustivas de la calidad química de los sedimentos, para verificar qué sustancias son preocupantes en los sedimentos de las zonas portuarias marítimas	52
7.1.1	Recomendaciones para el muestreo de sedimentos	52
7.1.2	Recomendaciones sobre técnicas analíticas de laboratorio	53
7.2	Recomendaciones para establecer directrices de calidad de sedimentos para cada zona marítima portuaria de Colombia	56
7.3	Recomendación para el monitoreo de la calidad química de los sedimentos, dirigida a determinar para qué usos benéficos son válidos los materiales dragados	56
8	Referencias	58
	Apéndices	61
	Apéndice A - Contenido de grava, arena y limo+arcilla	61
	Apéndice B - Umbrales para ecosistemas de agua dulce de los SQG de Florida, Brasil y Países Bajos	63
	Apéndice C - Concentraciones de sustancias reportadas por Cormagdalena	68
	Apéndice D - Concentraciones de sustancias reportadas por INVEMAR	69
	Apéndice E - Concentraciones de sustancias reportadas por UniCartagena.	71
	Apéndice F - Sustancias prioritarias para los monitoreos de calidad de sedimentos y para la determinación de umbrales propios de Colombia	74
	Apéndice G - Abreviaturas y acrónimos	77

1 Introducción

1.1 Antecedentes

Dentro de la asociación entre el Gobierno de Colombia y el Gobierno de los Países Bajos en el campo del agua y la adaptación al cambio climático, el uso benéfico de los materiales dragados (marinos) es una de las prioridades, a petición específica de los Ministerios colombianos de Transporte (MinTransporte), Medio Ambiente (MinAmbiente) y el Departamento Nacional de Planeación (DNP). Los usos benéficos de los sedimentos marinos dragados aún no se realizan en Colombia, y los materiales dragados se han vertido en zonas de depósito mar adentro previamente aprobadas por la autoridad ambiental. Aprovechando la mayor atención prestada a los usos benéficos y para seguir mejorando las directrices normativas sobre materiales dragados en Colombia, esta consultoría se centra en la asesoría política y técnica para los usos benéficos de los sedimentos marinos dragados, incluyendo las soluciones basadas en la naturaleza (SbN).

La asociación política con el Gobierno de Colombia sobre el tema del dragado y el uso benéfico de los materiales dragados tiene una larga historia, apoyada a través de varios proyectos en la última década:

- El Plan Nacional de Dragados Marítimos (PNDM, 2017) consistió en un análisis conceptual y principales recomendaciones para lograr, en el corto, mediano y largo plazo, mejoras en: (i) el orden institucional, (ii) la normatividad técnica y ambiental, (iii) la financiación, (iv) las metodologías de contratación de dragado en los canales de acceso marítimo a los puertos y (v) la estrategia de dragado de mantenimiento por zona portuaria y la estrategia de dragado de capital para las dos costas, Atlántica y Pacífica, incluyendo el uso benéfico del material dragado. El PNDM también incluyó una comparación internacional sobre los aspectos anteriores, para tener un referente que permitiera a las entidades del Gobierno colombiano tomar decisiones calificadas, entre las cuales ocupa un lugar destacado el aprovechamiento de los materiales provenientes del dragado. Específicamente se mencionó la falta de uniformidad en los criterios básicos para la formulación de diseños y obras, la falta de claridad sobre la disposición final o uso benéfico del material dragado, los costos adicionales por transportes innecesarios para disponer en alta mar materiales que podrían ser reutilizados, y la imprecisión sobre los valores finales de los proyectos.
- Una serie de seminarios web sobre dragado y uso de materiales dragados en Colombia, con el fin de apoyar a las partes interesadas en el tema del dragado, incluyendo principios clave como Construir con la Naturaleza y el uso de materiales dragados para otros fines (2020/2021).
- En el proyecto “Uso benéfico de materiales de dragado en el contexto colombiano”, se analizaron las oportunidades para ampliar la gama de usos benéficos de los materiales de dragado, incluyendo ejemplos de marcos legales y requisitos normativos en otros países. Adicionalmente, se incluyó un estudio de caso para las oportunidades de usos benéficos de los materiales de dragado resultantes de las actividades de dragado de capital y mantenimiento en la zona portuaria de Buenaventura, además de un análisis de las barreras y facilitadores para el uso de los materiales de dragado en Colombia (2022).

A raíz de estos proyectos, el Plan Nacional de Desarrollo 2022-26 señaló en su artículo 240 la necesidad de utilizar el material dragado, cumpliendo con la normatividad ambiental expedida para tal fin, priorizando los usos en la recuperación de áreas afectadas por erosión costera, y en la recuperación de áreas de manglar o zonas afectadas por inundaciones. Además, en julio de 2023 el gobierno colombiano expidió el CONPES 4118 (Política Nacional Portuaria), en el cual se establece que la disposición de materiales dragados mar adentro o en tierra puede tener un impacto negativo sobre los ecosistemas marinos y costeros. Dados estos enunciados en estos instrumentos normativos, es responsabilidad de MinAmbiente establecer un marco regulatorio de lineamientos ambientales y técnicos para el uso de sedimentos marinos dragados en Colombia.

Dada esta necesidad, los gobiernos de los Países Bajos y Colombia acordaron poner en marcha el actual proyecto "Asesoría política y técnica sobre usos benéficos de los sedimentos marinos dragados en Colombia, incluyendo soluciones basadas en la naturaleza".

1.2 Objetivos y resultados del proyecto

El proyecto se centra en seguir mejorando las directrices normativas para los materiales marinos dragados en Colombia, dando asesoría para una normatividad a establecer por parte de MinAmbiente, y para actualizar la Guía de

manejo ambiental de proyectos de infraestructura, modos marítimos y fluvial (INVIAS, 2022). Además, el proyecto incluye un estudio de caso para la zona portuaria de Barranquilla, que muestre lo que se puede hacer con el material dragado.

La base para mejorar las directrices colombianas reside en proporcionar asesoría técnica en forma de normas y parámetros prácticos para el uso benéfico del material dragado, extraídos de la experiencia de los Países Bajos y otros países. Acompañando a esta asesoría técnica está el desarrollo de capacidades de las principales partes interesadas en Colombia, en relación con los principales componentes técnicos del estudio.

El proyecto consta de 5 entregables principales:

1. Normas y parámetros aplicados en los Países Bajos en materia de dragado y uso de materiales dragados.
2. Normas y parámetros aplicados en otros países: Australia/Nueva Zelanda, Japón, Brasil, Perú, México, EE.UU. (Florida), Canadá, España, Costa Rica y Panamá.
3. Evaluación de la calidad química de los sedimentos en la zona portuaria de Barranquilla, y recomendaciones para establecer las directrices de calidad de los sedimentos de Colombia.
4. Adiciones a las directrices de la guía de INVIAS.
5. Estudio de caso zona portuaria de Barranquilla.

1.3 Estructura de este entregable

Este informe presenta una evaluación de la calidad química de los sedimentos en el canal de acceso al puerto de Barranquilla, donde es necesario el dragado para garantizar la navegabilidad. Dicha evaluación se basa en comparar la información reportada en sitios del canal de acceso al Puerto de Barranquilla, con la información de algunas Directrices de calidad de sedimentos (DCS) de otros países o regiones, entre las explicadas en los entregables 1 y 2. Con base en esta evaluación, este informe también presenta recomendaciones para la evaluación de la calidad química de los sedimentos en los puertos marítimos de Colombia, así como recomendaciones para el establecimiento de DCS propias del país.

La estructura de este informe es la siguiente:

- Capítulo 2: Información contextual para mejorar la comprensión de los capítulos siguientes.
- Capítulo 3: La evaluación de la calidad química de los sedimentos en el canal de acceso al puerto de Barranquilla, a partir de la descripción de las sustancias reportadas por las entidades colombianas, en comparación con los respectivos umbrales incluidos en las DCS de Florida, Brasil y Países Bajos.
- Capítulo 4: La información de la calidad química de los sedimentos en la zona de depósito marino, donde se vierten los materiales dragados en el canal de acceso.
- Capítulo 5: Una discusión sobre cuáles de las sustancias reportadas son preocupantes en los sedimentos del canal de acceso y la zona de depósito marino.
- Capítulo 6: Un análisis de los vacíos de información para evaluar la calidad física y química de los sedimentos en el canal de acceso al puerto de Barranquilla.
- Capítulo 7: Recomendaciones para próximas evaluaciones de calidad química de sedimentos.

Apéndices:

- Apéndice A - Contenidos de grava, arena y limo y arcilla (Granulometría)
- Apéndice B - Umbrales para ecosistemas de agua dulce de las DCS de Florida, Brasil y los Países Bajos
- Apéndice C - Concentraciones de sustancias reportadas por Cormagdalena
- Apéndice D - Concentraciones de sustancias reportadas por INVEMAR
- Apéndice E - Concentraciones de sustancias reportadas por UniCartagena
- Apéndice F - Sustancias prioritarias para los monitoreos de calidad de sedimentos y para la determinación de umbrales propios de Colombia.
- Apéndice G - Abreviaturas y acrónimos

2 Contexto general sobre sedimentos y sustancias en el canal de acceso a la zona portuaria de Barranquilla



Capítulo 2 – Resumen Ejecutivo

Los puntos clave de este capítulo son:

- Presenta la importancia de evaluar la calidad química de los sedimentos en las zonas de dragado y la relevancia de las directrices de calidad de sedimentos (DCS) para evaluar los riesgos por contaminación en el puerto de Barranquilla, Colombia.
 - Las entidades implicadas en el mantenimiento del canal de acceso son: Cormagdalena, entidades de control, contratista, Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA), Dirección General Marítima (DIMAR), y Asociación de Sociedades Portuarias (Asoportuaria)
 - El canal de acceso del puerto de Barranquilla está subdividido en 4 sectores de intervención; el volumen del material dragado por año varía por sector.
 - El río Magdalena tiene una de las tasas de transporte de sedimentos más altas del mundo. En estos sedimentos se pueden transportar sustancias preocupantes tanto al canal de acceso como al mar, las cuales son tanto orgánicas como minerales.
-

2.1 Características del canal de acceso

Para acceder a la zona portuaria de Barranquilla, las embarcaciones requieren cruzar dos sectores con diferentes características de navegación. El primer sector corresponde a un canal marítimo de enfilación (ver línea verde en la Figura 2-1), el cual es indicado por las guías/boyas marítimas existentes a partir del extremo norte del Tajamar occidental del Río Magdalena. El segundo sector corresponde a un canal de acceso fluvial de 22 km, que inicia al norte con el Tajamar occidental, y conecta directamente con la zona portuaria. Además, al oeste del canal marítimo de enfilación se localiza la zona de depósito autorizada por la autoridad marítima nacional (DIMAR), para el vertimiento de los materiales dragados (Figura 2-1 y Figura 2-2).



Figura 2-1: Ubicación del canal marítimo de enfilación y del canal fluvial de acceso a la zona portuaria de Barranquilla (Elaboración propia)

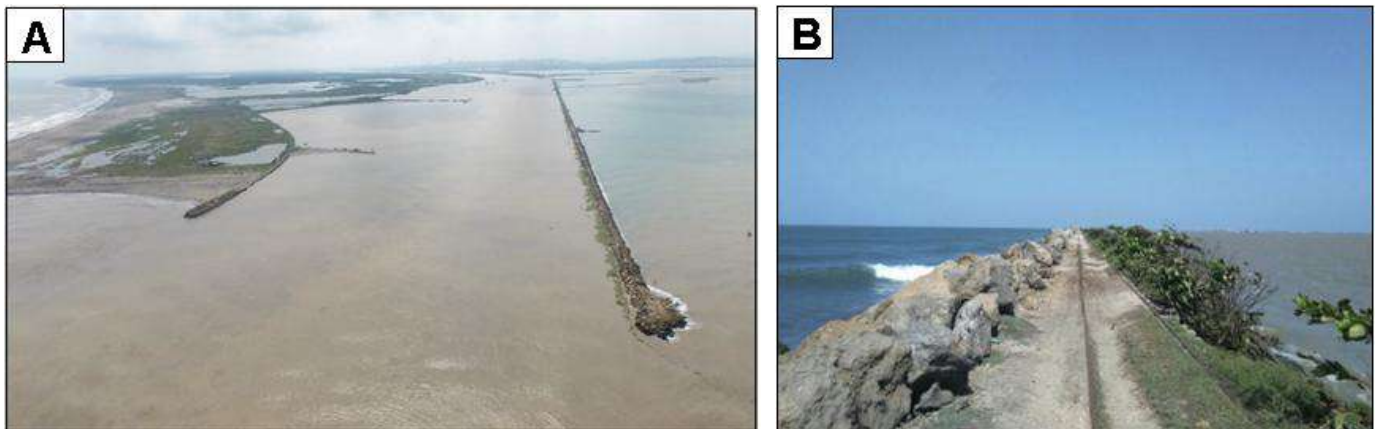


Figura 2-2: A. Vista aérea de la entrada al canal de acceso fluvial, delimitada a la derecha de la imagen por el tajamar occidental donde inicia el canal de acceso (Fuente: Consorcio Estudio Canal de Barranquilla, 2020). B. Vista hacia el norte desde el tajamar occidental (mar a la izquierda y río Magdalena a la derecha (Fuente: Google Maps).

El desarrollo de ambos canales de acceso se ha consolidado a través de 22 concesiones portuarias en la margen occidental del río Magdalena, que ofrecen diversas opciones para la movilización de carga especializada y multimodal. Adicionalmente, el área metropolitana de la ciudad de Barranquilla cuenta con una serie de sitios industriales y seis (6) zonas francas que estimulan el desarrollo regional.

El informe sobre estimación de volúmenes de dragado en el río Magdalena con pronósticos de cantidades entre el año 2024 y 2026, realizado por el centro de investigación e ingeniería de Cormagdalena, analiza las características hidrológicas, geomorfológicas y sedimentológicas del río, así como la variabilidad climática y su incidencia en la acumulación de sedimentos. Este documento describe desde una perspectiva hidrosedimentológica, que el río Magdalena presenta una dinámica de transporte excepcional a nivel global, con una producción específica de sedimentos de 661.5 Ton/año/km², una cifra sustancialmente superior a la de otros grandes sistemas fluviales como el Yangtze (105.8), el Danubio (82.7), el Mississippi (68.45) y el Rin (27.0)¹. Entidades involucradas y marco de gobernanza en las actividades de dragados de mantenimiento

2.2 Entidades involucradas y marco de gobernanza en las actividades de dragados de mantenimiento

De conformidad con el artículo 12 de la Ley 105 de 1993, el Puerto de Barranquilla es una infraestructura de transporte, de propiedad del Estado y a cargo del Ministerio de Transporte, que de acuerdo con los derechos otorgados por el parágrafo del artículo 34 de la Ley 1ª de 1991, debe ser construida, conservada y mantenida con recursos del Gobierno Nacional. Ante el creciente interés nacional de consolidar el Proyecto de Recuperación de la Navegabilidad del Río Magdalena, el Gobierno Nacional ha identificado a través del Ministerio de Transporte y Cormagdalena la necesidad de realizar intervenciones sobre el Río Magdalena y su canal navegable, con el fin de garantizar condiciones adecuadas y sostenibles de navegación, y de optimizar costos.

Para garantizar la navegabilidad del canal de acceso al Puerto de Barranquilla, asegurando condiciones seguras de navegabilidad y operación portuaria, se hace necesario implementar dragados de mantenimiento en este canal. Estos dragados se han realizado entre el kilómetro -K2-800 (boya de mar hipotética) y el K21+750 (Puente Pumarejo), mediante dragado hidráulico con draga tolva de succión en marcha.

A continuación, se relacionan las entidades involucradas en las actividades de dragado de mantenimiento del canal de acceso:

- **Cormagdalena:** Institución encargada de los procesos licitatorios de obra pública (incluido el dragado), y de gestionar el proyecto de mantenimiento del tramo navegable del canal de acceso.
- **Interventoría:** Responsable de la supervisión integral del cumplimiento del contrato de dragado (aspectos técnicos, administrativos, financieros y ambientales, entre otros).
- **Contratista:** Responsable de la ejecución del dragado de mantenimiento en el canal de acceso, de acuerdo con las condiciones y especificaciones establecidas en el contrato.
- **Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA):** Institución regional encargada de decidir cuándo es viable el plan de manejo ambiental (PAGA)², así como de decidir cuándo se otorga la licencia ambiental, para la ejecución de obras públicas, incluido el dragado. Una vez aprobada la licencia ambiental por la CRA, ésta se comunica a la DIMAR.
- **Dirección General Marítima (DIMAR):** Autoridad marítima nacional responsable de otorgar los permisos para el tránsito y permanencia de embarcaciones y equipos para las actividades de dragado y relimpia en el canal de acceso.

¹ Fuentes: La variabilidad de los grandes ríos aluviales (Schumm & Winkley, 1994); River Discharge to the Coastal Ocean (Milliman & Arnsworth, 2011).

² Plan de manejo ambiental para proyectos que no requieren licencia ambiental, el cual aplica a los contratos de dragado de mantenimiento. Este tipo de plan se conoce como Plan de Adecuación a la Guía Ambiental (PAGA), y dicho nombre se debe a que el plan se basa en la Guía de manejo ambiental para proyectos de infraestructura en áreas marítimas y fluviales (INVIAS, 2022).

- **Asociación de Sociedades Portuarias (Asoportuaria):** Asociación de sociedades portuarias y usuarios de la vía navegable, que representa sus intereses relacionados con el transporte de carga para exportaciones e importaciones.

De acuerdo con las funciones de cada entidad, en la Figura 2-3 se representa el procedimiento necesario para autorizar el inicio de un contrato de dragado de mantenimiento en el canal de acceso, mediante dragado hidráulico.

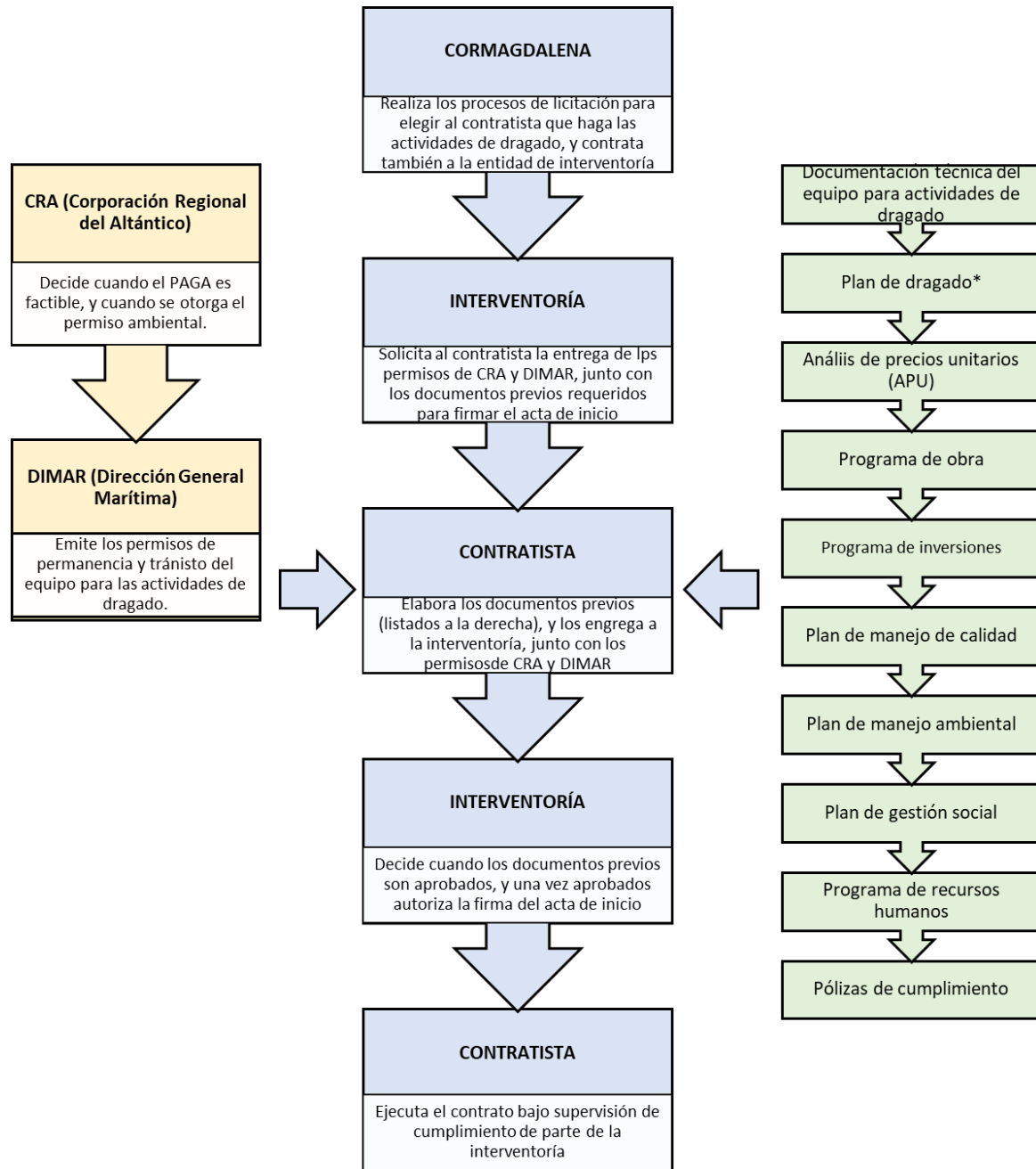


Figura 2-3: Procedimiento para autorizar el inicio de un contrato de dragado de mantenimiento en el canal de acceso fluvial (Elaboración propia).

* El plan de dragado es un documento técnico que presenta un resumen del contrato y explica los aspectos metodológicos y operativos. Incluye la descripción de la metodología de levantamiento batimétrico, la metodología y procesos de ejecución del dragado, las características del tipo de draga a utilizar, el plan de comunicaciones, el plan de tráfico, el plan de señalización y el cronograma de dragado. Este último está sujeto a cambios frecuentes en función de las condiciones hidráulicas e hidrológicas y de los resultados de las batimetrías de seguimiento/control.

2.3 Profundidades de dragado de mantenimiento y volúmenes de material dragado

Cormagdalena tiene en cuenta una subdivisión del canal de acceso en cuatro sectores de intervención. Cada sector tiene condiciones particulares de navegabilidad, incluyendo una profundidad máxima del canal que puede ser alcanzada en las actividades de dragado, desde la superficie del agua hasta el lecho. Según el contrato de dragado de mantenimiento de 2025, las características de navegabilidad de cada sector son las mencionadas en la Tabla 2-1 (ver también Figura 2-4).

Tabla 2-1: Condiciones de navegabilidad por sector (Fuente: Cormagdalena).

Sector	Km Intervalo	Profundidad máxima del canal (m)	Anchura del canal (m)	Descripción
I	-K2-800 a K02+000	13.7	Comienza con 315 m en -K2-800 y finaliza con 200 m en K0+000	Sector con fuertes vientos y olas que influyen en la hidrodinámica. Se localizan algunas barras como resultado del crecimiento del bajo submareal en el este.
II	K02+000 a K8+000		200	Sector con la hidrodinámica determinada por la interacción entre el Mar Caribe y el Río Magdalena. Normalmente en la zona se presentan algunas barras que reducen la profundidad del canal de acceso. Estas barras son recurrentes y requieren intervención inmediata en cuanto se presentan.
III	K08+000 a K16+000		150	Zona inminentemente fluvial con incidencia de algunas afecciones generadas por el oleaje. Debido a la cuña salina que entra durante los caudales bajos y otras condiciones especiales, existe una dinámica que requiere dragado.
IV	K16+000 a K21+750	12.0		Zona fluvial que requiere una vigilancia constante.

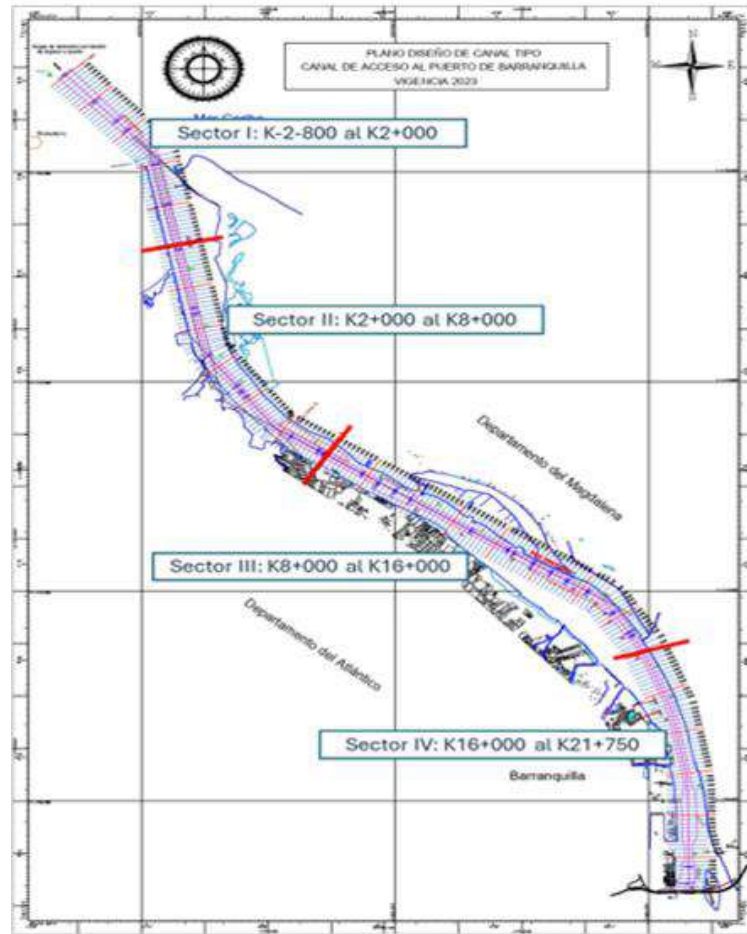


Figura 2-4: Sectores de intervención del canal de acceso (Fuente: Cormagdalena).

La información de volúmenes ha sido reportada por los contratistas de Cormagdalena encargados de realizar los dragados de mantenimiento. Entre 2022-24, la información reportada por año muestra que los volúmenes dragados totales disminuyeron de un año a otro, y en cuanto a la distribución por sectores, se han realizado más dragados en el sector I (66,8% en 2022, 45,8% en 2023 y 61,6% en 2024) (Figura 2-5). Las diferencias de volúmenes totales dragados y de distribución por sectores, dependen de decisiones operativas y cambios en la dinámica sedimentaria; se han requerido más dragados en el sector I debido a la influencia de la deriva litoral y la cuña salina en la desembocadura.

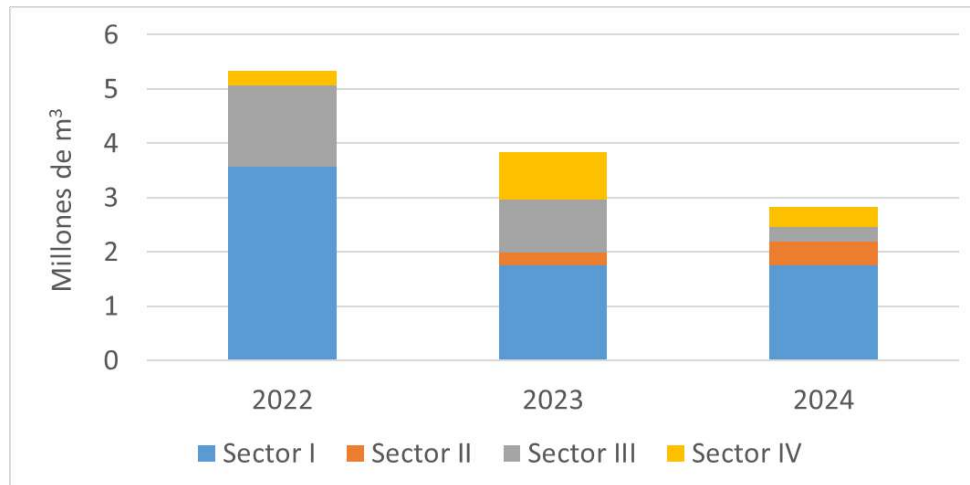


Figura 2-5: Volumen de material dragado en cada sector del canal de acceso, entre 2022-24 (Elaborado a partir de datos de Cormagdalena)

El contrato más reciente, entre noviembre/2024 y marzo/2025 mostró que la mayor parte del dragado se realizó en el sector I, y el volumen de material dragado que está pendiente por dragar corresponde a un 64.3% del volumen total acordado en el contrato (Tabla 2-2 y Figura 2-5).

Tabla 2-2: Volumen total de material dragado en cada sector del canal de acceso, entre Nov/2024-Mar/2025, y volumen pendiente de dragar durante el resto del contrato 2024-25 (Fuente: Elaborado a partir de datos de Cormagdalena).

Sector	Km intervalo	Volumen (m³)	Fracción del total
I	K-2-800 a K2+000	914.337,97	19.4%
II	K2+000 a K8+000	323.494,00	6.9%
III	K8+000 a K16+000	150.377,00	3.2%
IV	K16+000 a K21+750	294.566,00	6.2%
Total dragado entre nov/2024 y mar/2025		1'682.774,97	35.7%
Volumen pendiente de dragar durante el resto del contrato		3'031.176,00	64.3%

La información sobre costos por volúmenes dragados en los contratos que se han realizado entre 2022-25, se analizará en el informe del elemento 5 de este contrato de consultoría.

2.4 Sustancias en los sedimentos

Para entender el origen de las sustancias en los sedimentos del canal de acceso al puerto de Barranquilla, es necesario considerar no sólo las fuentes cercanas, sino también las sustancias transportadas a través de la red hidrográfica aguas arriba. Esta red corresponde a la cuenca hidrográfica del río Magdalena, la cual tiene un área de 271054 km² (24% de la superficie terrestre de Colombia)³. Esta cuenca incluye las cuencas de los ríos San Jorge, Cauca y Cesar, los cuales tributan al río Magdalena en el delta interno de la Depresión momposina (complejo cenagoso). Aguas abajo de esta depresión, parte del agua desemboca en el canal del Dique que desemboca cerca

³ [Zonas Hidrográficas de Colombia - Overview](#)

de la ciudad de Cartagena de Indias, mientras que la mayor parte del agua continúa como río Magdalena hasta su desembocadura en "Bocas de Ceniza", cerca de la ciudad de Barranquilla (Figura 2-6).

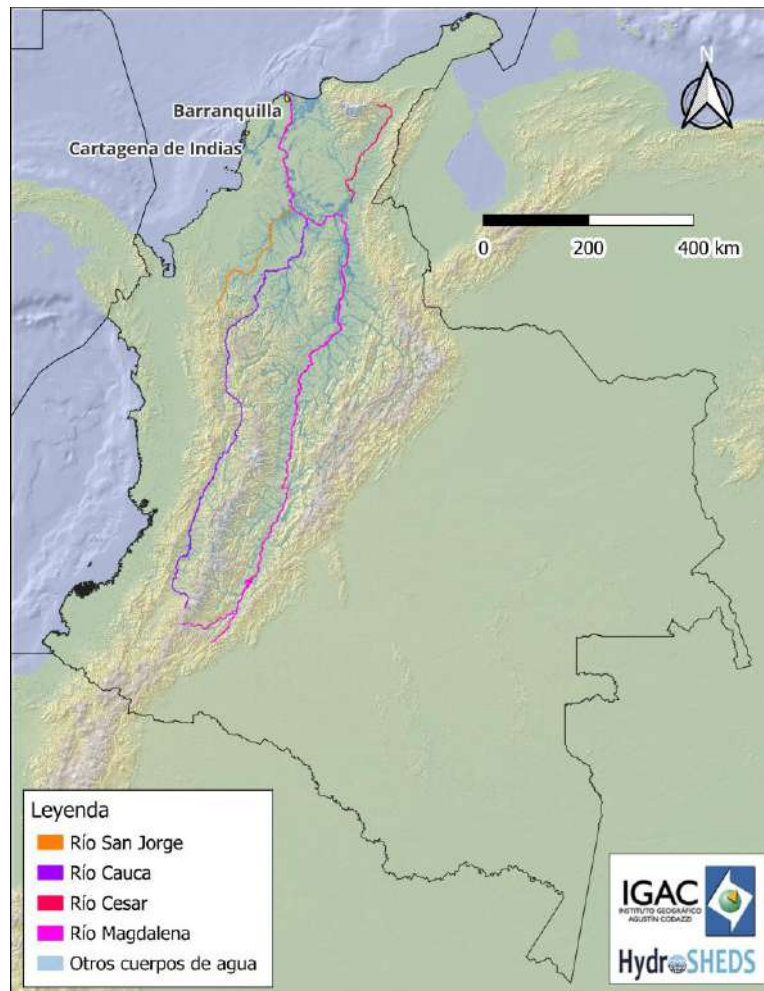


Figura 2-6: Red hidrográfica en las cuencas de los ríos San Jorge, Cauca, Cesar y Magdalena (Mapa elaborado con QGIS, utilizando cartografía IGAC de ríos principales y cartografía HydroSHEDS de otros caudales).

Cerca del 80% de la población asentada en Colombia se localiza en el área conformada por las cuencas hidrográficas de los ríos San Jorge, Cauca, Cesar y Magdalena, donde se desarrollan diferentes actividades humanas (uso doméstico del agua, agricultura, minería, refinación de petróleo, industria y construcción) (Cormagdalena, 2007; IDEAM, 2023). Debido a los niveles de erosión hídrica en estas cuencas, partículas de suelo son transportadas a través de los flujos de agua y posteriormente son depositadas como sedimentos en el fondo de los cuerpos de agua aguas abajo (IDEAM, 2023). El Río Magdalena representa la mayor fuente de aporte de sedimentos al Mar Caribe; descarga 560 t/km² de sedimentos cada año, siendo una de las tasas de transporte de sedimentos más altas del mundo, y la más alta de Suramérica (Restrepo et al., 2006).

Las sustancias derivadas de los insumos utilizados en las actividades humanas llegan a los ecosistemas acuáticos aguas abajo, debido a la escorrentía en los campos agrícolas, los flujos residuales de las actividades mineras y de extracción de hidrocarburos, y la descarga directa de aguas residuales municipales e industriales (algunas regiones carecen de tratamiento de aguas residuales) (Tejeda-Benitez et al., 2018; IDEAM, 2023). Teniendo en cuenta que las sustancias mencionadas en los ecosistemas acuáticos son retenidas por el material particulado en suspensión, el cual luego se deposita como sedimento, el impacto de estas sustancias transportadas a través del río Magdalena es preocupante. Por un lado, las sustancias ingresan a la cadena trófica a través de la alimentación de la fauna bentónica y bentopelágica, o por absorción desde el agua de poro o el sedimento, y posteriormente estos residuos se

acumulan en peces y otros organismos (Tejeda-Benitez et al, 2016; 2018); por otro lado, la desaparición de arrecifes coralinos en el mar Caribe se ha atribuido al aporte de sedimentos del río Magdalena (Restrepo y Syvitski, 2006; Moreno-Madriñán et al., 2015).

Las sustancias preocupantes son algunos compuestos orgánicos y minerales. En Colombia, los minerales de preocupación incluyen algunos metales pesados y metaloides, mientras que los compuestos orgánicos de preocupación incluyen hidrocarburos de petróleo, plaguicidas, bifenilos policlorados (PCBs) y asbesto⁴. Algunos sitios contaminados en Colombia con estas sustancias han sido identificados por el Programa de Identificación de Sitios Tóxicos (TSIP), entre otros (IDEAM, 2023). Adicionalmente, los microplásticos y los microorganismos fecales también han sido motivo de preocupación en los ecosistemas costeros de Colombia (INVEMAR, 2024), sin embargo la abundancia de estos componentes no ha sido reportada en los sedimentos del canal de acceso al puerto de Barranquilla.

Los minerales que se han reportado en sedimentos del canal de acceso incluyen los metales pesados zinc (Zn), cobre (Cu), cromo (Cr), plomo (Pb), cadmio (Cd), níquel (Ni) y mercurio (Hg), así como el arsénico (metaloides) (Tejeda-Benítez et al., 2016 y 2018; INVEMAR y CRA, 2024; Cormagdalena); los riesgos de toxicidad por estos minerales se describen en la Sección 4.3 del Informe 2 de esta consultoría. A pesar de que estos metales suelen presentarse en cantidades muy bajas en ambientes naturales, se han reportado concentraciones preocupantes de estos elementos en sedimentos de regiones dentro de las cuencas de los ríos Cauca y Magdalena (Servicio Geológico Colombiano, 2020). Ha habido especial preocupación por el Cd en una región ubicada al occidente de la cordillera oriental, en jurisdicción de los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Santander, donde se reportaron altas concentraciones de este metal en suelos de cultivos de cacao (Bravo et al., 2021).

Además de las fuentes naturales de los metales arriba mencionados, su presencia en sedimentos también se ha atribuido a residuos derivados de actividades antrópicas. A nivel mundial, la minería de oro y la combustión de carbón son las principales fuentes antrópicas de Hg que llega a los ecosistemas acuáticos, y el Cr se utiliza en las industrias metalúrgicas y de curtido de pieles (Rahman & Singh, 2019). Adicionalmente, en general los metales pesados hacen parte de la composición de pinturas, soldaduras, bombillos, baterías, y dispositivos electrónicos⁵. En Colombia, algunos residuos de pinturas terminan en aguas residuales, y algunos de los otros productos terminan degradados en rellenos sanitarios, desde donde los residuos son transportados a través de flujos de agua hasta los ríos.

Los compuestos orgánicos que se han registrado en los sedimentos del canal de acceso son hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y plaguicidas. Según Tejeda-Benítez et al. (2018), las principales fuentes antropogénicas de HAPs son el petróleo crudo y refinado, y la combustión incompleta de combustibles fósiles y biomasa; algunos HAPs vertidos en aguas residuales no tratadas son adsorbidos por partículas en suspensión y se depositan en los sedimentos aguas abajo. Los HAP se consideran cancerígenos, mutágenos y disruptores endocrinos, y han sido motivo de preocupación en el río Magdalena tras derrames de petróleo procedentes de algunas actividades de extracción de petróleo, y otros derrames tras rupturas de oleoductos por parte de comerciantes ilegales y bandas criminales.

En cuanto a plaguicidas, a nivel mundial Colombia fue en 2022 el 9° país con mayor uso de plaguicidas, y el mayor usuario por área de cultivos (FAO, 2024). Entre 2017-21, los plaguicidas más usados en el país fueron los organofosforados (30,8%), el ácido fosfónico (18,2%), los compuestos clorados (13,1%) y los piretroides (10,7%), entre otros, incluyendo los organoclorados (tras su prohibición nacional en 2001, entre 2013-16 su uso disminuyó de 3,8% a 1,6%). Según la clasificación de plaguicidas por peligrosidad, hecha por la Organización Mundial de la Salud (OMS), en 2020 la mayoría de los plaguicidas utilizados (57,1%) eran moderadamente peligrosos, y el 5,9% eran de alta a extremadamente peligrosos. Los ingredientes activos más utilizados en Colombia son mancozeb, 2,4-D, glifosato, paraquat, imidacloprid y clorpirifos; los tres primeros son considerados como probablemente cancerígenos para el ser humano, el paraquat está asociado a la enfermedad de Parkinson, el imidacloprid y el glifosato afectan a las abejas, y el clorpirifos induce daño neurológico (IDEAM, 2023).

Para evaluar el nivel de contaminación de cada sustancia en sedimentos de zonas costeras de Colombia, entidades como INVEMAR y Cormagdalena han tomado referencia de los umbrales de calidad de sedimentos indicados en Buchmann (2008), los cuales son umbrales de EEUU, Canadá y Países Bajos. Adicionalmente, investigadoras de Colombia y Corea del sur compararon umbrales de Corea del Sur, Hong Kong, Bélgica, Reino Unido y Florida

⁴ [Gestión Sustancias Químicas – Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible](#)

⁵ [Gestión Sustancias Químicas - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible](#)

(EEUU), con concentraciones de metales pesados, HAPs y PCBs, reportadas en sitios costeros de la región Caribe de Colombia (González-Cano & Kyoungrean, 2022). Las autoras hicieron este trabajo con el objetivo de evaluar la posibilidad de hacer uso de sedimentos marinos, lo cual es un objetivo similar al de este entregable, que es más específico ya que consiste en hacer el mismo tipo de evaluación, pero para los sedimentos del canal de acceso al Puerto de Barranquilla. Esta evaluación que se presenta a continuación se basa en comparaciones con umbrales de Brasil y Florida (EEUU), por ser regiones con condiciones ambientales similares a las de Colombia, para las cuales se han determinado umbrales de calidad de sedimentos.

3 Calidad física y química de sedimentos en el canal de acceso a la zona portuaria de Barranquilla



Capítulo 3 – Resumen Ejecutivo

En este capítulo se describen características de calidad física de los sedimentos, y en cuanto a calidad química se comparan las concentraciones de sustancias reportadas por las entidades colombianas, con los respectivos umbrales incluidos en las Directrices de calidad de sedimentos (DCS) de Florida, Brasil y Países Bajos.

Los puntos clave son:

- Diferentes entidades (INVEMAR, Cormagdalena y la Universidad Cartagena) han reportado la información de calidad física y química de los sedimentos.
 - Sustancias minerales (Metales pesados y arsénico): las concentraciones reportadas estuvieron por debajo de los respectivos niveles 1 de umbrales neerlandeses, tanto para ecosistemas de agua dulce como para ecosistemas costeros. En relación con umbrales de Florida y Brasil, para algunas sustancias no es aún posible determinar si sus concentraciones están por encima o debajo de estos umbrales, ya que estas concentraciones son inferiores a los niveles de cuantificación de los equipos de laboratorio, y los umbrales de estas sustancias son inferiores a tales umbrales.
 - Sustancias orgánicas: De este tipo de sustancias solo se han determinado las concentraciones de algunos plaguicidas y de algunos hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP).
-

Esta sección se basa en la información de calidad física y química de los sedimentos, generada por contratistas de Cormagdalena, el INVEMAR, y UniCartagena. Mientras que el objetivo del INVEMAR es apoyar a la CRA en el monitoreo del estado de salud de los ecosistemas costeros, los contratistas de Cormagdalena han generado dos tipos de información: 1) Reportes de granulometría de los sedimentos, previos a las actividades de dragado de mantenimiento; 2) Monitoreo de calidad ambiental, requerido como parte del plan de manejo ambiental de cada contrato de actividades de dragado de mantenimiento⁶. El tipo de información reportada por las entidades mencionadas se muestra en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1: Tipo de información de calidad física y química de sedimentos en sitios del canal de acceso, a partir de actividades de monitoreo de Cormagdalena e INVEMAR, e investigaciones de UniCartagena.

				Cormagdalena	INVEMAR	UniCartagena	
CALIDAD FÍSICA				Granulometría	●	●	
				Contenido de materia orgánica (%)	●	●	
CALIDAD QUÍMICA	Concentraciones de sustancias	Minerales	Metales traza	●	●	●	
			Arsénico			●	
			Otras sustancias minerales	●			
		Organometálicas	Tributilestaño (como estaño)				
			Orgánicas	Hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs)		●	●
		Plaguicidas				●	
	Otras características químicas		pH	●		●	

El monitoreo de INVEMAR ha sido realizado en el sitio "Aguas Abajo Base Naval (CRA - 17)", donde el último muestreo se realizó después de 13 meses de no haberse realizado el dragado. Por su parte, el monitoreo de calidad ambiental de Cormagdalena se ha hecho en cuatro sitios, en los cuales se ha realizado dragado Tabla 3-1 en 3.1.1^[Obj] y la información de UniCartagena fue obtenida a partir de muestreos en una ubicación cercana a la zona portuaria. Dado que la información de UniCartagena corresponde a estudios del río Magdalena, la ubicación reportada no se ve con suficiente precisión a la escala del mapa en la Figura 3-1, por lo cual se descartó el mostrar tal ubicación en esta figura.

En cuanto a los métodos de muestreo, mientras que el INVEMAR (2024) menciona que se han seguido los lineamientos de INVEMAR (2003), los contratistas de Cormagdalena han seguido los lineamientos de IDEAM & INVEMAR (2021). Sin embargo, ambos documentos de lineamientos describen varias herramientas de muestreo, por lo que se desconoce cuáles herramientas se han utilizado para la toma de muestras. Además, se desconoce el intervalo de profundidad de muestreo y el número de submuestras en los muestreos de ambas instituciones. Por su parte, UniCartagena ha realizado el muestreo recogiendo cuatro (4) submuestras en cada lugar de muestreo, con una cuchara Van Veen, y después las submuestras se mezclan para obtener aproximadamente 1 kg de muestra compuesta (el intervalo de profundidad de una muestra recogida con la cuchara Van Veen utilizada por UniCartagena también se desconoce).

⁶ Plan requerido en los proyectos que no requieren licencia ambiental. Este plan también se conoce como Plan de Adecuación a la Guía Ambiental (PAGA), el cual se basa en la Guía de manejo ambiental para proyectos de infraestructura en áreas marítimas y fluviales, elaborada por el INVIAS (2022).

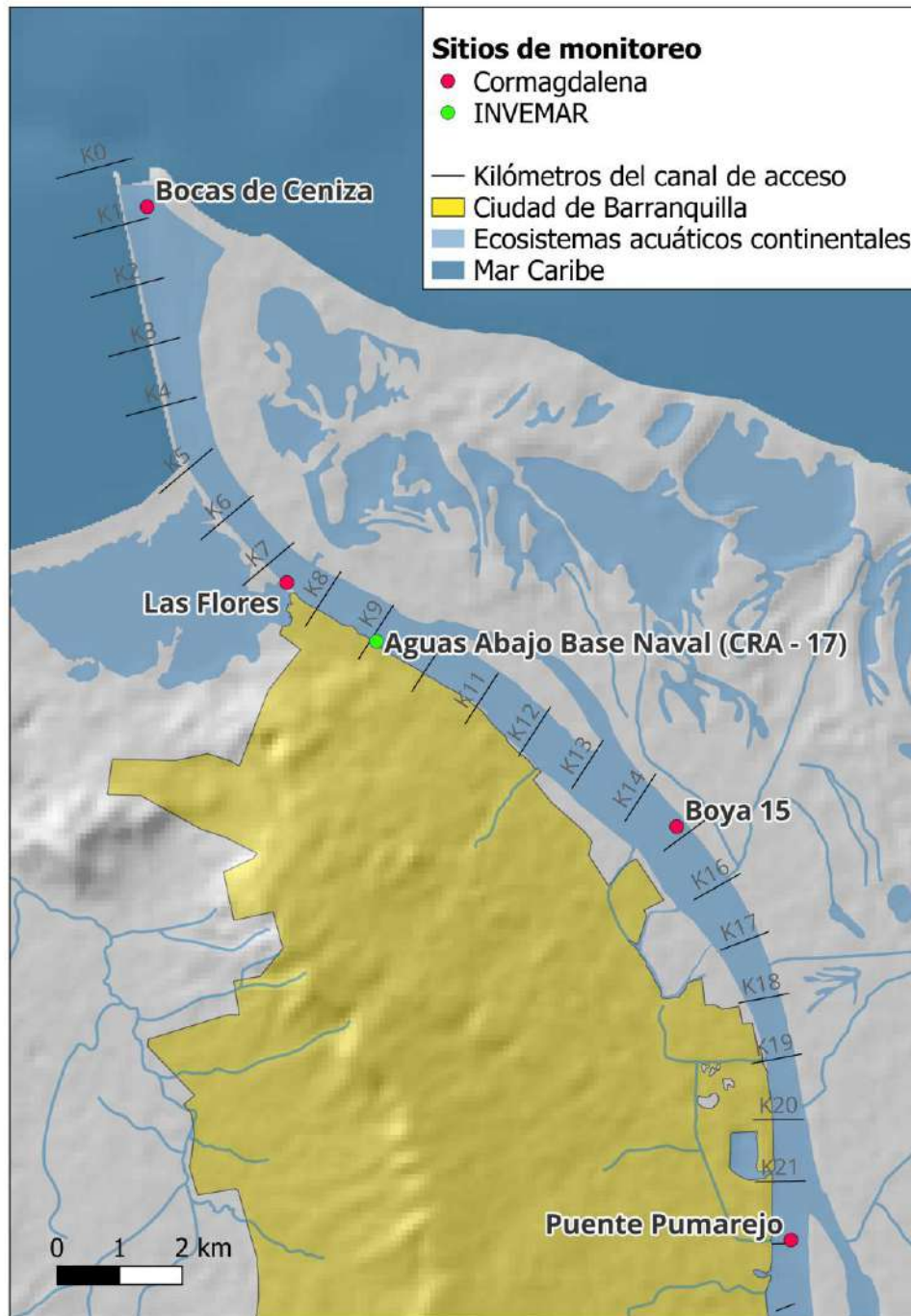


Figura 3-1: Sitios donde INVEMAR y contratistas de Cormagdalena han hecho monitoreo de la calidad física y química de los sedimentos (Mapa elaborado con QGIS, utilizando cartografía IGAC e información de coordenadas geográficas de INVEMAR y Cormagdalena).

3.1 Calidad física

3.1.1 Granulometría

La información de granulometría⁷ que se describe en esta sección corresponde a reportes hechos por INVEMAR y contratistas de Comagdadena, entre marzo/2023 y septiembre/2024. Mientras que la información de INVEMAR fue obtenida a partir de muestreos hechos en la ubicación de la Figura 3-1, las ubicaciones de los muestreos hechos por contratistas de Cormagdadena están indicadas en el Apéndice A.

Adicionalmente, se menciona a continuación la metodología utilizada por cada entidad para la determinación de la granulometría de los sedimentos:

- INVEMAR: Aplicó el método gravimétrico con dispersión mediante hexametafosfato de sodio y cribado en tamices, conforme a la referencia técnica Dewis y Freitas (1984).
- Contratista de Cormagdadena: Empleó la técnica de tamizado, siguiendo la Norma Técnica Colombiana NTC 1522 (1979). Este procedimiento fue ejecutado por el subcontratado en zonas costeras.

La información de los contratistas de Cormagdadena se reportó como los porcentajes de materiales que pasaron por varios tamices de diferentes tamaños de malla. A partir de esta información se calcularon los materiales de tamaños inferiores a 75- μm , entre 75 y 2000 μm , y superiores a 2000 μm , para describir la concentración aproximada de "limo y arcilla", de arena y de grava, respectivamente. INVEMAR por su parte reportó los porcentajes de lodo ("limo y arcilla" / <63 μm), y de arena, en muestras de sus monitoreos hechos cada septiembre en el sitio conocido como "Base Naval Aguas Abajo (CRA - 17)", ubicado en el sector III del canal de acceso.

- De esta información reportada por Cormagdadena e INVEMAR entre marzo/2023 y septiembre/2024, la mayor parte corresponde al sector I del canal de acceso (15 reportes de granulometría, de 26). De estos 15 en el sector I, 9 reportaron concentraciones de "limo y arcilla" superiores al 75%, de lo cual se puede suponer que en este sector son más comunes los limos o materiales más finos.
- El sector II fue representado por tres reportes de sedimentos con una concentración de limo y arcilla superior al 70%.
- El sector III fue representado por cinco reportes. En tres de ellos, la concentración de limo y arcilla fue superior al 74%, y en los otros dos la concentración fue de 54,1% y 6,0%.
- El sector IV fue representado por tres reportes con concentraciones de "limo y arcilla" de 89,2%, 23,6% y 10,8%.

Dados los pocos reportes en los sectores II, III y IV, esta información no permite identificar qué granulometría es dominante en cada sector; sin embargo, se puede suponer que en el sector II el limo o material más fino (<63 μm) podría ser dominante, como es la condición en el sector I. En cuanto a los contenidos de grava, estos fueron inferiores al 0,5% en todos los 26 reportes (Figura 3-2 y Apéndice A).

⁷ Distribución de partículas minerales del suelo y sedimentos, según su clasificación por tamaño (arcilla, limo, arena, grava y partículas más gruesas).



Figura 3-2: Granulometría de sedimentos en cada sector de intervención del canal de acceso, entre Mar/2023-Sep/2024 (Elaborado a partir de datos de INVEMAR (IN) y Cormagdalena (CO)).

Se esperaba que en los sedimentos del sector I predominaran los limos de material más fino, teniendo en cuenta la influencia de la deriva litoral en la reducción del caudal fluvial en la desembocadura del río Magdalena, por tanto permitiendo que el material más fino se depositara. Por otro lado, en comparación con los métodos aplicados por Cormagdalena e INVEMAR para determinar la granulometría, para el análisis de la calidad química de los sedimentos se requiere distinguir los contenidos de arcilla (<2 µm) y limo (2-63 µm), ya que la fracción arcillosa está relacionada con la biodisponibilidad de sustancias. Las recomendaciones sobre cómo determinar los contenidos de limo y arcilla se presentan en la sección 6.3.1.




3.1.2 Contenido de carbono orgánico

La información de contenido de carbono orgánico (%) corresponde a reportes hechos por INVEMAR en septiembre de 2024 y 2023, y al reporte de monitoreo de calidad ambiental hecho por el contratista de Comagdalena en marzo 2024 (en marzo 2023 el contratista no incluyó en esta actividad de monitoreo la determinación de contenido de carbono orgánico).

Mientras que los datos de Cormagdalena muestran una variación irregular del contenido de carbono orgánico a lo largo del canal, la información del sitio de monitoreo de INVEMAR muestra que de 2023 al 2024 el contenido tuvo una leve disminución (Tabla 3-2). Dado que el contenido de carbono orgánico no es una variable tenida en cuenta en las DCS de otros países, en esta sección se evalúan los contenidos de carbono orgánico en términos de potencial del uso del sedimento dragado como enmienda para el suelo en agricultura. De acuerdo a las consideraciones generales para interpretar análisis químicos de suelos en clima cálido, de la subdirección de Agrología del Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC (Colombia), estos contenidos son considerados como bajos (Tabla 3-2).

Tabla 3-2: Contenido de carbono orgánico (%) en los sitios de monitoreo de calidad ambiental de Cormagdalena, y en el sitio de monitoreo de INVEMAR.

	Contratistas de Cormagdalena encargados de los dragados de mantenimiento				INVEMAR (REDCAM)	
	Puente Pumarejo	Boya 15	Las Flores	Bocas de Ceniza		
Mar/2024	0.91	1.12	0.56	0.83	Sep/2024	0.87
Mar/2023	-	-	-	-	Sep/2023	0.95

	Bajo (<1.2)		Medio (1.2-2.3)		Alto (>2.3)
--	-------------	---	-----------------	---	-------------

3.2 Calidad química en relación con los umbrales de Florida, Brasil y Países Bajos

Esta sección se basa en los reportes de monitoreo de los contratistas de Cormagdalena, a partir de muestras recolectadas en marzo de los años 2020, 2023 y 2024, y los reportes de monitoreo de INVEMAR a partir de muestras de septiembre de 2023 y 2024⁸. En cuanto a los datos de UniCartagena, por corresponder a muestras recolectadas entre los años 2013-14, estos sirvieron para complementar los datos de Cormagdalena e INVEMAR, o para describir información que no ha sido determinada por estas instituciones.

La información sobre la calidad química de los sedimentos reportada por estas entidades colombianas fue comparada con las directrices de calidad de sedimentos (DCS) de Florida, Brasil y Países Bajos, tanto para ecosistemas de agua dulce como para los costeros, y de esta manera fue posible discutir en el capítulo 4 cuáles sustancias son de preocupación. Teniendo en cuenta el interés emergente de conocer si los materiales dragados en el canal de acceso pueden ser utilizados como insumos para implementar Soluciones basadas en la naturaleza (SbN), es necesario identificar los riesgos de contaminación al esparcir los materiales dragados en ecosistemas de agua dulce y en ecosistemas costeros. Además, como los materiales dragados en el canal de acceso se han vertido en una zona de depósito marino, también es necesario evaluar el riesgo de contaminación en esta zona (véase la discusión en el capítulo 4).

Los umbrales de las DCS para los ecosistemas costeros de Florida, Brasil y los Países Bajos están mencionados en la Tabla 4-1 del informe del elemento 2 de esta consultoría. En dicho informe se escogieron las DCS de Florida y Brasil por ser robustas y por corresponder a regiones con condiciones ambientales similares a las de Colombia, y las DCS de Países Bajos son de interés para la comparación, teniendo en cuenta el enfoque de Partición de equilibrio que este país implementó en su marco de Ponderación de pruebas para establecer sus DCS. Al igual que las DCS para ecosistemas costeros de estas regiones/países, las DCS de Florida para ecosistemas de agua dulce también se hicieron con base en marcos analíticos orientados a evaluar riesgos de biodisponibilidad y toxicidad para los organismos, mientras que los umbrales de Brasil para este tipo de ecosistemas son adoptados de DCS de EEUU y Canadá.

En el elemento 2 de esta consultoría se menciona que las DCS se basan en dos niveles de concentración para cada sustancia. El nivel 1 indica una concentración por debajo de la cual se espera que los efectos negativos sobre los organismos que habitan en los sedimentos sean insignificantes o poco frecuentes, mientras que el nivel 2 significa una concentración por encima de la cual es probable que se produzcan efectos biológicos negativos o en el que existe una alta probabilidad de que se produzcan. El intervalo entre estos niveles es incierto en cuanto a la posibilidad de que se produzcan efectos nocivos, y para los casos que caen dentro de este intervalo más investigación es necesaria.

⁸ En 2020 INVEMAR no generó información, tal vez debido a limitantes por la etapa crítica de la pandemia por Covid-19.

3.2.1 Sustancias minerales

A continuación, las sustancias minerales se clasifican en las categorías de "Metales pesados y arsénico" y "Otras sustancias minerales".

Metales pesados y arsénico

Los metales pesados para los cuales las entidades colombianas han determinado sus concentraciones en sedimentos del canal de acceso, son zinc (Zn), cobre (Cu), cromo (Cr), mercurio (Hg), plomo (Pb), cadmio (Cd), níquel (Ni) y plata (Ag), y el arsénico (As) es el único metaloide para el cual también se han determinado concentraciones. Este conjunto de sustancias corresponde al 75% de los "Metales pesados y metaloides" incluidos en la Tabla 4-1 del reporte 2 de esta consultoría. Las concentraciones de estas sustancias han sido determinadas por contratistas de Cormagdalena, el INVEMAR y UniCartagena, mediante métodos similares. Estos métodos implican una digestión química de laboratorio con una solución ácida, con el fin de extraer la concentración potencialmente biodisponible de la sustancia⁹, y esta digestión es seguida por la cuantificación de la concentración a través de un dispositivo de espectrometría.

A partir de los datos de Cormagdalena se puede generalizar que entre marzo/2020 y marzo/2024 hubo una tendencia de aumento en la concentración potencialmente biodisponible de Zn, Cu y Cr, desde "Puente Pumarejo" hasta "Bocas de Ceniza" (Figura 3-3, Tabla 3-5 y Figura 3-7). Sin embargo, en marzo/2024 las concentraciones fueron mucho más bajas en "Las Flores", lo que parece extraño en comparación con las concentraciones de los sitios vecinos; de esto se puede suponer que en "Las Flores" el contratista de Cormagdalena en marzo/2024 pudo haber tenido un error en el procedimiento de muestreo (por ejemplo, parte de la muestra posiblemente diluida en el agua del río). Además, en Marzo/2024 las concentraciones de Zn y Cu en "Bocas de Ceniza" fueron menores que en "Boya 15"; para esto es necesario tener en cuenta que los sedimentos en "Bocas de Ceniza" fueron dragados 3.25 meses antes del muestreo, mientras que en "Boya 15" el último dragado se realizó 5.25 meses antes del muestreo. Sin embargo, es posible que una entrada de aguas residuales cercana a "Boya 15" también influyera en las mayores concentraciones de estos metales en este sitio (Figura 3-3 y Figura 3-5). Por otro lado, en el sitio de monitoreo de INVEMAR, las concentraciones de Zn, Cu, Cr y Mercurio (Hg) aumentaron de Septiembre/2023 a Septiembre/2024 (Figura 3-4, Figura 3-6, Figura 3-8 y Figura 3-10).

A continuación se pueden ver las descripciones de los casos en los que las concentraciones más recientemente reportadas para cada metal pesado y el arsénico, estuvieron por encima de los umbrales de nivel 1 de Florida y Brasil, para los ecosistemas de agua dulce y costeros (Apéndice B de este informe, y Tabla 4-1 del informe 2 de esta consultoría). Las DCS de Florida y Brasil para ecosistemas de agua dulce son respectivamente las de MacDonald et al. (2003) y la Resolución CONAMA 454/2012. En cuanto a los DCS de Brasil, mientras que las DCS para los ecosistemas costeros son las determinadas para las regiones de Ceará y Sao Paulo, los DCS para los ecosistemas de agua dulce se aplican a todo el país. En cuanto a los umbrales de los Países Bajos, las concentraciones reportadas de los metales pesados y arsénico estuvieron por debajo de los respectivos niveles 1, tanto para los ecosistemas de agua dulce como para los costeros (Apéndice E del informe 1 de esta consultoría).

Zinc (Zn)

Las concentraciones más recientes de Zn fueron reportadas por Cormagdalena e INVEMAR en 2024. Las concentraciones en los sitios de monitoreo de estas instituciones fueron inferiores a los umbrales de nivel 2 de Florida y Brasil para ecosistemas de agua dulce y costeros. Las concentraciones en "Boya 15" y en el sitio de monitoreo de INVEMAR, estuvieron entre los niveles 1 y 2 de Florida y Brasil (más cercanos al nivel 1), por tanto los materiales

⁹ La digestión química en química analítica consiste en añadir un volumen determinado de una solución ácida a una muestra, con el fin de extraer la concentración de la sustancia. Para una evaluación exhaustiva del riesgo de contaminación, y para determinar las directrices de calidad de los sedimentos, las soluciones ácidas a aplicar son aquellas que extraen la "concentración potencialmente biodisponible" de la sustancia (también llamada "concentración reactiva"). Algunas referencias de métodos de laboratorio mencionan que estas soluciones ácidas extraen la "concentración total" o la "concentración reactiva total", y para evitar confusión se sugiere que la concentración extraída se denomine "concentración potencialmente biodisponible". Mencionar "concentración total" puede confundir al lector con la "composición total de una muestra", que se determina destruyendo la muestra con ácido fluorhídrico (HF), o sin destruir la muestra mediante fluorescencia de rayos X (XRF). Esta composición total incluye la concentración de una sustancia dentro de los granos de arena, la grava y las partículas minerales (concentración que no es potencialmente biodisponible).

dragados en estos sitios podrían generar condiciones adversas si se vierten en ecosistemas de agua dulce, pero estas condiciones no son significativamente tóxicas (Figura 3-3a y Figura 3-4a).

Por otro lado, las concentraciones en todos los sitios de monitoreo estuvieron por encima del umbral de nivel 1 de Sao Paulo (Brasil) para ecosistemas costeros. Las concentraciones en "Boya 15" y el sitio de monitoreo de INVEMAR estuvieron entre los niveles 1 y 2 de Sao Paulo (más cerca del nivel 2), y entre los niveles 1 y 2 de Florida (más cerca del nivel 1) (Figura 3-3b y Figura 3-4b). Por tanto, si todos los materiales dragados tuvieran las concentraciones reportadas por Cormagdalena e INVEMAR, es incierto cómo los materiales dragados en estos sitios de monitoreo afectarían a los organismos después de verter el material dragado en los ecosistemas costeros. Mientras que los umbrales de Sao Paulo (Brasil) son los más estrictos, seguidos por los de Florida, los umbrales de Ceará (Brasil) son mucho más flexibles (Ver Tabla 4-1 en el informe 2 de esta consultoría).

Cobre (Cu)

Las concentraciones más recientes de Cu fueron reportadas por Cormagdalena e INVEMAR en 2024. En relación con los umbrales para ecosistemas de agua dulce, las concentraciones en "Boya 15" y "Bocas de Ceniza", así como en el sitio de monitoreo de INVEMAR, estuvieron entre los niveles 1 y 2 de Florida (más cercanos al nivel 1), y menores o casi iguales al umbral de Brasil (Figura 3-5a y Figura 3-6a). Por tanto, es menos probable que el Cu en los materiales dragados de estos sitios genere condiciones adversas si se vierte en los ecosistemas de agua dulce.

En cuanto a la calidad de estos sedimentos para verterlos en ecosistemas costeros después de ser dragados, las DCS son mucho más estrictas. Las concentraciones en "Puente Pumarejo", "Boya 15" y "Bocas de Ceniza", así como en el sitio de monitoreo de INVEMAR, fueron superiores a los umbrales de nivel 2 de Ceará y Sao Paulo (Brasil) (Figura 3-5b y Figura 3-6b). A esto, se puede suponer que hay una probabilidad considerable de condiciones tóxicas en los ecosistemas costeros, pero es de considerar que las concentraciones estuvieron entre los niveles 1 y 2 de Florida y Brasil (más cercanos al nivel 1).

Cromo (Cr)

Las concentraciones más recientes de Cr fueron reportadas por Cormagdalena e INVEMAR en 2024. Con respecto a los umbrales de calidad de sedimentos para ecosistemas de agua dulce, las concentraciones en "Boya 15" y "Bocas de Ceniza" fueron ligeramente superiores al nivel 1 de Brasil, y casi iguales al nivel 1 de Florida (Figura 3-7a). Por el contrario, la concentración en el sitio de monitoreo de INVEMAR fue considerablemente mayor, estando también entre los niveles 1 y 2 tanto de Florida como de Brasil, pero más cerca de los niveles 2 (110 mg/kg para Florida, y 90 para Brasil) (Figura 3-8a).

En cuanto a la calidad de estos sedimentos para verterlos en los ecosistemas costeros después de ser dragados, algunos umbrales de Cr son más estrictos. Las concentraciones en "Puente Pumarejo", "Boya 15" y "Bocas de Ceniza", así como en el sitio de monitoreo de INVEMAR fueron superiores al umbral de nivel 2 de Sao Paulo (Brasil), y sólo la concentración en el sitio de INVEMAR estuvo por encima del umbral de nivel 2 de Ceará (Brasil). En comparación con los umbrales de Florida, que son menos estrictos, sólo la concentración en el sitio de INVEMAR estaba entre los niveles 1 y 2 (más cerca del nivel 1) (Figura 3-7b y Figura 3-8b). Por tanto, se podría suponer que los materiales dragados en este sitio de INVEMAR podrían conducir a condiciones tóxicas cuando se vierten en la zona de depósito marino, mientras que los materiales dragados en los sitios de monitoreo de Cormagdalena son menos propensos a generar estas condiciones. Sin embargo, las diferencias de concentración entre el sitio del INVEMAR y los sitios de monitoreo de Cormagdalena, pueden deberse a diferencias en el muestreo o en los procedimientos de laboratorio.

Mercurio (Hg)

Las concentraciones más recientes de Hg fueron reportadas por Cormagdalena e INVEMAR en 2024. Mientras que las concentraciones en los sitios de monitoreo de Cormagdalena fueron reportadas como valores por debajo del límite de cuantificación del dispositivo de espectrometría (0,10 mg/kg), la concentración en el sitio de monitoreo de INVEMAR fue reportada con el mismo valor pero no como límite de cuantificación. Como estas concentraciones no sobrepasaron ningún umbral para los ecosistemas de agua dulce, se podría asumir que no hay ningún efecto adverso causado por el Hg si los materiales dragados son vertidos en ecosistemas de agua dulce; pero a partir del contraste con una concentración casi seis veces mayor en "Bocas de Ceniza" en 2023, existe incertidumbre sobre por qué los

sedimentos en este sitio de monitoreo aumentaron drásticamente de marzo/2020 a marzo/2023, y decrecieron drásticamente de marzo/2023 a marzo 2024 (Figura 3-9a y Figura 3-10a).

Las concentraciones en 2024, señaladas como límite de cuantificación, sólo superaron el umbral de nivel 2 de Ceará (Brasil) para ecosistemas costeros (Figura 3-9b y Figura 3-10b). Para verificar cómo las concentraciones en los sitios de monitoreo de Cormagdalena difieren de los umbrales de Ceará, se sugiere que Cormagdalena solicite a sus contratistas la contratación de un servicio de laboratorio capaz de cuantificar concentraciones por lo menos iguales a 0,04 mg/kg (umbral nivel 1 de Ceará).

Cadmio (Cd)

Las concentraciones más recientes de Cd fueron reportadas por Cormagdalena e INVEMAR en 2024 y 2023 respectivamente. Las concentraciones en los cuatro sitios de monitoreo de Cormagdalena fueron reportadas como valores inferiores al límite de cuantificación del dispositivo de espectrometría (2,50 mg/kg), y la concentración en el sitio de monitoreo de INVEMAR también fue reportada como un valor inferior a un límite de cuantificación de 12,50 mg/kg.

Los umbrales de nivel 1 de Florida y Brasil para ecosistemas de agua dulce son inferiores al límite de cuantificación reportado por Cormagdalena, al igual que los umbrales de nivel 2 de Ceará y Sao Paulo (Brasil) y el umbral de nivel 1 de Florida para ecosistemas costeros. Considerando que en 2020 los contratistas de Cormagdalena reportaron concentraciones superiores e inferiores a un límite de cuantificación de 0,1 mg/kg, se sugiere que Cormagdalena solicite a sus futuros contratistas la contratación de un servicio de laboratorio con este alcance de cuantificación (Figura 3-11).

Plomo (Pb)

Las concentraciones más recientes de Pb fueron reportadas por Cormagdalena e INVEMAR en 2024. En los cuatro sitios de monitoreo de Cormagdalena las concentraciones estuvieron por debajo del límite de cuantificación del dispositivo de espectrometría (reportado como 10 mg/kg); de los umbrales de Brasil y Florida para ecosistemas de agua dulce y costeros, este límite de cuantificación es sólo superior al umbral de nivel 1 de Sao Paulo para ecosistemas costeros (6,70 mg/kg). Por tanto, para la cuantificación de la concentración de Pb se sugiere que Cormagdalena solicite a sus futuros contratistas que contraten un servicio de laboratorio capaz de cuantificar al menos 5 mg/kg.

Por su parte, la concentración en el sitio de monitoreo del INVEMAR fue de 16,50 mg/kg, inferior a los umbrales de nivel 1 para ecosistemas de agua dulce (36,00 mg/kg en Florida, 35,60 en Brasil). En comparación con los umbrales para ecosistemas costeros, la concentración sólo fue superior al nivel 1 de Sao Paulo (6,70 mg/kg) y casi igual al nivel 2 de las mismas regiones (16,60 mg/kg).

Níquel (Ni), plata (Ag) y arsénico (As)

Las concentraciones de Ni han sido reportadas únicamente en el sitio de monitoreo de INVEMAR, donde la concentración más reciente fue reportada en 2024. Esta concentración fue de 16,50 mg/kg, inferior a los umbrales de nivel 1 de Florida y Brasil para ecosistemas de agua dulce (23,00 y 18,00 mg/kg respectivamente). En cuanto a la comparación con los umbrales para ecosistemas costeros, esta concentración de Ni es superior al umbral de nivel 2 de Sao Paulo (14,60 mg/kg), pero inferior al umbral de nivel 1 de Ceará (20,20 mg/kg), y ligeramente superior a los niveles 1 de Florida (15,90 mg/kg). En cuanto a cual de estos umbrales debe tenerse en cuenta, más adelante en la sección 5.1.1 se describe una discusión al respecto.

Por otro lado, la información que se encontró sobre concentraciones de Ag y As es únicamente la reportada por UniCartagena, a partir de un muestreo realizado en 2013 en un sitio cercano al puerto industrial de Barranquilla (Tejeda-Benítez et al., 2018). En ese momento la concentración de Ag fue de 0,40 mg/kg, inferior al umbral de nivel 1 determinado hasta el momento para ecosistemas de agua dulce y costeros (DCS de Florida, donde el nivel 1 es de 1,00 mg/kg). Mientras tanto, la concentración de As fue de 8,54 mg/kg, que para los ecosistemas de agua dulce está entre los niveles 1 y 2 de Brasil (5,90 y 17,00 mg/kg) e inferior al nivel 1 de Florida, mientras que para los ecosistemas costeros la concentración está por encima de los niveles 1 de Florida y Sao Paulo (7,24 y 8,10 mg/kg respectivamente). Por ello, se puede suponer que en 2013 era menos probable que fuera nociva la concentración de

As en el lugar de muestreo del canal de acceso, y que podría ser ligeramente nociva para los organismos de la zona de depósito donde se vierten los materiales dragados.

Zinc (Zn)

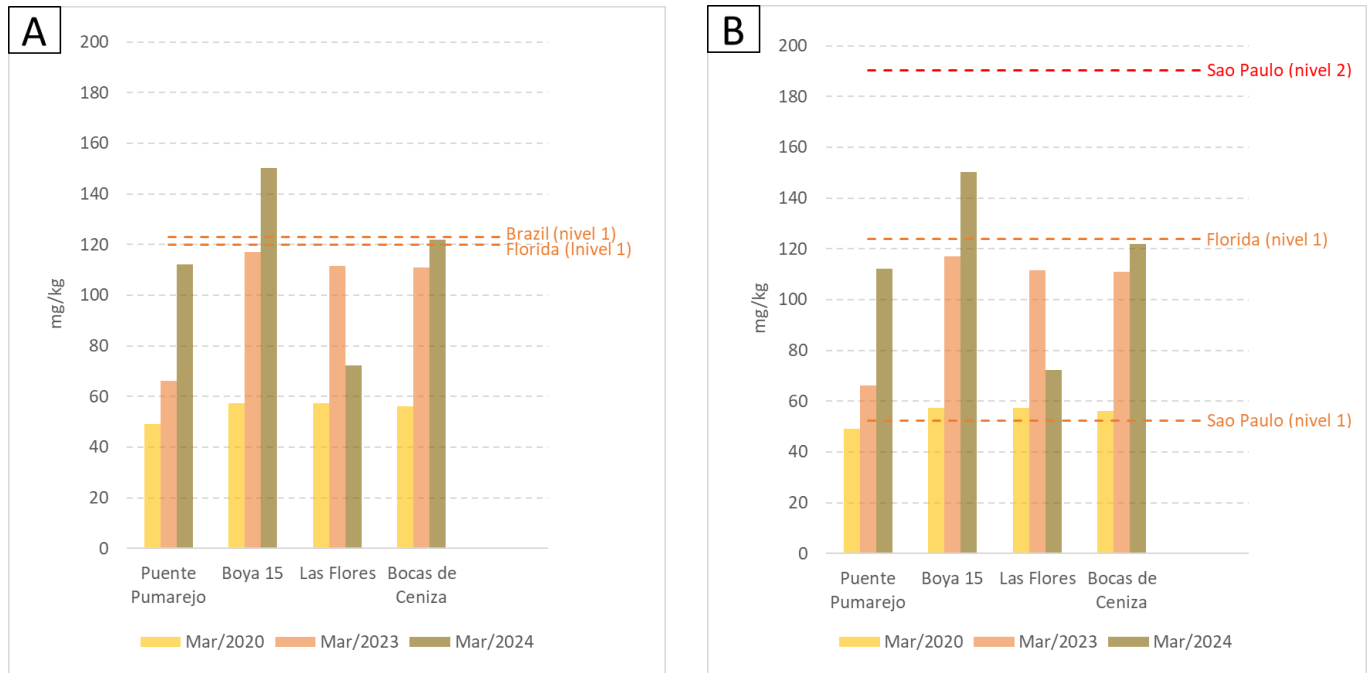


Figura 3-3: Concentración de zinc en los sitios de monitoreo de Cormagdalena, comparado con los valores umbrales para ecosistemas de agua dulce (A), y con los valores umbrales para ecosistemas costeros (B).

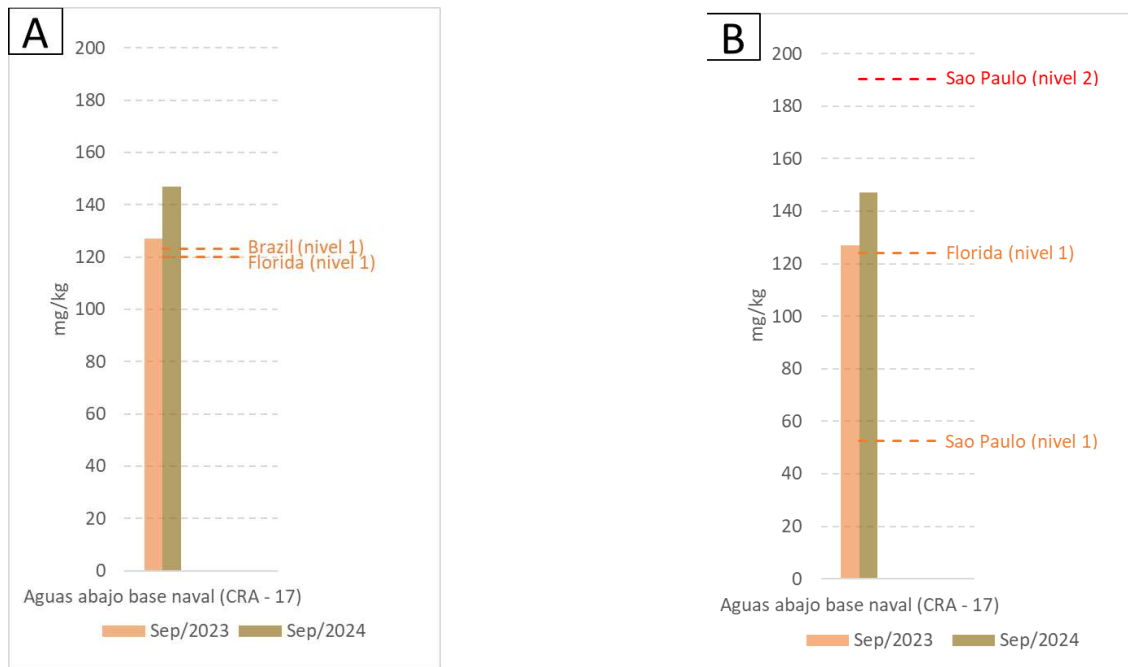


Figura 3-4: Concentración de zinc en el sitio de monitoreo del INVEMAR, comparado con los valores umbrales para los ecosistemas de agua dulce (A), y con los valores umbrales para los ecosistemas costeros (B).

Cobre (Cu)

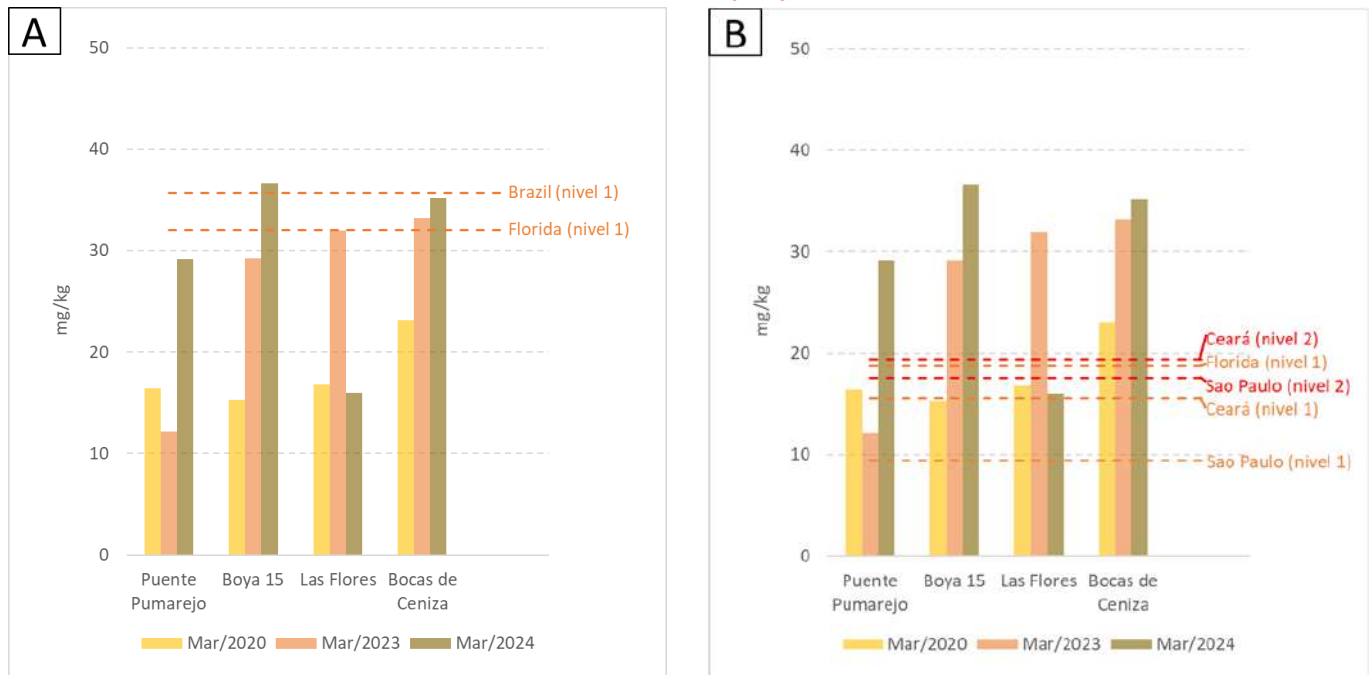


Figura 3-5: Concentración de cobre en los sitios de monitoreo de Cormagdalena, comparado con los valores umbrales de los ecosistemas de agua dulce (A), y con los valores umbrales de los ecosistemas costeros (B).

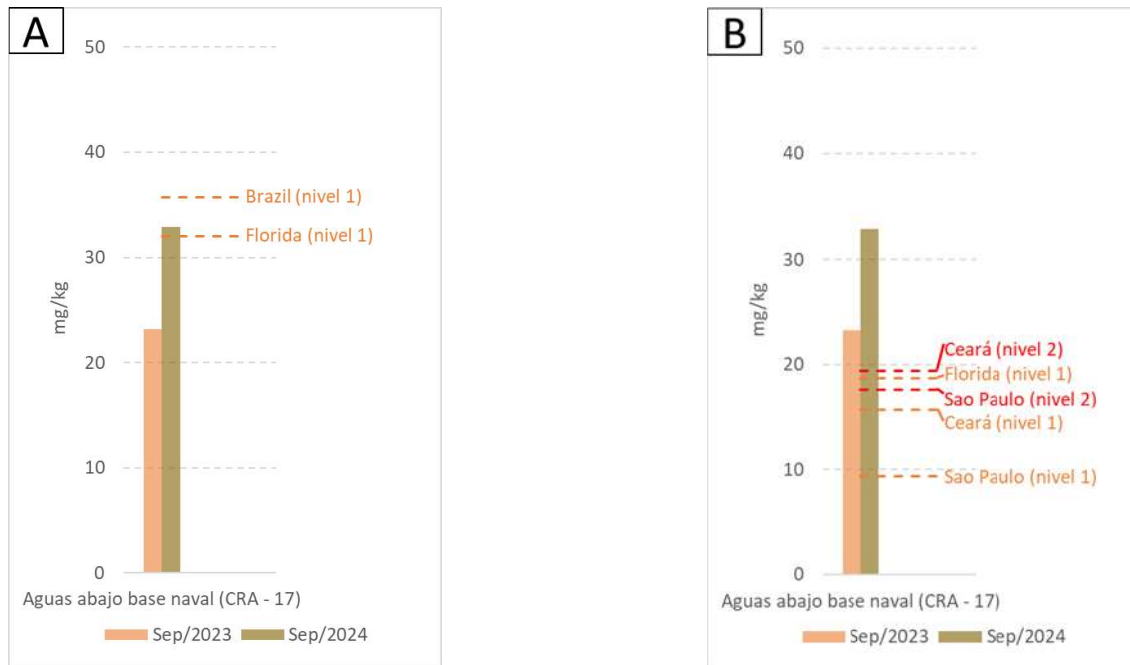


Figura 3-6: Concentración de cobre en el sitio de monitoreo de INVEMAR, comparado con los valores umbrales para ecosistemas de agua dulce (A), y con los valores umbrales para ecosistemas costeros (B).

Cromo (Cr)

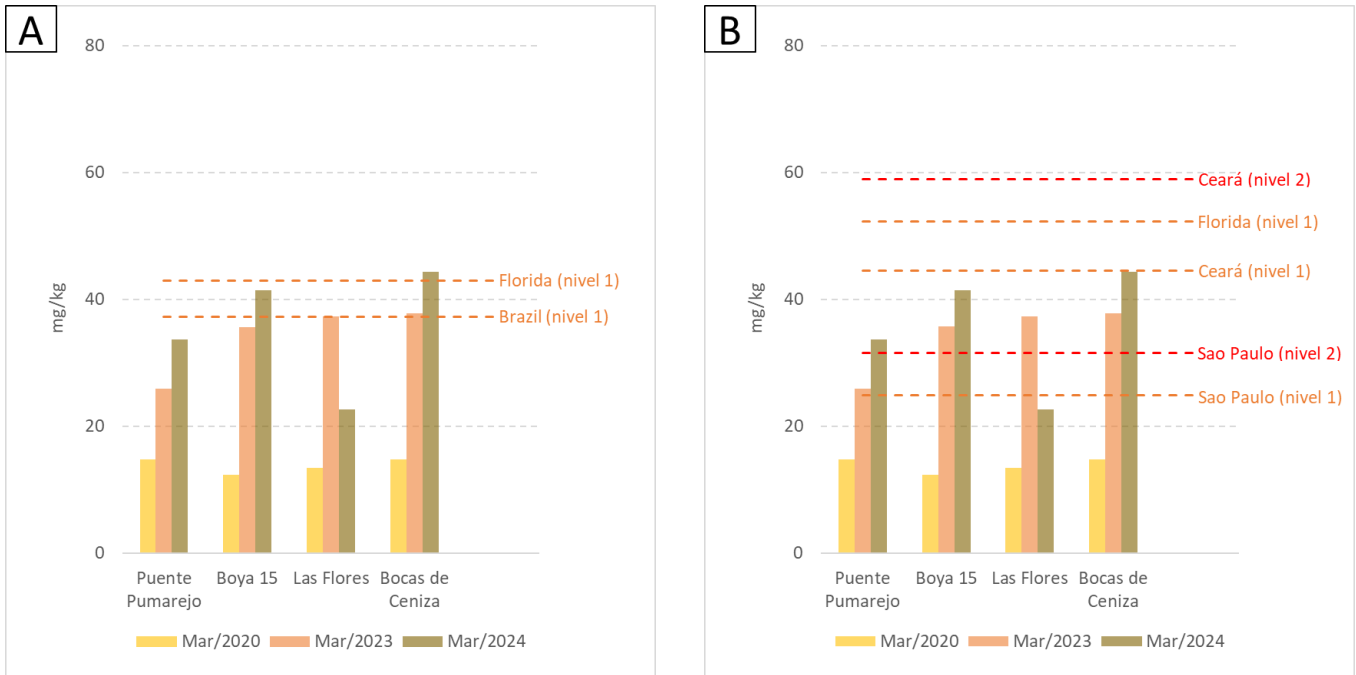


Figura 3-7: Concentración de cromo en los sitios de monitoreo de Cormagdalena, comparado con los valores umbrales de los ecosistemas de agua dulce (A), y con los valores umbrales de los ecosistemas costeros (B).

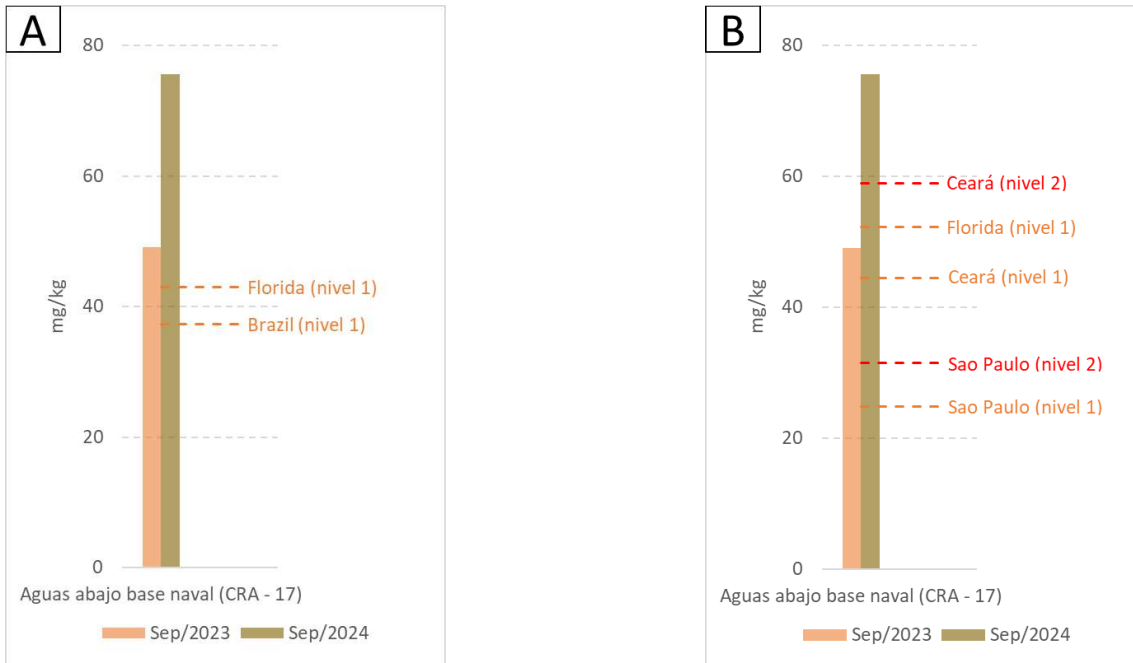


Figura 3-8: Concentración de cromo en el sitio de monitoreo de INVEMAR, comparado con los valores umbrales para ecosistemas de agua dulce (A), y con los valores umbrales para ecosistemas costeros (B).

Mercurio (Hg)

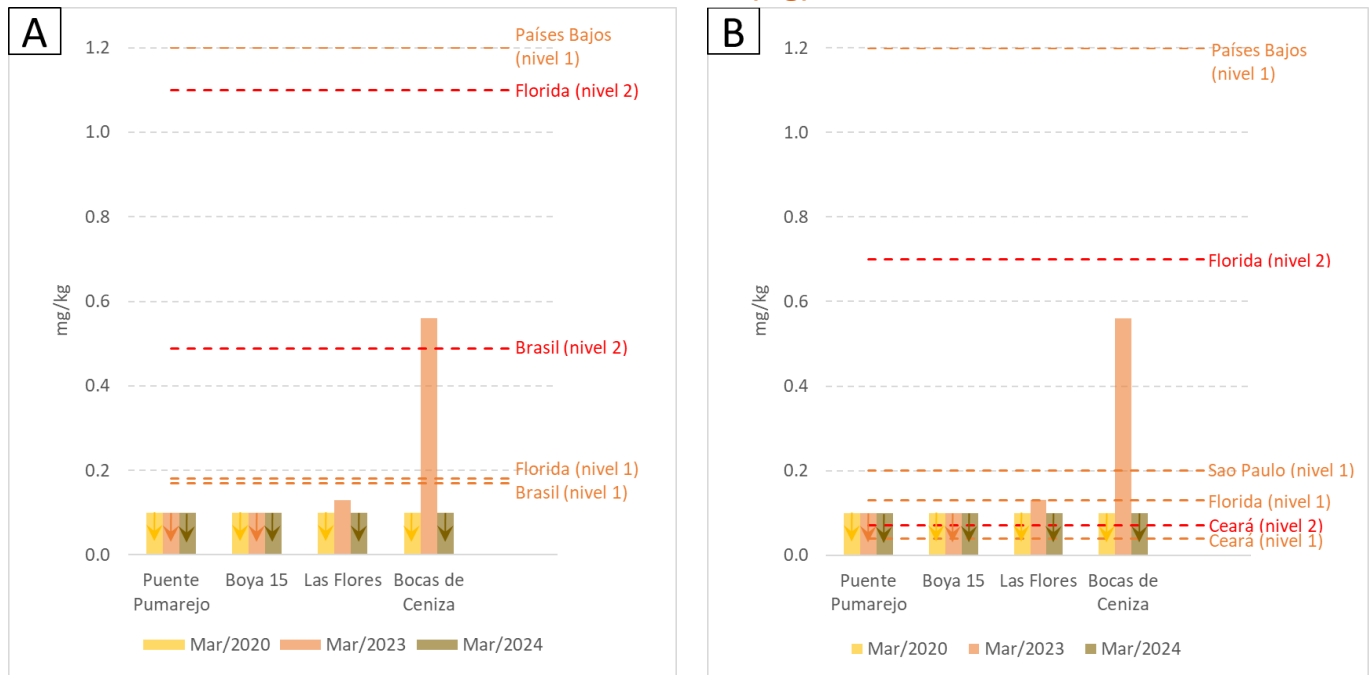


Figura 3-9 : Concentración de mercurio en los sitios de monitoreo de Cormagdalena, comparado con los valores umbrales de los ecosistemas de agua dulce (A), y con los valores umbrales de los ecosistemas costeros (B). Las flechas invertidas indican valores inferiores al límite de cuantificación del dispositivo de espectrometría de laboratorio.

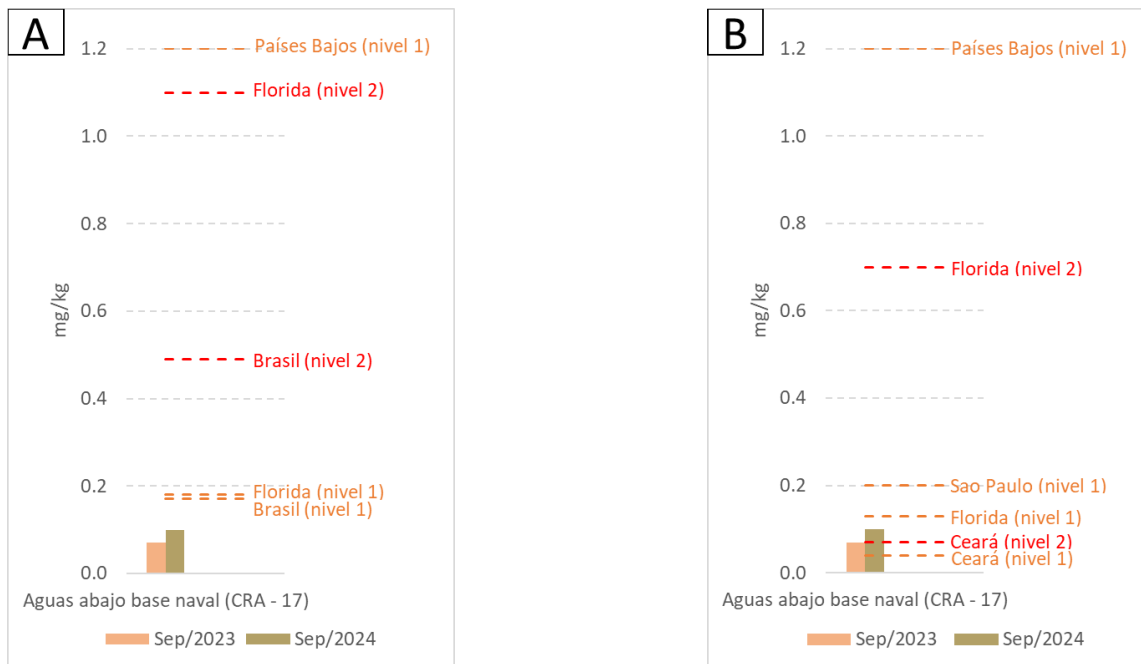


Figura 3-10: Concentración de mercurio en el sitio de monitoreo de INVEMAR, comparado con los valores umbrales para ecosistemas de agua dulce (A), y con los valores umbrales para ecosistemas costeros (B).

Cadmio (Cd)

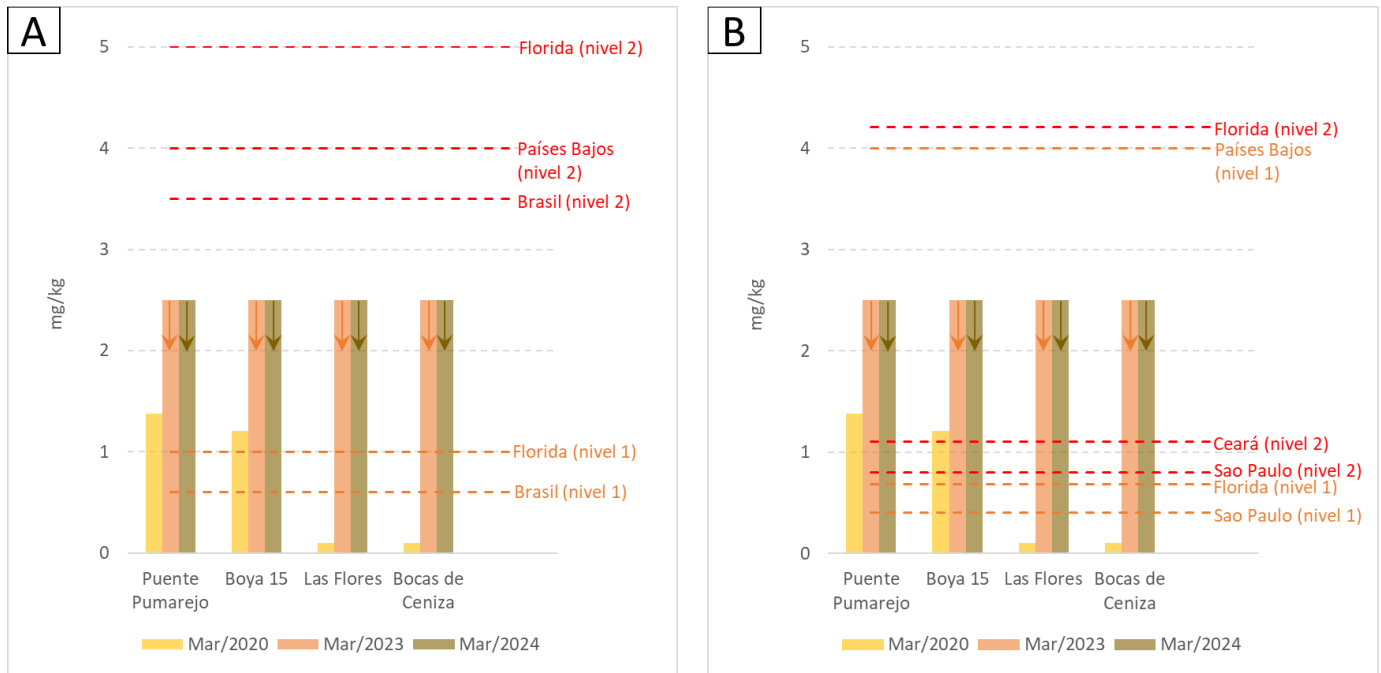


Figura 3-11: Concentración de cadmio en los sitios de monitoreo de Cormagdalena, comparado con los valores umbrales para los ecosistemas de agua dulce (A), y con los valores umbrales para los ecosistemas costeros (B). Las flechas hacia abajo indican valores inferiores al límite de cuantificación del dispositivo de espectrometría en laboratorio.

Otras sustancias minerales

Las concentraciones de otras sustancias minerales hacen parte del reporte de calidad ambiental hecho por los contratistas de Cormagdalena en marzo/2024 (estas sustancias no fueron incluidas en el reporte de marzo/2023). La información reportada incluye solo algunos macronutrientes (nitrógeno, fósforo y azufre), y cloro (micronutriente para plantas). Las concentraciones de estas sustancias han sido determinadas mediante otras técnicas de laboratorio (método Kjeldahl, colorimetría, espectrofotometría y conductividad).

Ninguna de estas sustancias hace parte de las DCS de Florida, Brasil y Países Bajos (Tabla 4-1 del reporte 2 de esta consultoría), ni de las DCS de otros países, y los contratistas de Cormagdalena no mencionan referencia alguna para la interpretación de las concentraciones de estas sustancias. En la sección 6.1.2 se presenta un análisis de los vacíos de información de otras sustancias minerales, y debido a la ausencia de DCS para estas sustancias, en el capítulo 7 se describen sugerencias.

Macronutrientes (Nitrógeno, fósforo, azufre)

Estos tres nutrientes son de importancia en términos de fertilidad al considerar el uso de los materiales dragados como enmienda para el suelo en agricultura. Sin embargo, así como altas concentraciones de estos nutrientes aportan a la fertilidad del suelo, el uso de los materiales dragados en zonas aledañas a ecosistemas acuáticos lénticos conlleva a un riesgo de eutrofización en estos ecosistemas.

El nitrógeno (N) fue determinado como N total, a partir de la suma de las concentraciones de nitratos, nitritos y N Kjeldahl (N orgánico + amoníaco). Para interpretar los contenidos de N total en términos de fertilidad para uso del material en tierra firme, se tomó referencia de las consideraciones generales para interpretar análisis químicos de suelos en clima cálido, de la subdirección de Agrología del Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC (Colombia). Mientras que los contenidos en Puente Pumarejo y en Boya 15 son consideradas como altos, en las Flores y Bocas de Ceniza estos fueron medios (Tabla 3-3).

Tabla 3-3: Contenidos de nitrógeno total en los sitios de monitoreo de calidad ambiental de Cormagdalena, calificadas según las consideraciones generales del IGAC para interpretar análisis químicos de suelos en clima cálido.

	% de nitrógeno total (Cormagdalena)			
	Puente Pumarejo	Boya 15	Las Flores	Bocas de Ceniza
Mar/2024	0.23	0.26	0.15	0.12

	Bajo (<0.10)
	Medio (0.10-0.20)
	Alto (>0.20)

El fósforo (P) fue determinado como P total, y los contenidos en cada sitio de monitoreo de Cormagdalena se muestran en la (Tabla 3-4). Estos contenidos fueron determinados mediante una técnica de fusión con $\text{NaNO}_3/\text{KNO}_3$ y cuantificación colorimétrica de Azul de Molibdeno, y no se conoce referencia alguna en el contexto de Colombia u otro país tropical de América, para interpretar estos contenidos en términos de fertilidad o riesgo de eutrofización. Al igual que con los contenidos de N total, los e P total fueron más altos en Puente Pumarejo y Boya 15 (Tabla 3-4).

Tabla 3-4: Contenidos de fósforo total en los sitios de monitoreo de calidad ambiental de Cormagdalena.

	Fósforo total (mg/kg) - Cormagdalena			
	Puente Pumarejo	Boya 15	Las Flores	Bocas de Ceniza
Mar/2024	172.64	138.66	107.73	112.09

En cuanto al azufre (S), Cormagdalena solo determinó concentraciones de sulfatos, cuyos valores en cada sitio de monitoreo de Cormagdalena se muestran en la (Tabla 3-5). Al igual que para el P total, tampoco se conoce referencia alguna en el contexto de Colombia u otro país tropical de América, para interpretar estas concentraciones en términos de fertilidad o riesgo de eutrofización. A diferencias de los contenidos totales de N y P, las concentraciones de sulfatos fueron mayores en Las Flores y Bocas de Ceniza (Tabla 3-5).

Tabla 3-5: Contenidos de sulfatos en los sitios de monitoreo de calidad ambiental de Cormagdalena.

	Sulfatos (mg/kg) - Cormagdalena			
	Puente Pumarejo	Boya 15	Las Flores	Bocas de Ceniza
Mar/2024	63.30	51.10	87.70	79.90

Cloro

Cormagdalena determinó las concentraciones de cloruros en cada sitio de monitoreo, las cuales fueron mayores en Las Flores y Bocas de Ceniza, siendo en este último sitio considerablemente superiores (Tabla 3-6). No existe referencia alguna en el contexto de Colombia u otro país tropical de América, para interpretar estas concentraciones en términos de concentración adecuada como micronutriente para plantas, o de concentración que implica riesgo de toxicidad.

Tabla 3-6: Contenidos de cloruros en los sitios de monitoreo de calidad ambiental de Cormagdalena.

	Cloruros (mg/kg) - Cormagdalena			
	Puente Pumarejo	Boya 15	Las Flores	Bocas de Ceniza
Mar/2024	<20.00	128.57	208.03	688.71

3.2.2 Sustancias orgánicas

Las sustancias orgánicas que han sido determinadas por las entidades colombianas son algunos Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) y algunos plaguicidas. Las concentraciones de HAPs fueron reportadas por INVEMAR entre 2023-24 y por UniCartagena a partir de un muestreo realizado en Nov/2013 (Tejeda-Benitez et al., 2018), mientras que los plaguicidas solo han sido reportados por UniCartagena a partir de un muestreo realizado en Nov/2014, en un sitio cercano al puerto industrial de Barranquilla (Tejeda-Benitez et al., 2023).

Las concentraciones de ambos tipos de sustancias orgánicas han sido cuantificadas por estas entidades después de extraer las concentraciones a través de diferentes métodos (solución QUEChERS, solución Soxhlet y extracción asistida por microondas). Tras las extracciones, la cuantificación se ha realizado mediante Cromatografía de Gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS, por sus siglas en inglés), Cromatografía de Gases acoplada a espectrometría de masas en tándem de triple cuadrupolo (GC-MS/MS), o Cromatografía de Gases-Detector Selectivo de Masas (GC-MSD). En general, la cromatografía de gases es eficaz para sustancias que son termoestables y pueden vaporizarse a altas temperaturas sin descomponerse, como es el caso de los plaguicidas y los HAPs. Más adelante, en la sección "Sobre técnicas analíticas de laboratorio", del numeral 7.1.2, se describen estos métodos para extraer y cuantificar la concentración de plaguicidas y HAP.

A continuación, se presentan las descripciones de las concentraciones de HAPs y plaguicidas reportadas por INVEMAR y UniCartagena, y cómo se comparan con las respectivas DCS de Florida, Brasil y Países Bajos.

Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)

Fenantreno y Criseno son los HAPs que han sido monitoreados por INVEMAR y reportados por UniCartagena (Tejeda-Benitez et al., 2018), y UniCartagena también reportó concentraciones de fluoranteno y pireno. Este conjunto de sustancias corresponde al 31% de los HAPs listados en la Tabla 4-1 del informe 2 de esta consultoría. Las concentraciones reportadas de estos HAPs fueron comparadas con los umbrales de Florida y Brasil para ecosistemas de agua dulce y costeros. Las DCS de HAPs no han sido determinadas para las regiones de Ceará y Sao Paulo, por tanto las DCS de referencia para Brasil son las nacionales establecidas en la resolución CONAMA 454/2012. En cuanto a las DCS de Países Bajos, estas no incluyen umbrales para cada HAP, sino sólo para la suma de HAPs (Ver Apéndice B de este informe, y Tabla 4-1 del informe 2 de esta consultoría).

Fenantreno

Las concentraciones de fenantreno reportadas en el sitio de monitoreo de INVEMAR fueron casi las mismas en Sep/2023 y Sep/2024, y fueron de lejos más bajas que el umbral más bajo de nivel-1 para ecosistemas de agua dulce (Brasil -Figura 3-12a) y el umbral más bajo de nivel-1 para ecosistemas costeros (Florida -Figura 3-12b). Por tanto, cabe suponer que esta concentración en los materiales dragados no generaría daños si estos se vertieran en ecosistemas de agua dulce, y que si todo el material dragado en este lugar tuviera esta concentración, el fenantreno no debería haber generado daños a los organismos de la zona de depósito.

Por otro lado, a partir de la investigación de UniCartagena (Tejeda-Benitez et al., 2018), en Nov/2013 la concentración de fenantreno fue de 30 µg/kg cerca del puerto industrial de Barranquilla, que es ligeramente inferior al umbral más bajo de nivel 1 para ecosistemas de agua dulce (Brasil -Figura 3-12a) y mucho más bajo que el umbral más bajo de nivel 1 para ecosistemas costeros (Florida -Figura 3-12b). Aunque esta concentración fue superior a las reportadas en el sitio de monitoreo de INVEMAR en 2023 y 2024, si todo el material dragado en este sitio hubiese tenido esta concentración en Nov/2013, es bastante probable que el fenantreno no afectara en ese momento daño a los organismos en la zona de depósito.

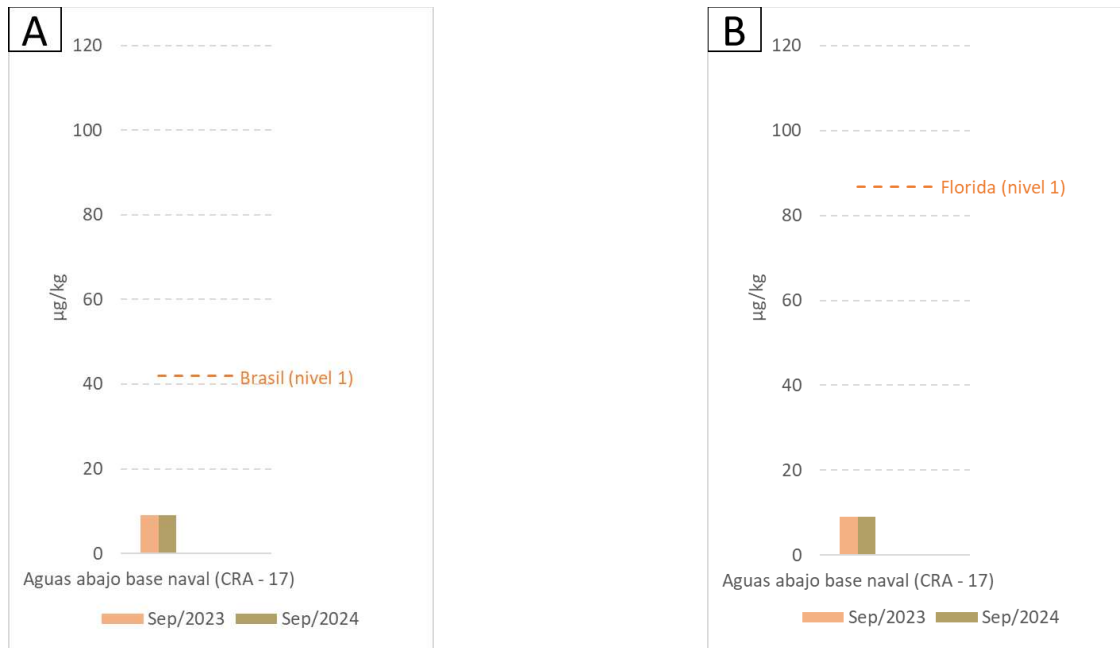


Figura 3-12: Concentración de fenantreno en el sitio de monitoreo de INVEMAR, comparado con los valores umbrales para ecosistemas de agua dulce (A), y con los valores umbrales para ecosistemas costeros (B).

Criseno:

Las concentraciones de Criseno en el sitio de monitoreo del INVEMAR solo fueron reportadas en Sep/2024. Estas concentraciones también fueron de lejos inferiores al umbral más bajo de nivel 1 para ecosistemas de agua dulce (Brasil -Figura 3-13a) y al umbral más bajo de nivel 1 para ecosistemas costeros (Florida -Figura 3-13b), al igual que la concentración reportada por UniCartagena en Nov/2013 (Tejeda-Benitez et al., 2018), la cual fue de 10 mg/kg. A partir de estas comparaciones, se puede asumir que si todo el material dragado en estos sitios y momentos hubiera tenidos estas concentraciones, el criseno no debería haber generado daño a los organismos en la zona de depósito, y no generaría daño si se vierte en ecosistemas de agua dulce.

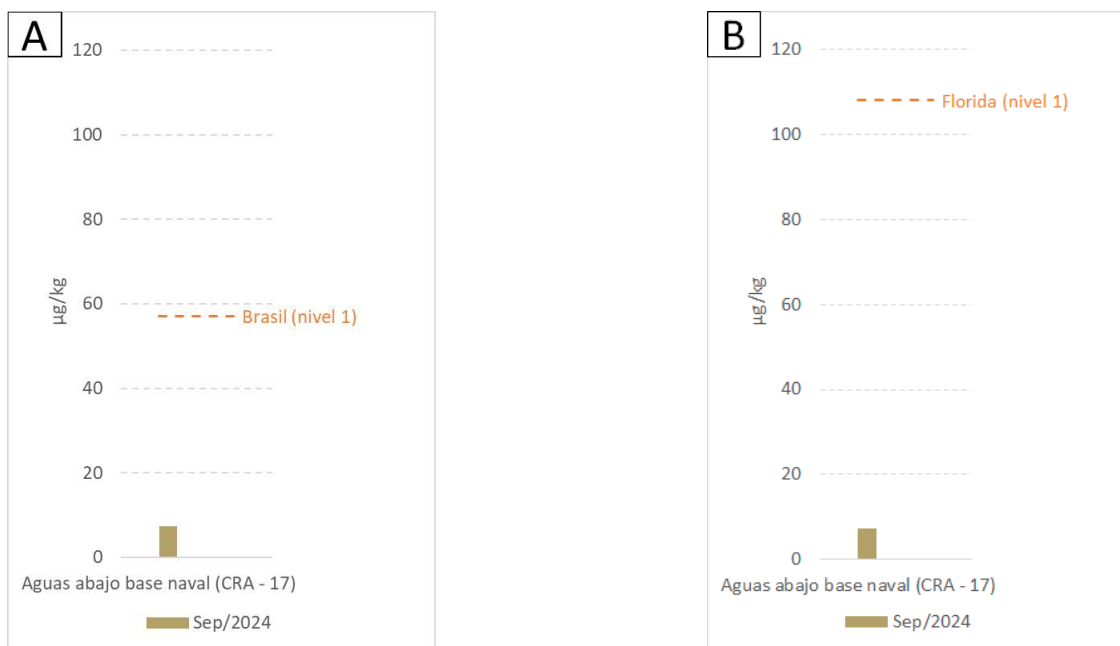


Figura 3-13: Concentración de criseno en el sitio de monitoreo del INVEMAR en Sep/2024, comparado con los valores umbrales para ecosistemas de agua dulce (A), y con los valores umbrales para ecosistemas costeros (B).

Fluoranteno y pireno:

UniCartagena también determinó a partir de su muestreo en Nov/2013 las concentraciones de fluoranteno y pireno (Tejeda-Benítez *et al.*, 2018). La concentración de fluoranteno fue de 30 mg/kg, muy inferior a los umbrales de nivel 1 de Florida y Brasil para ecosistemas de agua dulce (420 y 111 mg/kg respectivamente), así como muy inferior a los umbrales de nivel 1 de Florida y Brasil para ecosistemas costeros (113 y 600 mg/kg respectivamente). En cuanto al pireno, su concentración fue de 10 mg/kg, muy inferior a los umbrales de nivel 1 de Florida y Brasil para ecosistemas de agua dulce (200 y 53 mg/kg respectivamente), así como muy inferior a los umbrales de nivel 1 de Florida y Brasil para ecosistemas costeros (153 y 665 mg/kg respectivamente). Por tanto, se puede suponer que si todos los materiales dragados en el canal de acceso hubieran tenido en Nov/2013 estas concentraciones de fluoranteno y pireno, es bastante probable que estos compuestos no generaran en ese momento daños a los organismos de la zona de depósito. Y si en la actualidad los materiales dragados tuvieran estas concentraciones de fluoranteno y pireno, estas no serían perjudiciales si se utilizaran en SbN en ecosistemas de agua dulce o costeros.

Plaguicidas

La información más reciente sobre concentraciones de plaguicidas fue reportada por UniCartagena a partir de un muestreo realizado en Nov/2014 en un sitio cercano a la zona industrial portuaria (Tejeda-Benitez *et al.*, 2023), y ni INVEMAR ni Cormagdalena han reportado hasta el momento concentraciones de estas sustancias en sedimentos del canal de acceso. De los plaguicidas mencionados en la Tabla 4-1 del informe 2 de esta consultoría, UniCartagena determinó las concentraciones del 56% de estas sustancias, que son ocho (8) plaguicidas organoclorados (clordano, p,p'-DDD, p,p'-DDE, p,p'-DDT, dieldrina, heptacloro, epóxido de heptacloro, α -Endosulfan), y un (1) plaguicida organonitrogenado (atrazina). Para estas sustancias, se han determinado DCS tanto para los ecosistemas de agua dulce como para los costeros de Florida, Brasil o los Países Bajos, para el clordano, el p,p'-DDD, el p,p'-DDE, el p,p'-DDT y la atrazina, y para el epóxido de heptacloro sólo existen DCS para los ecosistemas de agua dulce de Florida. En cuanto a los DCS de Brasil, al igual que para los HAPs, no se han determinado DCS de plaguicidas para las regiones de Ceará y Sao Paulo, por lo que los DCS de referencia para Brasil son los nacionales establecidos en la resolución CONAMA 454/2012.

Además de los plaguicidas mencionados, UniCartagena también determinó la concentración de otros 30 plaguicidas, que son organoclorados (10), organofosforados (13), organonitrogenados (3) y organosulfuros (4). De estos 30 plaguicidas, tres (3) tienen umbrales incluidos en las DCS de Florida, Brasil o los Países Bajos; estos tres plaguicidas son el aldrín, el disulfotón y el endrín. Por tanto, añadiendo estos tres plaguicidas a los otros nueve mencionados en el párrafo anterior, a continuación se comparte una descripción sobre cómo eran las concentraciones de estos 12 plaguicidas en comparación con los respectivos umbrales de Florida, Brasil o los Países Bajos, determinados hasta ahora para ellos.

La concentración de los 12 plaguicidas estuvo muy por debajo de sus respectivos umbrales de nivel 1, mientras que la concentración de atrazina estuvo ligeramente por encima del umbral de nivel 1 de Florida para los ecosistemas de agua dulce (Figura 3-14). Hasta el momento no existe ningún umbral de nivel 2 de atrazina para estos ecosistemas en Florida, por lo que sólo cabe suponer que si los materiales dragados tienen esta concentración en la actualidad, si se vierten a los ecosistemas de agua dulce la atrazina generaría algún daño a los organismos.

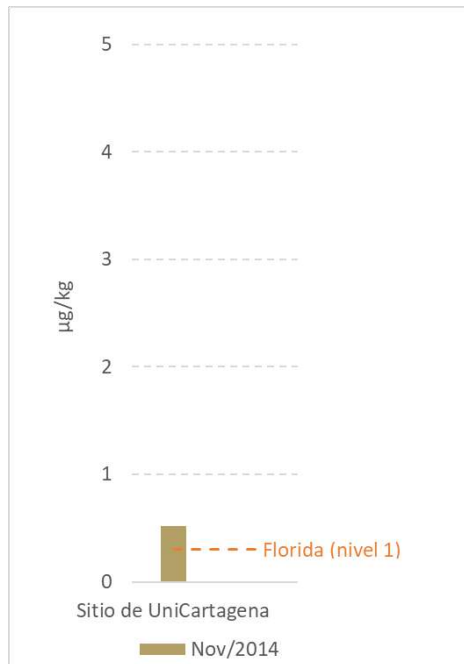


Figura 3-14: Concentración de atrazina en el lugar de muestreo de UniCartagena (Nov/2014), comparado con los valores umbrales para ecosistemas de agua dulce.

Abajo, la Figura 3-15, Figura 3-16, Figura 3-17 y Figura 3-18 son ejemplos que muestran cómo las concentraciones de clordano, p,p'-DDD, p,p'-DDE y p,p'-DDT, eran muy inferiores a los umbrales de nivel 1 de Florida, Brasil o los Países Bajos, determinados hasta ahora para estos plaguicidas.

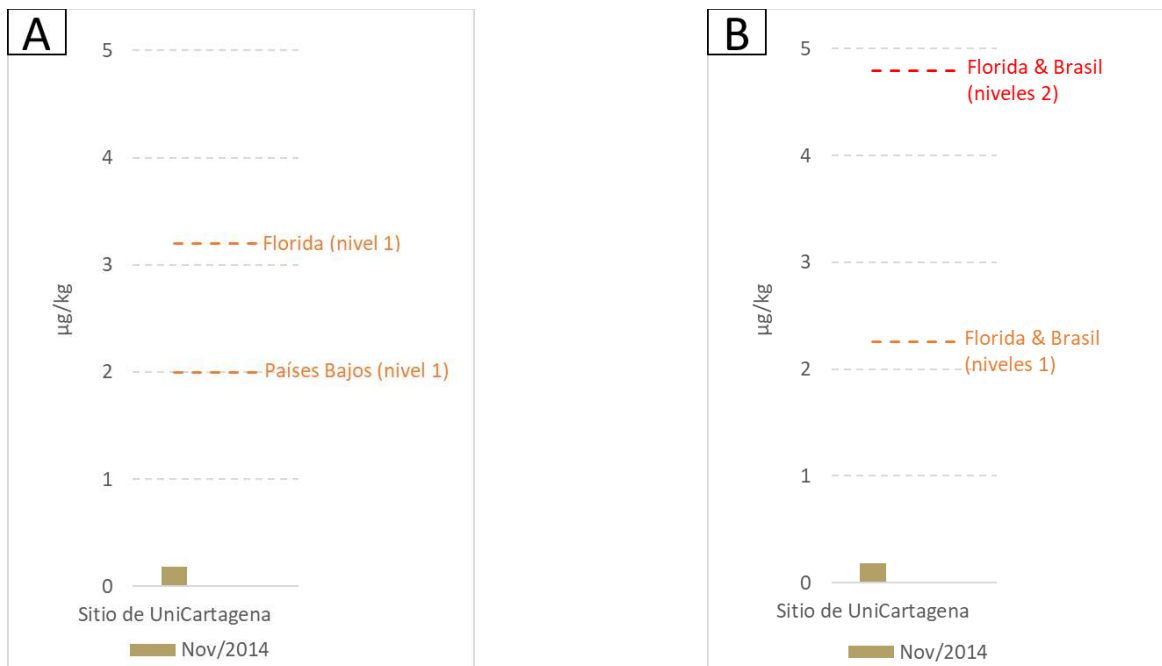


Figura 3-15: Concentración de clordano en el lugar de muestreo de UniCartagena (Nov/2014), comparado con los valores umbrales para ecosistemas de agua dulce (A), y con los valores umbrales para ecosistemas costeros (B).

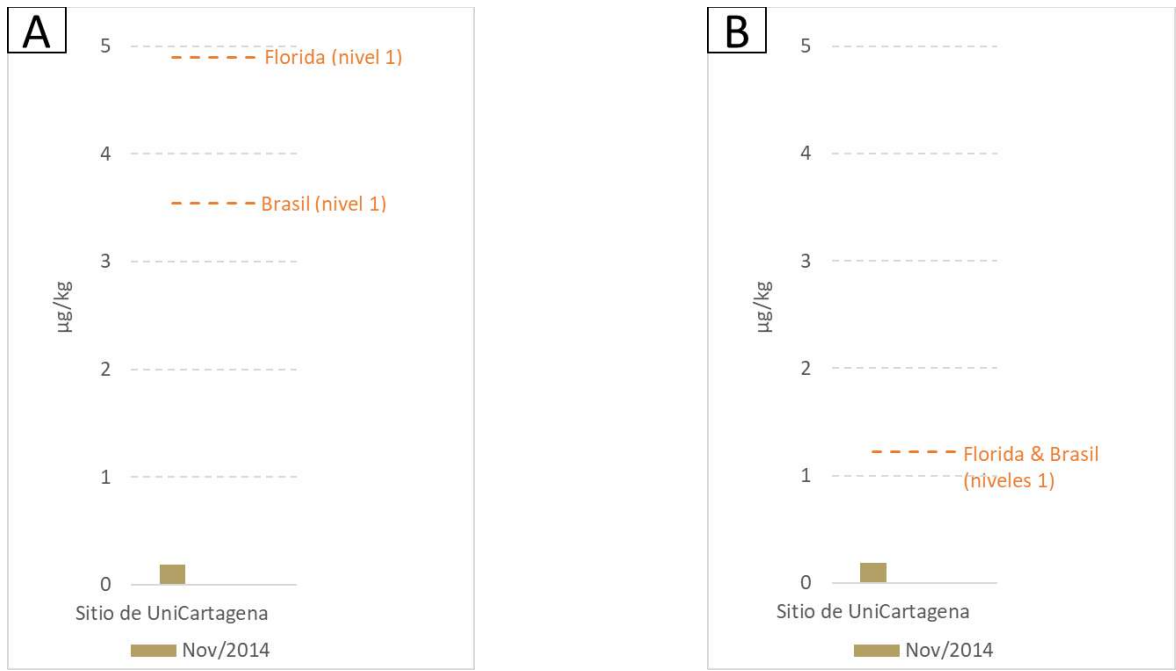


Figura 3-16 : concentración de p,p'-DDD en el lugar de muestreo de UniCartagena (Nov/2014), comparado con los valores umbrales para ecosistemas de agua dulce (A), y con los valores umbrales para ecosistemas costeros (B).

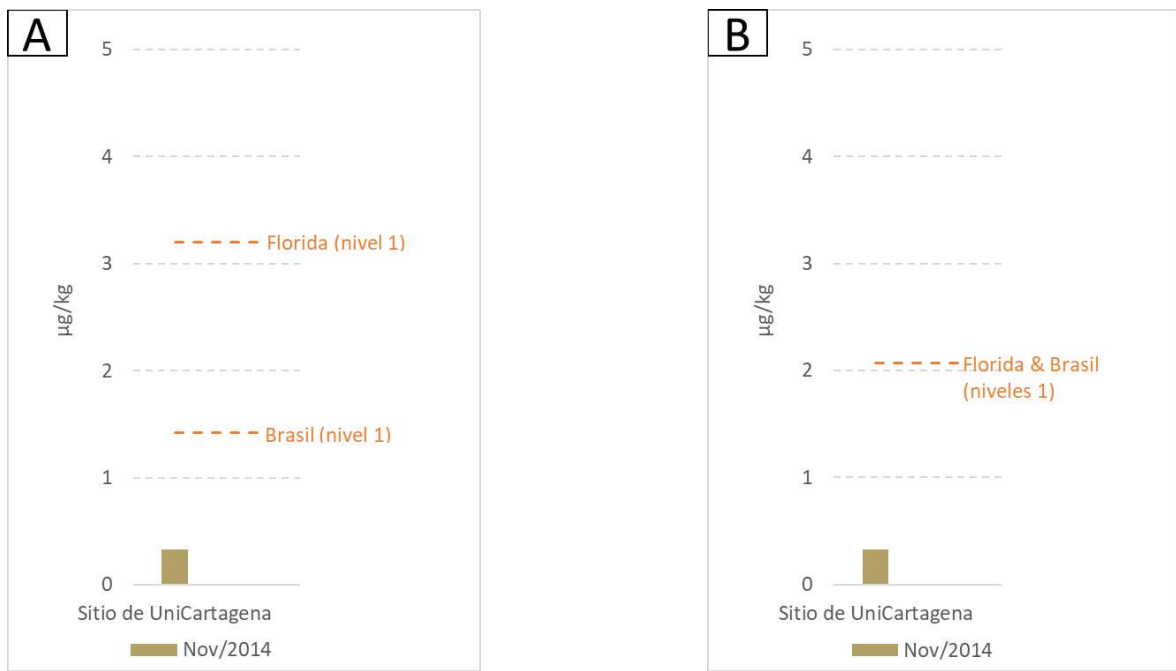


Figura 3-17: concentración de p,p'-DDE en el punto de muestreo de UniCartagena (Nov/2014), comparado con los valores umbrales para ecosistemas de agua dulce (A), y con los valores umbrales para ecosistemas costeros (B).

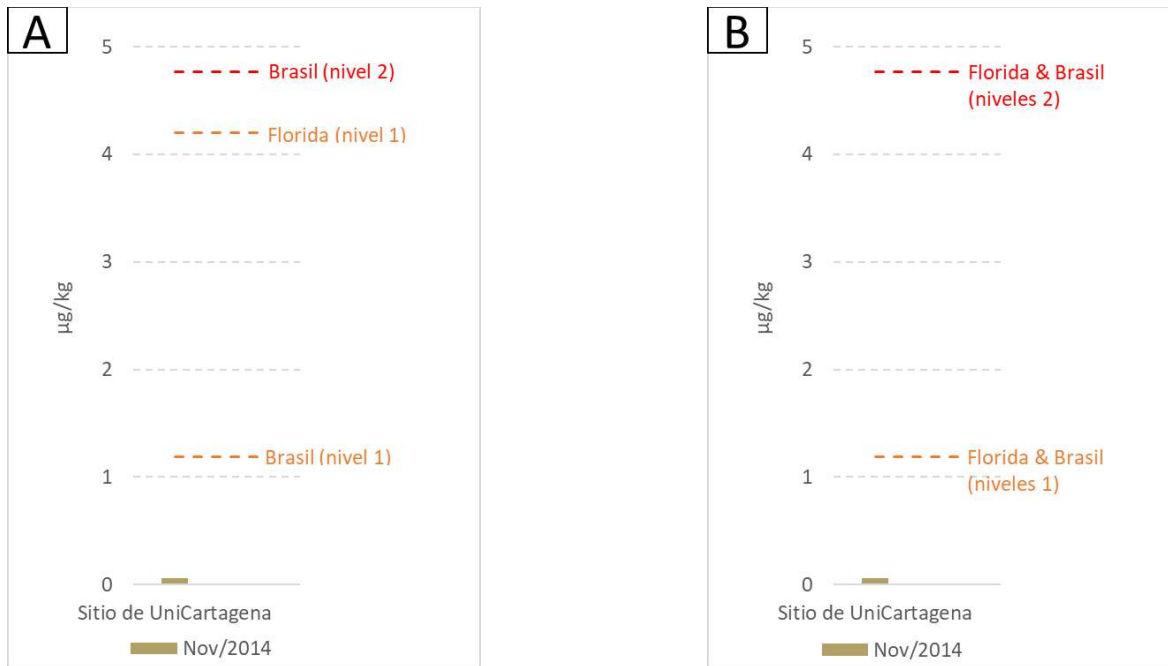


Figura 3-18: concentración de p,p'-DDT en el punto de muestreo de UniCartagena (Nov/2014), comparado con los valores umbrales para ecosistemas de agua dulce (A), y con los valores umbrales para ecosistemas costeros (B).

Tanto para las sustancias minerales como para las orgánicas, los DCS de Florida y Brasil son comparables en orden de magnitud, y podemos suponer que los DCS de los Países Bajos no son aplicables a Colombia. Por tanto, para los próximos capítulos, no se tienen en cuenta los DCS de los Países Bajos.

4 Calidad química de los sedimentos en la zona de depósito cercana al canal de acceso a la zona portuaria de Barranquilla



Capítulo 4 – Resumen Ejecutivo

Este breve capítulo describe la información sobre la calidad química de los sedimentos en la zona de depósito marino donde se vierten los materiales dragados en el canal de acceso. La información fue reportada por el Consorcio Dragado Puerto de Barranquilla 2024 - 2025 (2025), el cual fue contratado por la CRA (Corporación Autónoma Regional del Atlántico).

Esta información se determinó a partir de un muestreo realizado en Feb/2025, y en cuanto a las concentraciones de sustancias para las cuales se incluyen umbrales en las DCS para ecosistemas costeros de Florida y Brasil, se incluyen las concentraciones de siete metales pesados. Mientras que la concentración de mercurio fue reportada como un valor inferior a un límite de cuantificación de 2,00 mg/kg, las concentraciones de los otros metales pesados se presentan en la Tabla 4-1 y se comparan con los umbrales mencionados.

Tabla 4-1 Concentraciones de metales pesados en sedimentos de la zona de depósito marino, comparados con umbrales de DCS para ecosistemas costeros de Florida y Brasil (Fuente: Consorcio Dragado Puerto de Barranquilla 2024 - 2025, 2025).

	Florida (EEUU)		Zona de depósito	Ceará (Brasil)		Zona de depósito	Sao Paulo (Brasil)		Zona de depósito
	Nivel 1	Nivel 2	Feb-25	Nivel 1	Nivel 2	Feb-25	Nivel 1	Nivel 2	Feb-25
Zn	124.00	271.00	53.00	543.00	603.00	53.00	52.60	190.20	53.00
Cu	18.70	108.00	44.00	15.60	19.40	44.00	9.40	17.60	44.00
Cr	52.30	160.00	20.00	44.50	59.00	20.00	24.90	31.50	20.00
Cd	0.68	4.21	1.40	N/A	1.10	1.40	0.40	0.80	1.40
Ni	15.90	42.80	15.29	20.20	24.10	15.29	10.80	14.60	15.29
Pb	30.20	112.00	25.70	24.00	47.30	25.70	6.70	16.60	25.70

< Nivel 1
 Entre niveles 1 y 2
 > Nivel 2

En comparación con las concentraciones en los sitios de monitoreo del canal de acceso en 2024, en 2025 los sedimentos de la zona de depósito presentaron menores concentraciones de zinc (Zn) y cromo (Cr), y el cobre (Cu) fue mayor (concentración por encima de los umbrales de nivel 2 de Ceará y Sao Paulo, Brasil). En cuanto al cadmio (Cd) y el plomo (Pb), en este estudio el consorcio pudo cuantificar las concentraciones con mayor exactitud; el Cd también fue superior a los umbrales de nivel 2 de Ceará y Sao Paulo (Brasil), y a pesar de que la concentración de Pb fue superior a la de los sitios de monitoreo del canal de acceso, cabe dudar de la nocividad de esta concentración en la zona de depósito. Del mismo modo, aunque la concentración de Ni fue ligeramente inferior al del sitio de monitoreo de INVEMAR en el canal de acceso, como está por encima del umbral de nivel 2 de Sao Paulo, surge la duda sobre lo perjudicial que podría ser la concentración en la zona de depósito.

En cuanto a los compuestos orgánicos, el mismo consorcio sólo reportó la concentración de hidrocarburos totales en la zona del depósito marino. Esta concentración fue reportada como un valor inferior a un límite de cuantificación de 0,01 mg/kg, que es mucho más bajo que los umbrales de nivel 1 para HAPs totales en las DCS de Florida, Ceará y Sao Paulo, para ecosistemas costeros.

Por otro lado, el estado de la comunidad hidrobiológica en el agua de esta zona de depósito también fue reportado por el Consorcio Dragado Puerto de Barranquilla 2024 - 2025 (2025), a partir de muestreos realizados en Feb/2025. Esta comunidad se caracterizó por lo siguiente: 1) 25 morfoespecies de fitoplancton (densidad promedio de 252,09 ind/L, y dominancia de *Thalassionema sp.*, que es común en aguas frías y turbulentas); 2) 16 morfoespecies de zooplancton (densidad media de 249,31 ind/m³, y dominancia de artrópodos en un 86,3%); 3) 12 especies de peces, de las cuales las dominantes eran la mojarra (*Eugerres plumieri*), la lisa rayada (*Mugil incilis*), y el bombache cabezón (*Larimus breviceps*).

5 Discusión sobre las sustancias de mayor preocupación



Capítulo 5 – Resumen Ejecutivo

En este capítulo se presenta una discusión sobre cuáles son las sustancias de mayor preocupación, entre aquellas para las cuales las entidades colombianas han reportado concentraciones en sedimentos del canal de acceso y de la zona de depósito marino.

Los puntos claves de este capítulo son:

- Sustancias minerales:
 - Metales pesados y arsénico: a partir de la información disponible se puede asumir que el Cu y el Cd son de mayor preocupación en la zona de depósito marino, y probablemente lo sean si los materiales dragados en el canal de acceso se esparcen en otras zonas costeras/marinas. En cuanto a los demás metales pesados, no hay certeza sobre su grado de preocupación, ya que la información sobre su concentración en el canal de acceso no ha sido suficientemente representativa, no está actualizada o no se ha cuantificado con exactitud.
 - Otras sustancias minerales: No fue posible evaluar la información de otras sustancias inorgánicas reportadas por Cormagdalena, debido a la ausencia de DCS para estas sustancias, por lo que aún no es posible determinar cuáles de estas sustancias son preocupantes.
 - Sustancias orgánicas:
 - Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs): La frecuencia y densidad de muestreo no permiten sacar conclusiones.
 - Plaguicidas: De lo identificado a partir de muestreos en 2014, sólo la concentración de atrazina estuvo por encima del umbral de nivel 1 para ecosistemas de agua dulce de Florida. Sin embargo, dado que Colombia ocupó en 2022 el primer lugar a nivel mundial en el uso de plaguicidas por área
-

de cultivos (FAO, 2024), es necesario obtener nueva información para evaluar las concentraciones de plaguicidas.

5.1 Sustancias minerales

5.1.1 Metales pesados y arsénico

Zinc (Zn), cobre (Cu), cromo (Cr), mercurio (Hg), cadmio (Cd), plomo (Pb) y níquel (Ni), son los metales pesados cuyas concentraciones en sedimentos fueron reportadas recientemente (en 2024 por los contratistas de Cormagdalena o INVEMAR, en el canal de acceso, y en 2025 por el Consorcio Dragado Puerto de Barranquilla 2024 - 2025, en la zona de depósito). Como de los reportes en los cuatro sitios de monitoreo de Cormagdalena, los de "Las Flores" fueron mucho más bajos que en los sitios vecinos, y por tanto no confiables, la información de concentraciones de metales pesados en este sitio no se tiene en cuenta en esta discusión. Además, las concentraciones de los metales pesados mencionados eran muy inferiores a los umbrales de nivel 1 de los Países Bajos, por lo que esta discusión se centra en las comparaciones con los DCS de Florida y Brasil.

Las concentraciones de Zn, Cu y Cr se determinaron con exactitud tanto en el canal de acceso como en la zona de depósito. En comparación con las DCS para ecosistemas de agua dulce, las concentraciones de estos tres metales en Puente Pumarejo fueron inferiores a los umbrales de nivel 1, mientras que en el resto de lugares se situaron como máximo entre los umbrales de nivel 1 y 2 de las DCS de Florida o Brasil (más próximos al nivel 1). Por otro lado, en comparación con los DCS para ecosistemas costeros, en todos los sitios de monitoreo las concentraciones de Zn y Cr estaban como máximo entre los umbrales de nivel 1 y 2 de los DCS de una o dos regiones (más cerca del nivel 1); mientras tanto, las concentraciones de Cu estaban por encima de los umbrales de nivel 2 de Ceará y Sao Paulo (Brasil). Por tanto, si las concentraciones de Zn, Cr y Cu son similares en todos los materiales dragados, serían motivo de preocupación moderada para esparcir los materiales en ecosistemas de agua dulce. Y para verter los materiales en ecosistemas costeros, el Zn y el Cr serían de preocupación moderada, pero el Cu de mayor preocupación. Hay que tener en cuenta que estas aplicaciones de materiales dragados en ecosistemas de agua dulce o costeros, corresponden con el posible uso de los materiales en SbN.

En cuanto a las concentraciones de mercurio (Hg), cadmio (Cd) y plomo (Pb) reportados en 2024 por los contratistas de Cormagdalena e INVEMAR, mientras se sigan reportando como valores por debajo de los límites de cuantificación (LOQ) de los dispositivos de espectrometría, no es posible determinar cuáles de estos metales son preocupantes. El Hg fue cuantificado con exactitud sólo en el sitio de monitoreo del INVEMAR, pero los datos de sólo este sitio no permiten sacar conclusiones sobre riesgos de contaminación por esta sustancia en todo el canal de acceso. Por otro lado, aunque las concentraciones de Cd y Pb fueron reportadas en los sitios de monitoreo de Cormagdalena como valores por debajo de los límites de cuantificación, las concentraciones cuantificadas con exactitud en la zona de depósito permiten considerar que en este sitio el Pb sería de preocupación moderada y el Cd de mayor preocupación.

Respecto a la plata (Ag) y el arsénico (As), que han sido reportados únicamente por UniCartagena en un sitio cercano a la zona del Puerto Industrial en Nov/2013 (Tejeda-Benítez et al., 2018), el reporte en un único sitio, y más aún de esa fecha, tampoco permite extraer conclusiones sobre si las concentraciones de estas sustancias son preocupantes. Así mismo, existe incertidumbre sobre si el níquel (Ni) es preocupante, ya que solo se ha reportado en el sitio de monitoreo del INVEMAR y en la zona de depósito, con concentraciones por encima de solo uno de los tres umbrales de nivel 2 de referencia para ecosistemas costeros (Sao Paulo).

En resumen, a partir de la información disponible se puede asumir que el Cu y el Cd son los más preocupantes en la zona de depósito, y es probable que lo sean si los materiales dragados en el canal de acceso se esparcen en otras zonas costeras/marinas. En cuanto a los demás metales pesados, existe incertidumbre sobre su grado de preocupación, ya que la información sobre su concentración en el canal de acceso no ha sido suficientemente representativa, no está actualizada o no se ha cuantificado con certeza.

5.1.2 Otras sustancias minerales

En términos de riesgo de toxicidad no fue posible evaluar la información de otras sustancias minerales reportadas por Cormagdalena, debido a la ausencia de DCS para estas sustancias, por lo cual aún no es posible determinar cuáles

son preocupantes. Las consideraciones sobre estas otras sustancias minerales se describen en la sección 6.1.2 (Vacíos de información).

5.2 Sustancias orgánicas

5.2.1 Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)

El fenantreno y el criseno son los HAPs que se han reportado más recientemente por INVEMAR en Sep/2024, y el flouranteno y el pireno fueron reportados por UniCartagena a partir de un muestreo realizado en Nov/2013 (Tejeda-Benitez et al., 2018). Independientemente de las fechas de muestreo, un reporte por sustancia en un mismo lugar no permite extraer conclusiones sobre si las concentraciones de estas sustancias son preocupantes, en relación con los materiales dragados a lo largo del canal de acceso. La baja concentración de hidrocarburos totales reportada en la zona de depósito por el Consorcio Dragado Puerto de Barranquilla 2024 - 2025, nos permite asumir que es probable que los HAPs no sean preocupantes en el canal de acceso, pero es necesario verificarlo.

5.2.2 Plaguicidas

De los 12 plaguicidas reportados por UniCartagena (Tejeda-Benitez et al., 2023), para los cuales se incluyen umbrales en las DCS de Florida, Brasil o Países Bajos, las concentraciones de 11 estaban por debajo de los umbrales de nivel 1 de referencia; sólo la concentración de atrazina estaba por encima del umbral de nivel 1 para los ecosistemas de agua dulce de Florida. A partir de esto se puede suponer que en el momento del muestreo (Nov/2014), ninguna de estas concentraciones de plaguicidas era preocupante, y que la atrazina podría haber generado algún daño a los organismos en el sitio de muestreo (cerca del puerto industrial de Barranquilla).

Sin embargo, la concentración de atrazina y posiblemente las concentraciones de otros de estos 12 plaguicidas, e incluso las de los otros 27 plaguicidas reportados por UniCartagena, podrían ser también de preocupación. Después de que la FAO (2024) reportó que a nivel mundial Colombia fue en 2022 el 9º país con mayor uso de plaguicidas, y el mayor usuario por área de cultivo, se puede suponer que algunos residuos de plaguicidas en los materiales dragados podrían ser perjudiciales para los organismos cuando se vierten en los ecosistemas de agua dulce y costeros.

Además, como UniCartagena determinó la concentración de plaguicidas a partir de una muestra recogida en noviembre, también es necesario tener en cuenta que noviembre forma parte de un período lluvioso y, por tanto, un período de mayor caudal del río. Por tanto, esta condición podría influir en tener niveles más bajos en comparación con los que se encuentran al final de los periodos secos (marzo y septiembre).

Por tanto, para verificar si existen plaguicidas de mayor preocupación, es necesario obtener nuevos datos sobre la concentración de plaguicidas, idealmente en marzo o septiembre. En la sección 7.1 se mencionan recomendaciones para evaluar estos nuevos datos, como parte de una evaluación exhaustiva de la calidad química de los sedimentos.

5.3 Fiabilidad de los datos

Si la información descrita en el capítulo 3 se tomara como referencia para definir el riesgo de contaminación de verter los materiales dragados en la zona de depósito, o de utilizar estos materiales en SbN, la decisión estaría sesgada. Cormagdalena, INVEMAR y UniCartagena han realizado sus muestreos de sedimentos a una profundidad desconocida, los cuales al parecer son muestreos superficiales, y hay que tener en cuenta que en las actividades de dragado el material removido corresponde a un intervalo de profundidad de 50-100 cm.

Por tanto, para verificar el riesgo de contaminación, es necesario elaborar una evaluación exhaustiva, representativa de los sedimentos que son dragados. Esto cobra especial relevancia considerando que algunas sustancias peligrosas, como los metales pesados, los compuestos orgánicos persistentes (por ejemplo, plaguicidas y productos químicos industriales), y los hidrocarburos procedentes de actividades industriales, agrícolas, municipales y mineras, terminan pasando al medio marino por medio de las aguas superficiales y subterráneas. Estos contaminantes pueden acumularse en organismos marinos, afectar la salud humana y deteriorar ecosistemas¹⁰.

¹⁰ [Contaminación del mar: aplicación de técnicas nucleares | OIEA](#)

Las recomendaciones para realizar esta evaluación se escriben a en el numeral 7.1.

6 Vacíos de información para evaluar la calidad química de los sedimentos en el canal de acceso al puerto de Barranquilla



Capítulo 6 – Resumen Ejecutivo

Este capítulo presenta un análisis de los vacíos de información para evaluar la calidad química de los sedimentos en el canal de acceso al puerto de Barranquilla. En general, estos vacíos corresponden a sustancias cuyas concentraciones no han sido determinadas, no están actualizadas, o no han sido cuantificadas con exactitud debido a los límites de cuantificación de los dispositivos de laboratorio.

Es recomendable realizar más investigaciones, aplicando una mayor densidad y frecuencia de muestreo para cerrar los vacíos de información y las incertidumbres de contaminación.

- Sustancias minerales:
-

- En la determinación de la idoneidad para los usos benéficos del material dragado, otras sustancias a tener en cuenta son el cobalto, el molibdeno, el antimonio, el amoníaco, el fosfato, los sulfuros, el hierro (Fe), el cianuro (libre o complejo) y los tiocianatos, entre otras opcionales. Estas son importantes especialmente cuando los sedimentos a usar se incorporan en ecosistemas de agua dulce o costeros. Para algunas de estas sustancias no hay umbrales en las DCS de Florida, Brasil y los Países Bajos, y se sugiere determinar umbrales para Colombia.
- En sedimentos donde las altas concentraciones de materia orgánica son resultado de la contaminación antropogénica, las altas concentraciones de amoníaco y sulfuros disueltos en estos sedimentos pueden considerarse sustancias preocupantes.
- Sustancias orgánicas:
 - Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs): se sugiere ampliar la investigación con otros HAPs
 - Plaguicidas: Las sustancias comúnmente utilizadas en plaguicidas en Colombia son mancozeb, 2,4-D, glifosato, paraquat, imidacloprid y clorpirifos. Por tanto, se podría considerar el análisis de estas sustancias.

Otros datos que se requieren para este tipo de evaluación son la granulometría, el contenido de carbono orgánico y el pH. Además, también se podría estudiar la abundancia de coliformes, y de contaminantes emergentes como los PFAS.

6.1 Sustancias minerales

6.1.1 Metales pesados y metaloides

Así como UniCartagena determinó Concentraciones de As, Ag y Ni, es necesario que estas sustancias también sean determinadas por la institución colombiana que va a monitorear la calidad del sedimento para determinar la idoneidad para los usos benéficos del material dragado. Además, otros metales pesados que también podrían ser preocupantes son el cobalto (Co) y el molibdeno (Mo); de estos dos elementos es necesario tener en cuenta que mientras el Mo es altamente soluble en agua de mar, el Co es menos tóxico en este ambiente salino. Además, otro metaloide a tener en cuenta es el antimonio (Sb).

Para comprobar si todos los metales pesados y metaloides mencionados en este informe son preocupantes, se sugiere incluirlos en una evaluación exhaustiva de la calidad química de los sedimentos, para la cual se describen recomendaciones en la sección 7.1.

6.1.2 Otras sustancias minerales

En cuanto a macronutrientes, a pesar de que las concentraciones de nitrógeno total, fósforo total y sulfatos han sido determinadas por contratistas de Cormagdalena (sección "Otras sustancias minerales" en numeral 3.2.1), en términos de riesgo de eutrofización¹¹ y posterior liberación de toxinas por parte de ciertas algas en ecosistemas lénticos, son de preocupación las concentraciones de amoníaco, fosfato y sulfuro de hidrógeno. MacDonald (1994) mencionó que variables como el amoníaco y el sulfuro de hidrógeno tienen el potencial de afectar a los organismos bentónicos, y que las concentraciones de estos compuestos deben hacer parte de las evaluaciones de la calidad de los sedimentos en lugares específicos. Posteriormente, MacDonald et al. (2003) mencionaron que las concentraciones de amoníaco y sulfuro de hidrógeno en el agua de poro de los sedimentos son indicadores de calidad de alta prioridad.

En los sedimentos en los cuales las altas concentraciones de materia orgánica son el resultado de la contaminación antropogénica, las altas concentraciones de amoníaco y sulfuro disueltos en estos sedimentos pueden considerarse sustancias preocupantes. Tales concentraciones pueden ser tóxicas y tener efectos sobre la ecología bentónica (Simpson et al., 2013). Este podría ser el caso de Colombia, donde no todas las aguas residuales son tratadas y parte de ellas se acumulan en el río Magdalena, de ahí que sea necesario verificar el estado de contaminación de amoníaco, fosfato y sulfuros.

¹¹ Estado de un cuerpo de agua excesivamente enriquecida con nutrientes, lo que provoca un crecimiento excesivo de plantas y algas. Este crecimiento excesivo puede perturbar el ecosistema, provocando el crecimiento excesivo de floraciones de algas nocivas (liberadoras de toxinas), el agotamiento del oxígeno e incluso la mortandad de peces.

Al considerar el potencial uso de los materiales dragados como enmienda para el suelo en agricultura, otros macronutrientes a determinar son el potasio (K), el calcio (Ca) y el magnesio (Mg), los cuales con denominados como bases intercambiables. Por otro lado, otros micronutrientes a tener en cuenta son el hierro (Fe), el manganeso (Mn), y el boro (B), los cuales en concentraciones altas también pueden ser de preocupación tanto en ecosistemas de agua dulce, en ecosistemas costeros y en terrenos agrícolas. Cormagdalena ha reportado en agua del canal de acceso concentraciones de hierro considerablemente superiores al umbral de la resolución 0883/2018, por lo cual se supone que la concentración de hierro en sedimentos puede ser de preocupación. Además, otras sustancias minerales para las cuales falta determinar sus concentraciones son el cianuro y los tiocianatos.

6.2 Sustancias orgánicas

6.2.1 Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)

Además de los HAPs que han sido monitoreados por INVEMAR, se sugiere determinar las concentraciones de los otros HAPs mencionados en el Apéndice B. Para verificar si los HAPs son preocupantes en los sedimentos del canal de acceso, se sugiere incluir los HAPs de este Apéndice B, en una evaluación exhaustiva de la calidad química de los sedimentos, para lo cual se describen recomendaciones en la sección 7.1.

6.2.2 Plaguicidas

Además de los plaguicidas que fueron reportados por UniCartagena a partir de un muestreo realizado en Nov/2014 (Tejeda-Benitez et al., 2023), se sugiere determinar la concentración de los otros plaguicidas mencionados en el Apéndice B. Además, es necesario tener en cuenta que según el IDEAM (2023), los ingredientes activos mayormente utilizados en Colombia son mancozeb, 2,4-D, glifosato, paraquat, imidacloprid y clorpirifos. Sin embargo, las DCS de Florida, Brasil y Países Bajos no incluyen umbrales para estos plaguicidas, por lo que Colombia debe determinar los umbrales respectivos.

Para verificar si los plaguicidas reportados por UniCartagena en Nov/2014 son preocupantes en los sedimentos del canal de acceso, y para saber si los otros plaguicidas sugeridos también son preocupantes, se sugiere incluir al menos los plaguicidas mencionados en el Apéndice B, en una evaluación exhaustiva de la calidad química de los sedimentos, para lo cual se describen recomendaciones en la Sección 7.1.

Otras sustancias orgánicas y tributilestaño

Otros compuestos orgánicos como los aromáticos, los clorobencenos, los clorofenoles, los bifenilos policlorados (PCB), otros hidrocarburos clorados y otras sustancias orgánicas, también podrían ser preocupantes en los sedimentos del canal de acceso. En general, estos compuestos proceden de combustibles, disolventes industriales, detergentes, desinfectantes, tintes, pinturas, productos aislantes, productos para la conservación de la madera y productos utilizados para elaborar plásticos y productos químicos sintéticos. Además, otra sustancia que podría ser preocupante es el tributilestaño (TBT), que es un compuesto organometálico peligroso para los animales marinos debido a su alta biodisponibilidad en agua salada en contraste con el agua dulce.

Se sugiere determinar si todos los compuestos mencionados son preocupantes, y también podrían incluirse en una evaluación exhaustiva de la calidad química de los sedimentos, cuyas recomendaciones se describen en la sección 7.1.

6.3 Información adicional necesaria para evaluar la calidad de los sedimentos

6.3.1 Granulometría, contenido de materia orgánica, pH y capacidad de intercambio catiónico

La granulometría, o más concretamente el contenido de arcilla, así como el contenido de materia orgánica, son características de los sedimentos que influyen en la biodisponibilidad de la mayoría de sustancias minerales. Esto se debe a que la arcilla y la materia orgánica tienen cargas eléctricas negativas, especialmente a un pH alto en el caso de la materia orgánica e independientemente del pH en el caso de la arcilla, y a dichas cargas negativas se adhieren las sustancias minerales presentes como cationes (Simpson y Batley, 2016; Blume et al., 2016; Garavito, 2024). Dado

que esta fracción de sustancias adheridas es la que se considera reactiva, o potencialmente biodisponible, es relevante hacer la determinación de los contenidos de arcilla y materia orgánica, así como del pH del sedimento.

De acuerdo a lo anterior, para futuras determinaciones de granulometría de sedimento se sugiere distinguir las partículas de arcilla, limo, arena y gravilla, respectivamente como los tamaños <0,002 mm, entre 0,002 y 0,063 mm, entre 0,063 y 2 mm, y >2 mm (Simpson & Batley, 2016). En cuanto a la distinción de los contenidos de arena, limo y arcilla, se sugiere remover primero la materia orgánica mediante combustión de la muestra, después aislar la gravilla pasando la muestra por un tamiz de 2 mm, y posteriormente aplicarle al material que pasa por este tamiz un método gravimétrico para determinación de textura. Este método puede ser el de Bouyoucos (NTC 6299:2018), o para mayor exactitud en la determinación se aplica el método de pipeta (ISO 11277:2020), el cual también es aplicado en Colombia.

Adicionalmente, teniendo en cuenta que la sumatoria de cargas negativas de la arcilla y la materia orgánica se conoce como la Capacidad de intercambio catiónico - CIC (Simpson y Batley, 2016; Blume et al., 2016; Garavito, 2024), esta es una característica que también se necesita determinar mediante prueba de laboratorio (NTC 5268:2014), con el fin de evaluar la biodisponibilidad de la mayoría de metales y del arsénico.

6.3.2 Mineralogía de arcillas

La información de los tipos de arcilla y su composición (mineralogía), es relevante para lo siguiente. Por un lado, permite conocer el contenido total de cada sustancia mineral de preocupación (metales y arsénico), para hacer una relación de este contenido con el de la fracción potencialmente biodisponible. Cuando el sedimento tiene alto contenido de arcilla, es necesario evaluar el riesgo de que de esta se liberen a largo plazo contenidos preocupantes de metales y arsénico, adicionales los de la fracción potencialmente biodisponible, debido a la meteorización química¹² de la arcilla. El grado de esta meteorización depende del clima, las condiciones hídricas y la presencia de agentes biológicos, del ambiente donde esté presente el material (Blume et al., 2016; Garavito, 2024).

Por otro lado, es necesario tener en cuenta que el tipo de arcilla tiene efecto en su grado de expansión y contracción. Si el tipo de arcilla predominante es caolinita, esta es más susceptible a compactarse en ambientes húmedos, mientras que si predomina la arcilla esmectita, esta es más susceptible a contraerse o expandirse según su nivel de humedad (Blume et al., 2016; Garavito, 2024). Según lo anterior, cuando el sedimento tiene alto contenido de arcilla, la determinación del tipo de arcilla es requerida para determinar la viabilidad de varios usos del material dragado.

6.3.3 Otro tipo de información a tener en cuenta

Abundancia de coliformes fecales

No todas las aguas residuales domésticas de la cuenca del río Magdalena son tratadas, y en 2024 Cormagdalena e INVEMAR reportaron abundancias de coliformes totales en el agua de sus sitios de monitoreo del canal de acceso, que fueron superiores al límite permisible de 1000 individuos por 100 ml (límite en cuerpos de agua de uso recreativo, según el artículo 2.2.3.3.9.7. del decreto 1076/2015 de Colombia). Con base en lo anterior, la abundancia de coliformes en el agua de poro de los sedimentos podría ser preocupante para los usos de los materiales dragados en los ecosistemas de agua dulce, donde es probable que los seres humanos estén en contacto con el agua. Según lo anterior, en el numeral 3.2.2 del reporte 4 de esta consultoría se presenta una propuesta para los casos en los que se necesita evaluar la abundancia de coliformes fecales en el agua de poro de los sedimentos.

Contaminantes emergentes

Los contaminantes emergentes incluyen productos farmacéuticos, microplásticos, PFAS y nanopartículas sintéticas. Tras el desarrollo de la nanotecnología en el siglo XXI, se ha llevado a cabo la síntesis de partículas de menos de 100 nm para diversos usos. Mientras que algunas de estas nanopartículas (NPs) son orgánicas y sus subproductos no son tóxicos, algunas NPs que contienen plata (Ag), oro (Au) o cobre (Cu), pueden ser tóxicas. Se necesita más investigación sobre los efectos ambientales de estas NPs, que están presentes en algunos dispositivos electrónicos, cosméticos y otros productos, y se han utilizado como agentes antimicrobianos en plaguicidas, ropa deportiva y envases de alimentos (Tortella et al., 2024; Altammar, 2023; García-Torra et al., 2021).

¹² Descomposición de rocas y minerales por reacciones químicas con el agua, el aire y agentes biológicos.

En cuanto a los microplásticos, estos pueden ser de diferentes composiciones poliméricas, tamaños y formas, y algunos polímeros contienen aditivos que se lixivian con el tiempo (por ejemplo, plastificantes, retardantes de llama o estabilizantes). Debido a la presencia de microplásticos en el aire y el agua, estos han entrado en la cadena alimenticia, y mientras que algunos académicos afirman que los riesgos potenciales para la salud humana siguen estando mal definidos, otros han reportado que los microplásticos causan alteraciones endocrinas y trastornos metabólicos, como obesidad y diabetes (Marcharla et al., 2024; Brouwer et al. 2023). En Colombia, la densidad de microplásticos ha sido monitoreada por INVEMAR únicamente en playas turísticas costeras, con el apoyo de MinAmbiente. El INVEMAR ha reportado microplásticos de tamaño entre 1-5000 μm , teniéndolos en cuenta como un factor de degradación ambiental, causado principalmente por la inadecuada disposición y manejo de residuos líquidos y sólidos (INVEMAR-CRA, 2024).

Por otro lado, las aguas residuales domésticas incluyen compuestos farmacéuticos activos (PhACs), que también pueden acumularse en sedimentos y organismos. Estos PhACs causan serios daños a la salud humana y a los organismos acuáticos, incluyendo disrupción endocrina, disrupción de la tiroides y otras hormonas, y disrupción de la reproducción de los peces. En Colombia, la Universidad de la Costa y la Unidad Central del Valle del Cauca han reportado concentraciones de varios PhACs en ríos y en ecosistemas costeros; estos PhACs incluyen naproxeno, ibuprofeno, cafeína y estrógenos (Guzmán-Tordecilla et al, 2025; Buitrago-Gonzalez et al., 2024), y también se han reportado drogas ilícitas (Buitrago-Gonzalez et al., 2024).

En cuanto a los PFAS (per- y polifluoroalquilos), estos se han utilizado en el proceso de cromado, en el tratamiento de textiles, alfombras y papel, y como compuestos de pinturas, envases de alimentos, espumas ignífugas y utensilios de cocina antiadherentes. Estas sustancias se consideran contaminantes orgánicos persistentes, que causan problemas de salud como daños hepáticos, enfermedades tiroideas, obesidad, problemas de fertilidad y cáncer¹³.

En cuanto a umbrales de los contaminantes emergentes mencionados, solo se han incluido los de PFAS en una normativa neerlandesa, y en los demás países no se han determinado umbrales. Si existe interés en implementar umbrales para estos compuestos en las DCS de Colombia, se requiere investigación para determinar el riesgo de toxicidad causado por cada compuesto.

¹³ <https://quimicos.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2024/09/Sin-titulo.pdf>

7 Recomendaciones para evaluar la calidad química de los sedimentos en las áreas de dragado de los puertos marítimos de Colombia, y establecer lineamientos de calidad de los sedimentos



Capítulo 7 – Resumen Ejecutivo

Para el área de dragado de cada zona marítima portuaria, se recomienda realizar una evaluación exhaustiva de la calidad química de los sedimentos, con el fin de verificar cuáles de las sustancias reportadas hasta el momento por las entidades colombianas son preocupantes, y determinar cuáles de las otras sustancias mencionadas en el apéndice F son también preocupantes. Posteriormente, la información generada puede ser utilizada como base para determinar las DCS específicas para cada zona marítima portuaria de Colombia.

Los principales puntos clave de este capítulo son:

- Se recomienda realizar una evaluación exhaustiva de la calidad química del sedimento para verificar qué sustancias son preocupantes tanto en el canal como en la zona de depósito.
 - Muestreo: En general, se sugiere considerar cuatro variables para el muestreo de sedimentos: 1) # de sitios de muestreo y su distribución; 2) intervalos de profundidad a caracterizar; 3) # de submuestras requeridas para recolectar una muestra compuesta representativa de cada intervalo de profundidad; 4) # de repeticiones por sitio de muestreo, para tomar en cuenta la variabilidad dentro del sitio mediante análisis estadístico.
 - Técnicas analíticas: cada técnica analítica posee sus propios puntos fuertes y limitaciones, por lo que la elección del método depende de los objetivos analíticos específicos. Factores como los compuestos de interés, sus propiedades fisicoquímicas, como la volatilidad, y la sensibilidad deseada para el compuesto analizado, desempeñan un papel importante en el proceso analítico de toma de decisiones. Además, también deben tenerse en cuenta los requisitos específicos de la aplicación, y las consideraciones de costos son una limitación en algunos casos.
-

7.1 Evaluaciones exhaustivas de la calidad química de los sedimentos, para verificar qué sustancias son preocupantes en los sedimentos de las zonas portuarias marítimas

Para verificar qué sustancias son preocupantes no solo en el canal de acceso al puerto de Barranquilla, sino también en las áreas de dragado de los demás puertos marítimos de Colombia, se sugiere la elaboración de evaluaciones exhaustivas de la calidad de los sedimentos. Para estas evaluaciones se sugiere determinar las concentraciones de las sustancias mencionadas en el Apéndice F. Posteriormente, una vez obtenida la información, mientras no haya aún umbrales propios para sedimentos de Colombia se puede comparar la concentración de cada sustancia con los umbrales de Florida, tanto para ecosistemas de agua dulce (Apéndice B), como para ecosistemas costeros (Tabla 4-1 del informe 2 de esta consultoría).

Se sugiere usar temporalmente los umbrales de Florida debido a que en el continente americano oficialmente solo hay umbrales propios de EEUU y Canadá, y de estos países el estado de Florida es el que tiene condiciones ambientales más similares a las de Colombia. En cuanto a los umbrales de Brasil, aquellos para ecosistemas de agua dulce son adoptados de umbrales propios de EEUU y Canadá, y aquellos para ecosistemas costeros fueron propuestos por parte de universidades. Aunque a estos últimos se les atribuye unos métodos válidos, estos no han sido oficialmente implementados por alguna autoridad brasilera, por lo cual es mejor no usar umbrales de Brasil como referencia temporal en Colombia.

Tras haber comparado la información generada por Cormagdalena, INVEMAR y UniCartagena, sobre la calidad de los sedimentos en el canal de acceso al puerto de Barranquilla, puede considerarse que esta comparación es sesgada, debido a posibles diferencias de métodos de muestreo, y a las diferencias métodos de laboratorio aplicados por cada entidad. Dado que los reportes de Cormagdalena e INVEMAR no mencionan detalles sobre el método de muestreo, es necesario que tal información sea descrita en próximos reportes. Según lo anterior, para elaborar evaluaciones exhaustivas de calidad de sedimentos, es necesario definir primero una metodología, para la cual se recomiendan a continuación criterios a tener en cuenta para el muestreo de sedimentos y la aplicación de técnicas analíticas de laboratorio.

7.1.1 Recomendaciones para el muestreo de sedimentos

Mientras que INVEMAR y UniCartagena han caracterizado la calidad de los sedimentos con el fin de evaluar el estado de salud de los ecosistemas marino-costeros y de agua dulce, el objetivo de Cormagdalena ha sido verificar si sus contratistas encargados de las actividades de dragado de mantenimiento cumplen con su plan de manejo ambiental. Se desconoce a que intervalo de profundidad corresponden las muestras tomadas por estas entidades, y se infiere a modo general que estas corresponden a muestras superficiales. En contraste con esto, considerando el interés actual de determinar si los materiales dragados pueden ser utilizados en usos benéficos, es necesario tener en cuenta que el dragado se realiza hasta una profundidad de 50-100 cm, y ante esto se sugiere aplicar un método de muestreo que permita obtener información representativa de esta profundidad de dragado, incluyendo la información necesaria sobre estratificación.

En general, se sugiere considerar cuatro variables para el muestreo de sedimentos: 1) # de sitios de muestreo y su distribución; 2) intervalos de profundidad a caracterizar; 3) # de submuestras necesarias para recolectar una muestra compuesta representativa de cada intervalo de profundidad; 4) # de repeticiones por sitio de muestreo, para tener en cuenta la variabilidad dentro del sitio mediante análisis estadístico.

Como es necesario obtener información sobre la calidad de los sedimentos representativa de la profundidad que alcanza una draga (50-100 cm), se sugiere aplicar un método de muestreo que permita extraer sedimentos al menos hasta los 50 cm de profundidad, de los que se puedan tomar submuestras. Para ello, algunos investigadores han obtenido sus submuestras a partir de sedimentos extraídos mediante una herramienta multinúcleo o un muestreador de caja Ekman. Mientras que el multinúcleo extrae el sedimento en 3-4 tubos de plástico¹⁰, el muestreador de caja Ekman extrae el sedimento en la caja, y de ese material se extrae parte en tubos de plástico (Figure 7-1).

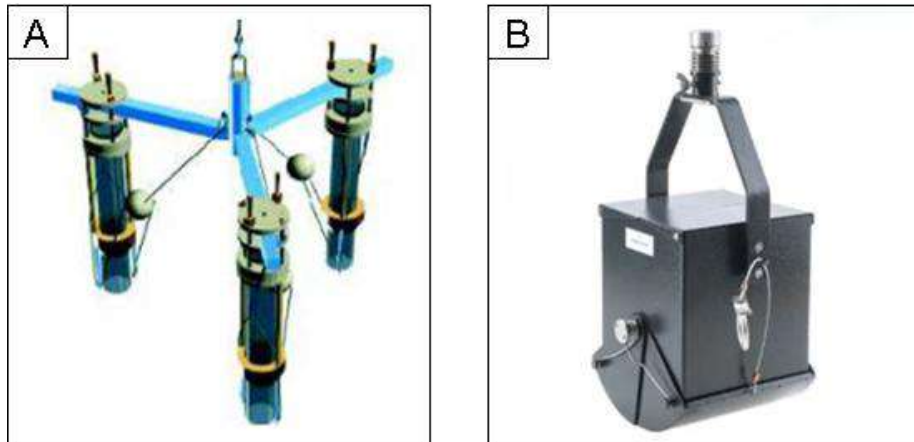


Figure 7-1: (A) Herramienta Multinúcleo (Fuente: IDEAM & INVEMAR, 2021); (B) Muestreador de caja Ekman (Fuente: environmental-expert.com). Véase también UIC Sediment Coring aboard the R/V Lake Guardian (Herramienta Multinúcleo) y TDI-Brooks Box Coring (Muestreador de caja Ekman).

La cuchara Van Veen es otra herramienta que puede utilizarse para extraer sedimentos, pero es útil cuando el interés es obtener submuestras a menor profundidad. Por su parte, la herramienta multinúcleo es la tecnología más precisa para el muestreo a mayor profundidad, pero para esta tecnología es necesario realizar una inversión superior a la del muestreador de caja Ekman.

Una vez extraído el sedimento en los tubos de plástico, se pueden extraer submuestras de 2 cm de espesor en los intervalos de profundidad de interés (por ejemplo, 0-2 cm y 40-42 cm). Para obtener cada muestra compuesta, el # de submuestras depende del # de tubos utilizados en el muestreo, y el investigador puede decidir si se realizan repeticiones en cada sitio de muestreo, para tener en cuenta la variabilidad dentro del sitio mediante análisis estadístico (al menos tres repeticiones). En cuanto al número y la distribución de los lugares de muestreo, el investigador puede determinar esto teniendo en cuenta la extensión y la forma de la zona de estudio.

7.1.2 Recomendaciones sobre técnicas analíticas de laboratorio

Las técnicas analíticas de laboratorio abarcan una amplia gama de métodos diseñados para detectar sustancias específicas y cuantificar su concentración. Previamente, se requiere extraer de la muestra la fracción de interés. En cuanto a la extracción de cualquier metal pesado o metaloide, para evaluar la calidad química de los sedimentos es necesario extraer la "concentración reactiva" (también llamada "concentración potencialmente biodisponible"). Esta extracción se realiza mediante una digestión química de laboratorio con una solución ácida. Las técnicas aplicadas para determinar la concentración reactiva de metales pesados y arsénico reportadas por entidades colombianas, excepto para mercurio (Hg), han sido la solución $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ (Cormagdalena; Tejada-Benitez et al., 2018), la digestión ácida asistida por microondas¹⁴ (INVEMAR), y el Aqua regia (Tejada-Benitez et al., 2016). En los últimos años se ha considerado que el Aqua regia extrae más de la concentración reactiva, por lo que se sugiere utilizar la solución $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$. Respecto al Hg, considerando su volatilidad se sugiere extraer su concentración reactiva mediante calentamiento controlado en horno de descomposición oxigenada, técnica que ha sido aplicada por INVEMAR. En cuanto a las técnicas aplicadas para la extracción de compuestos orgánicos de muestras de sedimentos, éstas se reseñan en la Tabla 7-1.

Tabla 7-1: Resumen de las técnicas de extracción utilizadas por los contratistas de Cormagdalena, INVEMAR y UniCartagena, para extraer compuestos orgánicos.

Tipo de sustancia(s)	Técnica de extracción	Ventajas de la técnica	Desventajas de la Técnica	Entidad que midió (Fuente de los datos)
Plaguicidas	QUEChERS ¹⁵	- Uso mínimo de disolventes	- No es adecuada para todas las muestras - Se utiliza más para el	UniCartagena - Tejada-Benitez et al. (2023)

¹⁴ Con la solución $\text{HNO}_3 + \text{HF}$, o la solución $\text{HCl} + \text{H}_2\text{O}_2$

¹⁵ Rápido, fácil, barato, eficaz, resistente y seguro

Tipo de sustancia(s)	Técnica de extracción	Ventajas de la técnica	Desventajas de la Técnica	Entidad que midió (Fuente de los datos)
HAPs e hidrocarburos	Soxhlet	- Eficaz para la extracción sólido-líquido - Bien establecido y fiable	- Requiere mucho tiempo - Uso elevado de disolventes - Muestra una menor eficiencia de extracción (en comparación con la extracción asistida por microondas), especialmente para los HAP más ligeros	UniCartagena - Tejada-Benitez et al. (2017), y Cormagdalena
Plaguicidas y HAPs	Extracción asistida por microondas	- Proceso de extracción más rápido - Menor uso de disolventes en comparación con Soxhlet - El mejor rendimiento para plaguicidas organoclorados ¹⁶	- Requiere equipo especializado - Puede no ser adecuado para todos los tipos de muestras	INVEMAR

Tras la extracción, puede utilizarse una amplia gama de métodos analíticos para cuantificar la concentración de sustancias en los sedimentos. Dependiendo de los métodos analíticos, pueden alcanzarse diferentes límites de detección (LOD) y límites de cuantificación (LOQ). Los LOD representan la concentración más baja de sustancias a partir de la cual se puede notificar la presencia de la sustancia, siendo la cuantificación de baja exactitud, mientras que el límite de cuantificación (LOQ) representa la concentración más baja a partir de la cual la sustancia no sólo se puede detectar de forma fiable, sino también cuantificar con exactitud. Por tanto, es imperativo tener un conocimiento claro de los LOD, así como de los LOQ, ya que la interpretación de los datos de baja concentración puede volverse incierta y conducir a conclusiones erróneas. Además, en función de las características del compuesto de interés, pueden utilizarse diferentes técnicas analíticas; por ejemplo, para los metales pesados, son adecuadas la AAS (espectrometría de absorción atómica) de llama o la ICP-MS (espectrometría de masas de plasma inducido inductivamente), mientras que, para los compuestos volátiles, como muchos plaguicidas o algunos HAPs, es adecuada la GC-MS (cromatografía de gases - espectrometría de masas). En la Tabla 7-2 se presentan las ventajas y desventajas de las técnicas analíticas utilizadas para cuantificar las concentraciones reportadas por las entidades colombianas.

Tabla 7-2 : Resumen de las técnicas analíticas utilizadas por los contratistas Cormagdalena, INVEMAR y UniCartagena.

Tipo de contaminantes medidos	Método(s) analítico(s)	Ventajas del método analítico	Desventajas Método Analítico	LOD [∇]	LOQ [∇]	Unidades Típicas [∇]	Entidad que ha usado la tecnología
Algunos metales pesadosn (Cr, Ni, Pb, Zn, Cd y Cu)	Espectrometría de absorción atómica (AAS, por sus siglas en inglés), mediante uso de llama.	- Altamente selectivo ⁱ - Fácil de manejar con una preparación sencilla de la muestra - Económico (CAPEX y OPEX)	- Análisis de un solo elemento (un elemento cada vez) - Interferencias químicas ⁽ⁱⁱ⁾	2–500 µg/L ^(17, 18, 19, 20)	20–5000 µg/L ^(14, 15, 16, 17)	µg/L	INVEMAR y Cormagdalena

¹⁶ Zondo, S., & Mahlambi, P. (2025). Comparison of soxhlet and microwave-assisted extractions efficiency for the determination of herbicides in soil and maize crop: Cumulative and health risks assessment. *Environmental and Food Safety Journal*. <https://doi.org/10.1002/efd2.177>

¹⁷ U.S. Environmental Protection Agency. (n.d.). Method 7000B: *Flame atomic absorption spectrophotometry*. In *Test methods for evaluating solid waste, physical/chemical methods (SW-846)*. Retrieved from <https://www.epa.gov/hw-sw846>

¹⁸ Cs Analytical. (n.d.). *Comparison of atomic spectroscopy techniques and the advantages of ICP-MS vs. AA & ICP-OES*. Retrieved December 9, 2025, from <https://csanalytical.com/comparison-atomic-spectroscopy-techniques-advantages-icp-ms-vs-aa-icp-oes/>

¹⁹ Tyler, G. (n.d.). *ICP-OES, ICP-MS and AAS techniques compared* [PDF]. Jobin Yvon S.A.S., Horiba Group. Retrieved December 9, 2025, from https://www.horiba.com/fileadmin/uploads/Scientific/Downloads/OpticalSchool_CN/TN/ICP/ICP-OES_ICP-MS_and_AAS_Techniques_Compared.pdf

²⁰ Agilent Technologies. (n.d.). *GFAAS vs ICP-MS vs ICP-OES*. Retrieved December 9, 2025, from <https://www.agilent.com/en/product/atomic-spectroscopy/gfaas-vs-icp-ms-vs-icp-oes>

Tipo de contaminantes medidos	Método(s) analítico(s)	Ventajas del método analítico	Desventajas Método Analítico	LOD ^v	LOQ ^v	Unidades Típicas ^v	Entidad que ha usado la tecnología
Arsénico y otros metales pesados (Cr y Ag)	Espectrometría de masas mediante plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS).	- Alta sensibilidad ^{iv} (detección de ultra trazas, por lo que el LOD es muy bajo) - Análisis multielemento	- Interferencia espectral - Costo elevado (CAPEX y OPEX)	5–20 ng/L ^(15, 16, 17)	50–200 ng/L ^(15, 16, 17)	ng/L	UniCartagena - Tejada-Benitez et al. (2018)
HAPs	Cromatografía de gases seguida de espectrometría de masas (GC - MS)	- Alta sensibilidad	- Volatilidad de la muestra: Limitada a compuestos que pueden ser vaporizados sin descomponerse	1–10 ng/L (SIM mode) ²¹	10–300 ng/L	ng/L	UniCartagena - Tejada-Benitez et al. (2018) e INVEMAR
Plaguicidas (cloro orgánico y otros)	Cromatografía de gases seguida de espectrometría de masas en tándem (GC-MS/MS)	- Mayor selectividad y sensibilidad en comparación con la GC-MS	- Mayor costo y complejidad en comparación con la MS simple debido a la columna adicional de MS	0.1–1 ng/L ²²	1–10 ng/L	ng/L	UniCartagena - Tejada-Benitez et al. (2018)

- Se centra en la medición de la absorción de longitudes de onda específicas por átomos, lo que reduce la probabilidad de superposición de señales de otros elementos
- La interferencia química se produce cuando los componentes de la matriz de la muestra interactúan con el analito, impidiendo una atomización eficiente o alterando su señal de absorción, lo que conduce a mediciones inexactas
- Analiza principalmente las capas superficiales, lo que limita su capacidad para evaluar la composición a granel y lo hace sensible a los contaminantes superficiales
- La sensibilidad en química analítica se refiere a la capacidad de un método o instrumento analítico para detectar y medir con fiabilidad pequeñas cantidades o bajas concentraciones de una sustancia en una muestra
- Los límites de detección y cuantificación pueden variar significativamente según el elemento o analito, el método específico, la configuración del instrumento y las condiciones de la matriz de la muestra. Los valores proporcionados son rangos prácticos típicos para el análisis acuoso en condiciones estándar. Sin embargo, LOQ (límite de cuantificación) suele ser 3 a 10 veces el LOD (Limite de Detección) ²³.

La selección de una técnica analítica depende en gran medida de los requisitos específicos del análisis, como el tipo de muestra, el analito de interés y la sensibilidad deseada para ajustarse a la normativa establecida y a su umbral específico por compuesto. Como se presenta en las tablas anteriores, se ha utilizado una serie de técnicas analíticas y de extracción para detectar y cuantificar una amplia diversidad de compuestos.

- La espectroscopia de absorción atómica de llama (AAS de llama) es adecuada para el análisis de trazas de metales en líquidos, pero se limita a la detección de un solo elemento, lo que hace que el análisis de múltiples elementos lleve mucho tiempo.
- La espectrometría de masa por plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) ofrece una sensibilidad excepcional para la cuantificación a nivel de trazas, aunque es costosa y compleja.
- La cromatografía de gases más espectrometría de masas (GC-MS) destaca en el análisis de compuestos orgánicos volátiles con alta sensibilidad, aunque se limita sólo a compuestos volátiles.
- La cromatografía de gases más espectrometría de masas en tándem es más sensible que la GC-MS, por tener una columna MS adicional, pero también es más costosa y compleja.

²¹ Thermo Fisher Scientific. (n.d.). Technical Note TN10431: GC-MS detection limits in SIM mode for environmental analysis. Thermo Fisher Scientific. Retrieved from <https://www.thermofisher.com>

²² Agilent Technologies. (n.d.). Mass spectrometry guide: GC-MS and GC-MS/MS sensitivity and quantitation performance. Agilent Technologies. Retrieved from <https://www.agilent.com>

²³ CORESTA. (2020). Guide No. 28: LOD/LOQ for determination of metals. Retrieved December 9, 2025, from https://www.coresta.org/sites/default/files/technical_documents/main/Guide-No28_LODLOQ-for-Determination-of-Metals_Nov20.pdf

Otra tecnología que puede utilizarse para cuantificar la concentración de elementos minerales en sedimentos, tras la extracción de la concentración reactiva, es la fluorescencia de rayos X (FRX). Esta tecnología es ideal para el análisis rápido, detecta varios elementos y es más económica que la ICP-MS. Sin embargo, para la cuantificación a nivel de trazas o para muestras complejas, la FRX no es suficientemente precisa y sensible en comparación con técnicas de espectrometría como la ICP-MS. Recientemente se ofrece en el mercado una nueva tecnología llamada FRX monocromático, la cual es más económica que el ICP-MS y tiene capacidad similar de cuantificación, y ha sido utilizada en Colombia por entidades como Agrosavia y el CIAT.

En conclusión, cada técnica analítica posee sus propios puntos fuertes y limitaciones, por lo que la elección del método depende de los objetivos analíticos específicos. Factores como los compuestos de interés, sus propiedades fisicoquímicas, como la volatilidad, y la sensibilidad deseada para el compuesto analizado, desempeñan un papel importante en el proceso analítico de toma de decisiones. Sin embargo, se recomienda que las técnicas analíticas seleccionadas en el futuro exijan un límite mínimo de cuantificación inferior a los umbrales del nivel 1 establecidos en las directrices de calidad de los sedimentos utilizadas como referencia. Finalmente, también deben tenerse en cuenta los requisitos específicos de la aplicación, y las consideraciones de costos son una limitación en algunos casos.

7.2 Recomendaciones para establecer directrices de calidad de sedimentos para cada zona marítima portuaria de Colombia

Los investigadores que propusieron las DCS específicas por sitio, para las costas de las regiones de Ceará y Sao Paulo (Brasil), sugirieron que estas DCS podrían ser adoptadas por el estado como punto de referencia para las evaluaciones de calidad ambiental (Moreira et al. 2021; 2022). Con base en lo anterior, Colombia puede establecer de manera similar DCS para el área de dragado de cada zona marítima portuaria, siendo este trabajo coordinado por MinAmbiente, con participación del INVEMAR y algunas universidades, e involucrando a las Corporaciones Autónomas Regionales. Es importante recalcar lo mencionado en los reportes 1 y 2 de esta consultoría, sobre la influencia del pH y los contenidos de arcilla y materia orgánica de los sedimentos, en la biodisponibilidad de las sustancias, y por tanto en los riesgos de toxicidad. Dada la variabilidad de estas condiciones por sitio, es sugerido que con base en evidencia empírica se determinen los umbrales propios para cada zona portuaria marítima, en relación con el ambiente donde se hace cada uso benéfico de material dragado. Para esta determinación de umbrales se requiere la información de pH y de contenidos de arcilla y de carbono orgánico total en sedimentos de cada zona portuaria, con el fin de normalizar las concentraciones de metales sustancias minerales y orgánicos, según la variabilidad de textura, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico. Para aplicar esta normalización se requiere entonces aplicar criterios del enfoque de partición de equilibrio.

De manera similar a los criterios aplicados por Moreira et al. (2021; 2022), incluyendo pruebas de toxicidad con el anfípodo excavador *Tiburonella viscana*, en Colombia UniCartagena ha evaluado la calidad química de sedimentos en sitios del río Magdalena, incluyendo criterios a partir de pruebas de toxicidad con el nematodo *Caenorhabditis elegans* (Tejeda-Benitez et al., 2026; 2018; 2023). Por tanto, UniCartagena tiene potencial para contribuir a la investigación dirigida a la determinación de los umbrales propios de Colombia. Por otro lado, las pruebas de identificación y evaluación de toxicidad pueden utilizarse para confirmar si el amoníaco o los sulfuros en los sedimentos son de riesgo al hacer usos de materiales dragados en ecosistemas acuáticos lénticos.

7.3 Recomendación para el monitoreo de la calidad química de los sedimentos, dirigida a determinar para qué usos benéficos son válidos los materiales dragados

Para los usos de materiales provenientes de dragados de mantenimiento, evaluaciones periódicas son recomendadas para asegurar que el nivel de contaminación del sedimento desde el último ciclo de dragado (PIANC, 1992). Una vez determinadas las DCS para las áreas de dragado de los puertos marítimos de Colombia, en relación con los usos de los materiales dragados, el monitoreo de la calidad física y química de los sedimentos se puede realizar una o dos

veces al año (ej; al final de las temporadas secas, en marzo y septiembre²⁴). Estos momentos se sugieren considerando dos aspectos 1) que con tales condiciones climáticas el trabajo de muestreo puede realizarse con mayor facilidad; 2) que considerando los menores caudales fluviales que tributan cerca de cada zona portuaria marítima, se espera que las concentraciones de sustancias en los sedimentos sean mayores en comparación con los de los periodos lluviosos. Por tanto, las concentraciones más preocupantes pueden determinarse al final de los periodos secos, y el momento más idóneo para hacer monitoreo en el canal de acceso a Barranquilla es en marzo, que es el mes previo a la realización de los dragados de mantenimiento.

En caso de que haya interés de hacer monitoreo con mayor frecuencia, teniendo en cuenta los requisitos mencionados en los numerales anteriores, es necesario determinar si el presupuesto disponible permite aumentar la frecuencia de monitoreo. Adicionalmente, en el caso de que se reporten vertimientos inusuales de contaminantes (ej: derrames de petróleo aguas arriba), es necesario agregar una caracterización adicional del sedimento al monitoreo usual de este.

²⁴ Sin embargo, es necesario asumir que en la actualidad existe incertidumbre sobre las condiciones climáticas, influenciadas por los fenómenos de El Niño y La Niña en el caso de los países cercanos al Océano Pacífico.

8 Referencias

- Altammar KA. (2023). A review on nanoparticles: characteristics, synthesis, applications, and challenges. *Frontiers in Microbiology, Volumen 14-2023*.
- Blume HP, Brümmer GW, Fleige H, Horn R, Kandeler E, Kögel-Knabner I, Kretzschmar R, Stahr K, & Wilke BM (2016). *Scheffer/Schachtschabel: Soil science*. Berlin and Heidelberg: Springer-Verlag.
- Bravo D, Leon-Moreno C, Martínez CA, Varón-Ramírez VM, Araujo-Carrillo GA, Vargas R, Quiroga-Mateus R, Zamora A, & Rodríguez EAG. (2021). The First National Survey of Cadmium in Cacao Farm Soil in Colombia. *Agronomy, 11(4)*, 761.
- Brouwer H, van Oijen FLN, & Bouwmeester H. (2023). Capítulo 40 - Potential human health effects following exposure to nano- and microplastics, lessons learned from nanomaterials. En M. E. Knowles, L. E. Anelich, A. R. Boobis, & B. Popping (Eds.), *Present Knowledge in Food Safety* (pp. 590-605). Academic Press.
- Buchman MF (2008). Screening Quick Reference Tables (SQuiRTs), NOAA OR&R Report 08-1. Office of Response and Restoration Division, National Oceanic and Atmospheric Administration. Seattle WA.
- Buitrago-González ME, Sánchez-Pinto JD, Martínez-Martina M, Rodríguez-Correa AM, Virviescas-Ospina MJ & Santacoloma-Londoño S (2024). Emerging Pharmaceutical Pollutants in Colombian Watersheds and Environmental Management Measures. *Journal of Hunan University (Natural Sciences)*, 51(10).
- Consortio Estudio Canal Barranquilla (2020). Estudio ambiental para el mejoramiento en la infraestructura y navegación del canal de acceso Puerto de Barranquilla hasta el Sector de PIMSA.
- Consortio Dragado Puerto de Barranquilla 2024 - 2025 (2025). Estudio hidrobiológico y sedimentológico sobre el área de disposición final de los sedimentos. 73 p.
- Cormagdalena (2007). Atlas Cuenca Del Río Grande de la Magdalena. 283 p.
- Cormagdalena. Informes de los contratistas de Cormagdalena de 2023 y 2024.
- FAO (2024). Pesticides use and trade: 1990–2022. FAOSTAT Analytical Brief 89.
- Garavito F (2024). *Propiedades químicas de los suelos*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Bogotá, Colombia.
- García-Torra V, Cano A, Espina M, Ettcheto M, Camins A, Barroso E, Vazquez-Carrera M, García ML, Sánchez-López E, & Souto EB (2021). State of the Art on Toxicological Mechanisms of Metal and Metal Oxide Nanoparticles and Strategies to Reduce Toxicological Risks. *Toxics, 9(8)*, 195.
- González Cano WT & Kim K (2022). How to Achieve Sustainably Beneficial Uses of Marine Sediments in Colombia?. *Sustainability 14(22)*, 14821.
- Guzmán-Tordecilla M, Elles Pérez C, Ramos de la Hoz Y, Castillo Ramírez M, Medina Altahona J, Garzón Rodríguez C, Burgos Nuñez S, Paternina Uribe R, Enamorado Montes G, Jiménez Vergara E, Urango Cardenas I, Escobar Delgado L, Ortega Pardo K y Díaz Hernández L. (2025). Calidad ambiental y contaminantes emergentes: una mirada hacia la cienaga de Mallorquín y Arroyo León. Editorial Universitaria de la Costa, S.A.S.
- IDEAM (2023). Estudio Nacional del Agua 2022. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 512 p.
- IDEAM & INVEMAR. 2021. Protocolo de Monitoreo y Seguimiento del Agua. Bogotá, D. C.. 631 p.

INVEMAR. Sistema de Información Ambiental Marina (SIAM) - Búsqueda de microdatos - Temática.
<https://siamexplorer.invemar.org.co/microdatos/tematica>

INVEMAR (2003). Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos (aguas, sedimentos y organismos). INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS José Benito Vives De Andrés - INVEMAR. 148 p.

INVEMAR (2024). Diagnóstico y Evaluación de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras en el Caribe y Pacífico colombianos. Cusba, J, Obando, P y Espinosa, L (Eds). Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia - REDCAM: INVEMAR, MinAmbiente, CORALINA, CORPOGUAJIRA, CORPAMAG, CRA, CARDIQUE, CARSUCRE, CVS, CORPOURABÁ, CODECHOCÓ, CVC, CRC y CORPONARIÑO. Informe técnico final 2023, Santa Marta. 177 p.

INVEMAR-CRA (2024). Generación de información técnico-científica como soporte a la gestión ambiental de la corporación autónoma regional del Atlántico- CRA en la zona costera del departamento del Atlántico. 194 p.

MacDonald DD (1994). *Approach to the Assessment of Sediment Quality in Florida Coastal Waters. Volume 1: Development and Evaluation of Sediment Quality Assessment Guidelines*. Report prepared for Florida Department of Environmental Protection. Tallahassee, Florida. 140 p.

MacDonald DD, Ingersoll CG, Smorong DE, Lindskoog RA, Sloane G & Biernacki T. (2003). Development and evaluation of numerical sediment quality assessment guidelines for Florida inland waters. MacDonald Environmental Sciences Ltd., United States Geological Survey y Florida Department of Environmental Protection. 150 p.

Marcharla E, Vinayagam S, Gnanasekaran L, Soto-Moscoso M, Chen WH, Thanigaivel S, & Ganesan S. (2024). Microplastics in marine ecosystems: A comprehensive review of biological and ecological implications and its mitigation approach using nanotechnology for the sustainable environment. *Environmental Research*, 256, 119181.

Moreira LB, Braga Castro Í, Fillmann G, Peres TF, Cavalcante Belmino IK, Sasaki ST, Taniguchi S, Bícigo MC, Marins RV, Drude de Lacerda L, Costa-Lotufo LV, & de Souza Abessa DM (2021). Dredging impacts on the toxicity and development of sediment quality values in a semi-arid region (Ceará state, NE Brasil). *Environmental Research*, 193.

Moreira LB, Choueri RB, & de Souza Abessa DM (2022). A consensus-based approach for the development of Site-specific Sediment Quality Values in an SW Atlantic region (São Paulo State, Brasil). *Journal of Hazardous Materials Advances*, 7.

Moreno-Madriñán MJ, Rickman DL, Ogashawara I, Irwin DE, Ye J & Al-Hamdan MZ (2015). Using remote sensing to monitor the influence of river discharge on watershed outlets and adjacent coral Reefs: Magdalena River and Rosario Islands, Colombia. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 38, 204–215.

Rahman Z & Singh VP (2019). The relative impact of toxic heavy metals (THMs) (arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr)(VI), mercury (Hg), and lead (Pb)) on the total environment: an overview. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191, 419.

Restrepo JD, Kjerfve B, Hermelin M, & Restrepo JC (2006). Factors controlling sediment yield in a major South American drainage basin: the Magdalena River, Colombia. *Journal of Hydrology*, 316(1), 213-232.

Restrepo JD & Syvitski JPM (2006). Assessing the Effect of Natural Controls and Land Use Change on Sediment Yield in a Major Andean River: The Magdalena Drainage Basin, Colombia. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 35(2), 65-74.

Servicio Geológico Colombiano. Atlas Geoquímico de Colombia Versión 2020, 2018 y 2016.
<https://www2.sgc.gov.co/sgc/mapas/Paginas/AtlasGeoquimico.aspx>

Simpson SL & Batley GB (2016). *Sediment quality assessment: A practical guide*. 2nd edition. CSIRO Publishing. Clayton South – Australia. 359 p.

Tejeda-Benitez L, Flegal R, Odigie K, & Olivero-Verbel J (2016). Pollution by metals and toxicity assessment using *Caenorhabditis elegans* in sediments from the Magdalena River, Colombia. *Environmental Pollution*, 212, 238–250.

Tejeda-Benítez, L, Noguera-Oviedo K, Aga DS, & Olivero-Verbel J (2018). Toxicity profile of organic extracts from Magdalena River sediments. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(2), 1519–1532.

Tejeda-Benítez L, Noguera K, Aga D, & Olivero-Verbel J (2023). Pesticides in sediments from Magdalena River, Colombia, are linked to reproductive toxicity on *Caenorhabditis elegans*. *Chemosphere*, 339.

Tortella G, Rubilar O, Fincheira P, Parada J, Caixeta de Oliveira H, Benavides-Mendoza A, Leiva S, Fernandez-Baldo M & Seabra AB (2024). Copper nanoparticles as a potential emerging pollutant: Divergent effects in the agriculture, risk-benefit balance and integrated strategies for its use. *Emerging Contaminants*, 10(4), 100352.

Apéndices

Apéndice A - Contenido de grava, arena y limo+arcilla

Informes de Cormagdalena antes del dragado, y en monitoreo de calidad fisicoquímica de sedimentos de Cormagdalena e INVEMAR (Cálculos a partir de datos de Cormagdalena, y datos reportados por INVEMAR-CRA).

6.	Sector	7.	Institución (actividad)	8.	Año- Mes	9.	Km o intervalo de Km reportado	10.	% de Limo+arcilla	11.	% de Arena	12.	% de Grava
13.	I	14.	Cormagdalena (control de calidad química)	15.	2023- 03	16.	K1+000 (Bocas de Ceniza)	17.	94.1	18.	5.9	19.	0.0
		20.	Cormagdalena (informe antes del dragado)	21.	2023- 06	22.	K1+000 a K2+000	23.	1.6	24.	98.4	25.	0.0
				26.	2023- 06	27.	K1+000 a K2+000	28.	65.9	29.	34.1	30.	0.0
				31.	2023- 08	32.	K0+000 a K2+000	33.	97.0	34.	3.0	35.	0.0
				36.	2023- 08	37.	K0+000 a K2+000	38.	83.6	39.	16.4	40.	0.0
				41.	2023- 08	42.	K0+000 a K2+000	43.	94.1	44.	5.9	45.	0.0
				46.	2023- 10	47.	K0+500 a K2+000	48.	94.7	49.	5.0	50.	0.3
				51.	2023- 12	52.	K1+000 a K2+000	53.	86.3	54.	13.7	55.	0.0
				56.	2023- 12	57.	K0+000 a K2+000	58.	41.3	59.	58.3	60.	0.4
		61.	Cormagdalena (control de la calidad química)	62.	2024- 03	63.	K1+000 (Bocas de Ceniza)	64.	86.9	65.	13.1	66.	0.0
		67.	Cormagdalena (informe antes del dragado)	68.	2024- 05	69.	K0+000 a K2+000	70.	10.6	71.	89.4	72.	0.0
				73.	2024- 05	74.	K1+000 a K2+000	75.	76.5	76.	23.5	77.	0.0
				78.	2024- 05	79.	K0+000 a K2+000	80.	94.7	81.	5.3	82.	0.0
				83.	2024- 07	84.	K0+400 a K0+500	85.	29.6	86.	70.2	87.	0.2

ASESORÍA TÉCNICA Y POLÍTICA SOBRE LOS USOS BENÉFICOS DE
LOS SEDIMENTOS MARINOS DRAGADOS EN COLOMBIA,
INCLUYENDO LAS SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA.

6.	Sector	7.	Institución (actividad)	8.	Año- Mes	9.	Km o intervalo de Km reportado	10.	% de Limo+arcilla	11.	% de Arena	12.	% de Grava
				88.	2024- 07	89.	K0+400 a K1+160	90.	3.1	91.	96.9	92.	0.0
93.	II	94.	Cormagdalena (control de la calidad química)	95.	2023- 03	96.	K7+500 (Las Flores)	97.	94.2	98.	5.8	99.	0.0
		100.	Cormagdalena (informe antes del dragado)	101.	2023- 10	102.	K2+000 a K4+000	103.	96.7	104.	3.3	105.	0.0
		106.	Cormagdalena (control de la calidad química)	107.	2024- 03	108.	K7+500 (Las Flores)	109.	72.5	110.	27.5	111.	0.0
112.	III	113.	Cormagdalena (control de la calidad química)	114.	2023- 03	115.	K15+000 (Boya 15)	116.	84.7	117.	15.3	118.	0.0
		119.	INVEMAR (control de la calidad química)	120.	2023- 09	121.	K9+000 (Base naval - 17)	122.	54.1	123.	45.7	124.	0.2
		125.	Cormagdalena (informe antes del dragado)	126.	2023- 10	127.	K11+000 a K15+000	128.	6.0	129.	93.8	130.	0.2
		131.	Cormagdalena (control de la calidad química)	132.	2024- 03	133.	K15+000 (Boya 15)	134.	96.6	135.	3.4	136.	0.0
		137.	INVEMAR (control de la calidad química)	138.	2024- 09	139.	K9+000 (Base naval - 17)	140.	74.1	141.	25.7	142.	0.2
143.	IV	144.	Cormagdalena (control calidad química)	145.	2023- 03	146.	K22+000 (Puente Pumarejo)	147.	23.6	148.	76.4	149.	0.0
		150.	Cormagdalena (informe antes del dragado)	151.	2023- 06	152.	K19+300 a K21+000	153.	10.8	154.	89.2	155.	0.0
		156.	Cormagdalena (control de la calidad química)	157.	2024- 03	158.	K22+000 (Puente Pumarejo)	159.	89.2	160.	10.8	161.	0.0

Apéndice B - Umbrales para ecosistemas de agua dulce de los SQG de Florida, Brasil y Países Bajos

			Florida (EE.UU.)	Brasil	Países Bajos	Florida (EE.UU.)	Brasil	Países Bajos
Categoría 1	Categoría 2	Sustancia	Nivel 1	Nivel 1	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2
Sustancias minerales	Metales (mg/kg)	Cadmio (Cd)	1.00	0.60	-	5.00	3.50	4.00
		Cobalto (Co)	50.00	-	-	-	-	25.00
		Cobre (Cu)	32.00	35.70	-	150.00	197.00	96.00
		Cromo (Cr)	43.00	37.30	-	110	90	120.00
		Mercurio (Hg)	0.18	0.17	-	1.10	0.49	1.20
		Molibdeno (Mo)	-	-	-	-	-	5.00
		Níquel (Ni)	23.00	18.00	50.00	49.00	35.90	50.00
		Plata (Ag)	1.00	-	-	2.20	-	-
		Plomo (Pb)	36.00	35.00	-	130.00	91.30	138.00
		Zinc (Zn)	120.00	123.00	-	460.00	315.00	563.00
	Metaloides (mg/kg)	Antimonio (Sb)	-	-	4.00	-	-	-
		Arsénico (As)	9.80	5.90	-	33.00	17.00	29.00
	Otras sustancias minerales (mg/kg)	Cianuro (libre)	-	-	3.00	-	-	-
		Cianuro (Complejo)	-	-	5.50	-	-	-
		Tiocianatos	-	-	6.00	-	-	-
Organometálicos (µg/kg peso seco, 1% OC)	Tributilestaño (como estaño) -							
	TBT	-	-	150.00	-	-	-	
Sustancias orgánicas	Aromáticos (mg/kg)	Benceno	-	-	0.20	-	-	-
		Etilbenceno	-	-	0.20	-	-	-
		Tolueno	-	-	0.20	-	-	-
		Xilenos (total)	-	-	0.45	-	-	-
		Estireno (vinilbenceno)	-	-	0.25	-	-	-
		Fenol	-	-	0.25	-	-	-
		Cresoles (total)	-	-	0.30	-	-	-
	Hidrocarburos aromáticos	Acenafteno	6.70	6.71	-	89.00	88.90	-

ASESORÍA TÉCNICA Y POLÍTICA SOBRE LOS USOS BENÉFICOS DE
LOS SEDIMENTOS MARINOS DRAGADOS EN COLOMBIA,
INCLUYENDO LAS SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA.

			Florida (EE.UU.)	Brasil	Países Bajos	Florida (EE.UU.)	Brasil	Países Bajos
Categoría 1	Categoría 2	Sustancia	Nivel 1	Nivel 1	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2
Sustancias orgánicas	<i>policlínicos (HAP, en µg/kg)</i>	Acenaftileno	5.90	5.87	-	130.00	128.00	-
		Antraceno	57.00	46.90	-	850.00	245.00	-
		Fluoreno	77.00	21.20	-	540.00	144.00	-
		Naftaleno	180.00	34.60	-	560.00	391.00	-
		2-metilnaftaleno	-	20.2	-	-	201.00	-
		Fenantreno	200.00	41.90	-	1200.00	515.00	-
		HAP totales de bajo peso molecular	-	-	-	-	-	-
		Benz(a)antraceno	110.00	31.90	-	1100.00	782.00	-
		Benzo(a)pireno	150.00	31.90	-	1500.00	230.00	-
		Criseno	170.00	57.10	-	1300	862.00	-
		Dibenzo(a,h)antraceno	33.00	6.22	-	140.00	43.00	-
		Fluoranteno	420.00	111.00	-	2200.00	2355.00	-
		Pireno	200.00	53.00	-	1500.00	875.00	-
		HAP totales de alto peso molecular*.	-	-	-	-	-	-
	Total HAPs*							
	HAP	1600.00	1000.00	-	23000.00	4000.00	9000.00	
	<i>Hidrocarburos clorados volátiles (mg/kg)</i>	Monocloroetano (cloruro de vinilo)	-	-	0.10	-	-	-
		Diclorometano	-	-	0.10	-	-	-
		1,1-dicloroetano	-	-	0.20	-	-	-
		1,2-dicloroetano	-	-	0.20	-	-	-
		1,1-dicloroetileno	-	-	0.30	-	-	-
		1,2-dicloroetileno (suma)	-	-	0.30	-	-	-
		Dicloropropanos (suma)	-	-	0.80	-	-	-
Triclorometano (cloroformo)		-	-	0.25	-	-	-	
1,1,1-tricloroetano		-	-	0.25	-	-	-	

ASESORÍA TÉCNICA Y POLÍTICA SOBRE LOS USOS BENÉFICOS DE
LOS SEDIMENTOS MARINOS DRAGADOS EN COLOMBIA,
INCLUYENDO LAS SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA.

			Florida (EE.UU.)	Brasil	Países Bajos	Florida (EE.UU.)	Brasil	Países Bajos
Categoría 1	Categoría 2	Sustancia	Nivel 1	Nivel 1	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2
Sustancias orgánicas		1,1,2-tricloroetano	-	-	0.30	-	-	-
		Tricloroetileno (Tri)	-	-	0.25	-	-	-
		Tetraclorometano (Tetra)	-	-	0.30	-	-	-
		Tetracloroetileno (Per)	-	-	0.15	-	-	-
	<i>Clorobenceno s (mg/kg)</i>	Hexaclorobenceno	20.00	-	-	240.00	-	0.04
		Clorobencenos (suma)	-	-	2.00	-	-	-
	<i>Clorofenoles (mg/kg)</i>	Pentaclorofenol	-	-	-	-	-	0.02
		Clorofenoles totales	-	-	0.20	-	-	-
	<i>Bifenilos policlorados (PCB) - (µg/kg)</i>	PCB totales	60.00	34.10	-	680.00	277.00	140.00
	<i>Otros hidrocarburos clorados</i>	Monocloroanilinas (suma) (mg/kg)	-	-	0.20	-	-	-
		Cloronaftaleno (suma) (mg/kg)	-	-	0.07	-	-	-
		PCDD/PCDF (ng tox eq/kg)*	-	-	-	-	-	-
	<i>Plaguicidas organoclorado s (µg/kg)</i>	Aldrin	-	-	-	-	-	1.30
		Clordano	3.20	-	2.00	18.00	-	-
		p,p'-DDD	4.90	3.54	-	28.00	8.51	-
		p,p'-DDE	3.20	1.42	-	31.00	6.75	-
		p,p'-DDT	4.20	1.19	-	63.00	4.77	-
		DDT total	5.30	-	-	570.00	-	-
		Dieldrin	1.90	2.85	-	62.00	6.67	8.00
		Drins (suma)	-	-	-	-	-	15.00
α-endosulfán		-	-	-	-	-	2.1	
Endrin		2.20	2.67	-	210.00	62.40	3.50	
Lindano (Gamma HCH)		2.40	0.94	-	5.00	1.38	3.00	

ASESORÍA TÉCNICA Y POLÍTICA SOBRE LOS USOS BENÉFICOS DE
LOS SEDIMENTOS MARINOS DRAGADOS EN COLOMBIA,
INCLUYENDO LAS SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA.

			Florida (EE.UU.)	Brasil	Países Bajos	Florida (EE.UU.)	Brasil	Países Bajos
Categoría 1	Categoría 2	Sustancia	Nivel 1	Nivel 1	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2
Sustancias orgánicas		HCH total (Alfa, Beta, Gamma)	-	-	-	-	-	10.00
		Heptacloro	-	-	-	-	-	4.00
		Epóxido de heptacloro	2.50	-	-	16.00	-	4.00
		MCPA	-	-	550.00	-	-	-
		Toxafeno	0.10	-	-	32.00	-	-
	<i>Plaguicidas organofosforados (µg/kg)</i>	Azinfos-etil	0.02	-	-	-	-	-
		Azinfos-metil	0.06	-	7.50	-	-	-
		Diazinon	0.38	-	-	-	-	-
		Malatión	0.67	-	-	-	-	-
		Proxim	0.06	-	-	-	-	-
		Pirazofos	0.02	-	-	-	-	-
	<i>Plaguicidas organonitrogenados (µg/kg)</i>	Atrazina	0.30	-	35.00	-	-	-
		Simazina	0.34	-	-	-	-	-
	<i>Plaguicidas organoazufrados (µg/kg)</i>	Disulfotón	0.30	-	-	-	-	-
	<i>Plaguicidas organocarbamatos (µg/kg)</i>	Carbaril	-	-	150.00	-	-	-
		Carbofurano	-	-	17.00	-	-	-
	<i>Otras sustancias orgánicas (mg/kg)</i>	Amianto	-	-	-	-	-	100.00
		Ciclohexanona	-	-	2.00	-	-	-
		Ftalato de bis(2-etilhexilo) (DEHP)	180.00	-	-	2600.00	-	-
		Ftalato de dietilo	630.00	-	-	-	-	-
		Di-n-butil ftalato	-	-	-	43.00	-	-
		Pftalatos (suma)	-	-	0.25	-	-	-
		Aceite mineral	-	-	-	-	-	1250.00

ASESORÍA TÉCNICA Y POLÍTICA SOBRE LOS USOS BENÉFICOS DE
 LOS SEDIMENTOS MARINOS DRAGADOS EN COLOMBIA,
 INCLUYENDO LAS SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA.

			Florida (EE.UU.)	Brasil	Países Bajos	Florida (EE.UU.)	Brasil	Países Bajos
Categoría 1	Categoría 2	Sustancia	Nivel 1	Nivel 1	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2
		Piridina			0.15			
		Tetrahidrofurano			0.45			
		Tetrahidrotiofeno			1.50			
		Tribromometano (bromoformo)			0.20			

Apéndice C - Concentraciones de sustancias reportadas por Cormagdalena

Concentraciones de sustancias reportadas por los contratistas de Cormagdalena, en marzo/2023 y marzo/2024 (los valores en naranja son límites de cuantificación, y las sustancias mencionadas son sólo las incluidas en las DCS de Florida, Brasil o Países Bajos).

			Puente Pumarejo		Boya 15		Las Flores		Bocas de Ceniza	
Categoría 1	Categoría 2	Sustancia	2023	2024	2023	2024	2023	2024	2023	2024
Sustancias minerales	Metales (mg/kg)	Cadmio (Cd)	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
		Cobalto (Co)	-	-	-	-	-	-	-	-
		Cobre (Cu)	12.16	29.15	29.22	36.66	31.94	15.98	33.22	35.18
		Cromo (Cr)	25.90	33.70	35.69	41.40	37.31	22.60	37.76	44.30
		Mercurio (Hg)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.13	0.10	0.56	0.10
		Molibdeno (Mo)	-	-	-	-	-	-	-	-
		Níquel (Ni)	-	-	-	-	-	-	-	-
		Plata (Ag)	-	-	-	-	-	-	-	-
		Plomo (Pb)	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
		Zinc (Zn)	66.32	112.09	117.19	150.38	111.59	72.25	110.95	121.94
		Metaloides (mg/kg)	-	-	-	-	-	-	-	-
	Otras sustancias minerales (mg/kg)	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Organometálicos (µg/kg peso seco, 1% OC)	-	-	-	-	-	-	-	-	
Sustancias orgánicas	Aromáticos (mg/kg)	-	-	-	-	-	-	-	-	

Apéndice D - Concentraciones de sustancias reportadas por INVEMAR

Concentraciones de sustancias reportadas por INVEMAR en Septiembre/2023 y Septiembre/2024 (los valores en naranja son límites de cuantificación, y las sustancias mencionadas son sólo las incluidas en las DCS de Florida, Brasil Países Bajos).

			Base Naval Aguas Abajo (CRA - 17)	
Categoría 1	Categoría 2	Sustancia	2023	2024
Sustancias minerales	Metales (mg/kg)	Cadmio (Cd)	12.50	12.50
		Cobalto (Co)	-	-
		Cobre (Cu)	23.20	32.90
		Cromo (Cr)	49.10	75.60
		Mercurio (Hg)	0.07	0.10
		Molibdeno (Mo)	-	-
		Níquel (Ni)	75.00	16.50
		Plata (Ag)	-	-
		Plomo (Pb)	15.00	16.50
		Zinc (Zn)	127.00	147.00
	Metaloides (mg/kg)	-	-	-
	Otras sustancias minerales (mg/kg)	-	-	-
Organometálicos (µg/kg peso seco, 1% OC)		-	-	-
Sustancias orgánicas	Aromáticos (mg/kg)	-	-	-
	Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP, en µg/kg)	Acenafteno	-	-
		Acenaftileno	-	-
		Antraceno	-	-
		Fluoreno	-	-
		Naftaleno	-	-
		2-metilnaftaleno	-	-
		Fenantreno	9.08	8.99
		HAP totales de bajo peso molecular	-	-
		Benz(a)antraceno	-	-

ASESORÍA TÉCNICA Y POLÍTICA SOBRE LOS USOS BENÉFICOS DE
 LOS SEDIMENTOS MARINOS DRAGADOS EN COLOMBIA,
 INCLUYENDO LAS SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA.

			Base Naval Aguas Abajo (CRA - 17)	
Categoría 1	Categoría 2	Sustancia	2023	2024
Sustancias orgánicas	Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP, en µg/kg)	Benzo(a)pireno	-	-
		Criseno	-	7.39
		Dibenz(a,h)antraceno	-	-
		Fluoranteno	-	-
		Pireno	-	-
		Total de HAP de alto peso molecular	-	-
		HAP totales	-	-
	Hidrocarburos clorados volátiles (mg/kg)	-	-	-
	Clorobencenos (mg/kg)	-	-	-
	Clorofenoles (mg/kg)	-	-	-
	Bifenilos policlorados (PCB) - (µg/kg)	-	-	-
	Otros hidrocarburos clorados	-	-	-
	Plaguicidas (µg/kg)	-	-	-
Otras sustancias orgánicas (mg/kg)	-	-	-	

Apéndice E - Concentraciones de sustancias reportadas por UniCartagena.

Concentraciones de sustancias reportadas por UniCartagena (Tejeda-Benítez et al., 2016; 2018; 2023), a partir de muestreos realizados en Nov/2013 y Nov/2014 (los valores en naranja son límites de cuantificación, y las sustancias mencionadas son solo las incluidas en las DCS de Florida, Brasil o Países Bajos).

			Cerca de la zona industrial portuaria de Barranquilla	
Categoría 1	Categoría 2	Sustancia	2013	2014
Sustancias minerales	Metales (mg/kg)	Cadmio (Cd)	2.02	-
		Cobalto (Co)	9.48	-
		Cobre (Cu)	26.90	-
		Cromo (Cr)	52.70	-
		Mercurio (Hg)	0.12	-
		Molibdeno (Mo)	-	-
		Níquel (Ni)	26.80	-
		Plata (Ag)	0.40	-
		Plomo (Pb)	16.80	-
		Zinc (Zn)	99.00	-
	Metaloides (mg/kg)	Antimonio (Sb)	-	-
		Arsénico (As)	8.54	-
	Otras sustancias minerales (mg/kg)	-	-	-
Organometálicos (µg/kg peso seco, 1% OC)	-	-	-	
Sustancias orgánicas	Aromáticos (mg/kg)	-	-	-
	Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP, en µg/kg)	Acenafteno	-	-
		Acenaftileno	-	-
		Antraceno	-	-
		Fluoreno	-	-
		Naftaleno	-	-
		2-metilnaftaleno	-	-
		Fenantreno	30.00	-
		HAP totales de bajo peso molecular	-	-

ASESORÍA TÉCNICA Y POLÍTICA SOBRE LOS USOS BENÉFICOS DE
LOS SEDIMENTOS MARINOS DRAGADOS EN COLOMBIA,
INCLUYENDO LAS SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA.

Sustancias orgánicas	<i>Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP, en µg/kg)</i>	Benz(a)antraceno	-	-
		Benzo(a)pireno	-	-
		Criseno	10.00	-
		Dibenz(a,h)antraceno	-	-
		Fluoranteno	30.00	-
		Pireno	10.00	-
		Total de HAP de alto peso molecular*.	-	-
		HAP totales	-	-
	<i>Hidrocarburos clorados volátiles (mg/kg)</i>	-	-	-
	<i>Clorobencenos (mg/kg)</i>	-	-	-
	<i>Clorofenoles (mg/kg)</i>	-	-	-
	<i>Bifenilos policlorados (PCB) - (µg/kg)</i>	-	-	-
	<i>Otros hidrocarburos clorados</i>	-	-	-
	<i>Plaguicidas organoclorados (µg/kg)</i>	Aldrin	-	BDL
		Clordano	-	0.18
		p,p'-DDD	-	0.19
		p,p'-DDE	-	0.33
		p,p'-DDT	-	0.06
		DDT total	-	-
		Dieldrin	-	BDL
		Drins (suma)	-	-
		α-endosulfan	-	0.08
		Endrin	-	BDL
		Gamma HCH (Lindano)	-	-
		HCH total (Alfa, Beta, Gamma)	-	-
		Heptacloro	-	0.03
	Epóxido de heptacloro	-	0.01	
<i>Plaguicidas organoclorados (µg/kg)</i>	MCPA	-	-	
	Toxafeno	-	-	

ASESORÍA TÉCNICA Y POLÍTICA SOBRE LOS USOS BENÉFICOS DE
 LOS SEDIMENTOS MARINOS DRAGADOS EN COLOMBIA,
 INCLUYENDO LAS SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA.

Sustancias orgánicas	<i>Plaguicidas organofosforados (µg/kg)</i>	Azinfos-etil	-	-
		Azinfos-metil	-	-
		Diazinón	-	-
		Malatión	-	-
		Proxim	-	-
		Pirazofos	-	-
	<i>Plaguicidas organo-nitrogenados (µg/kg)</i>	Atrazina	-	0.52
		Simazina	-	-
	<i>Plaguicidas organoazufrados (µg/kg)</i>	Disulfotón	-	BDL
	<i>Plaguicidas organocarbamatos (µg/kg)</i>	Carbaril	-	-
		Carbofurano	-	-
	<i>Otras sustancias orgánicas (mg/kg)</i>	-	-	-

Apéndice F - Sustancias prioritarias para los monitoreos de calidad de sedimentos y para la determinación de umbrales propios de Colombia

De acuerdo a criterios mencionados en los reportes 1 y 2 de esta consultoría, y en este reporte, a continuación se mencionan las sustancias prioritarias para determinar sus concentraciones en los monitoreos de calidad de sedimentos, y para la determinación de umbrales propios en Colombia.

Categoría 1	Categoría 2	Sustancia	Sustancia prioritaria para...		Comentarios
			Comparación con umbrales de Florida (EEUU)	Determinación de umbrales propios de Colombia	
Sustancias minerales	Metales (mg/kg)	Cadmio (Cd)	X	X	
		Cobalto (Co)	X	X	Solo para aplicaciones en zonas costera
		Cobre (Cu)	X	X	
		Cromo (Cr)	X	X	
		Mercurio (Hg)	X	X	
		Molibdeno (Mo)	N/A	X	Solo para aplicaciones en agua dulce
		Níquel (Ni)	X	X	
		Plata (Ag)	X	X	
		Plomo (Pb)	X	X	
		Zinc (Zn)	X	X	
	Metaloides (mg/kg)	Antimonio (Sb)	N/A	X	
		Arsénico (As)	X	X	
	Otras sustancias minerales (mg/kg)	Amoniaco	N/A	X	Solo para aplicaciones en agua dulce
		Cianuro	N/A	X	
		Fosfatos	N/A	X	Solo para aplicaciones en agua dulce
Sulfuros y sulfatos		N/A	X	Solo para aplicaciones en agua dulce	
Organometálicos (µg/kg peso seco, 1% OC)		Tributilestaño (como estaño) - TBT	N/A	X	Sobretudo para aplicaciones en zonas costeras
Sustancias orgánicas	Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP, en µg/kg)	Acenafteno	X	X	
		Acenaftileno	X	X	
		Antraceno	X	X	
		Fluoreno	X	X	

ASESORÍA TÉCNICA Y POLÍTICA SOBRE LOS USOS BENÉFICOS DE
LOS SEDIMENTOS MARINOS DRAGADOS EN COLOMBIA,
INCLUYENDO LAS SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA.

Sustancias orgánicas	<i>Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP, en µg/kg)</i>	Naftaleno	X	X	
		2-metilnaftaleno	X	X	
		Fenantreno	X	X	
		Benz(a)antraceno	X	X	
		Benzo(k)flouranteno	X	X	
		Benzo(a)pireno	N/A	X	
		Criseno	X	X	
		Dibenz(a,h)antraceno	X	X	
		Fluoranteno	X	X	
		Indeno(1,2,3-cd) pireno	N/A	X	
		Pireno	X	X	
	<i>Clorobencenos (mg/kg)</i>	Clorobencenos (total)	N/A	X	
	<i>Clorofenoles (mg/kg)</i>	Clorfenoles (total)	N/A	X	
	<i>Bifenilos policlorados (PCBs) - (µg/kg)</i>	PCBs (total)	X	X	
	<i>Plaguicidas organoclorados (µg/kg)</i>	2,4-D	N/A	X	De alta preocupación en Colombia
		Clordano	X	X	
		p,p'-DDD	X	X	
		p,p'-DDE	X	X	
		p,p'-DDT	X	X	
		DDT total	X	X	
		Dieldrin	X	X	
		Endrin	X	X	Umrales de Florida solo para agua dulce
		Epóxido de heptacloro	X	X	Umrales de Florida solo para agua dulce
		Lindano (Gamma (HCH))	X	X	
<i>Plaguicidas organofosforados (µg/kg)</i>	Azinfos-etil	N/A	X		
	Azinfos-metil	N/A	X		
	Clorpirifos	N/A	X	De alta preocupación en Colombia	
	Diazinón	N/A	X		

ASESORÍA TÉCNICA Y POLÍTICA SOBRE LOS USOS BENÉFICOS DE
 LOS SEDIMENTOS MARINOS DRAGADOS EN COLOMBIA,
 INCLUYENDO LAS SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA.

	<i>Plaguicidas organofosforados (µg/kg)</i>	Glifosato	N/A	X	De alta preocupación en Colombia
		Malatión	N/A	X	
		Proxim	N/A	X	
		Pirazófos	N/A	X	
	<i>Plaguicidas organo-nitrogenados (µg/kg)</i>	Atrazina	X	X	Umbrales de Florida solo para agua dulce
		Imidacloprid	N/A	X	De alta preocupación en Colombia
		Simazina	N/A	X	
	<i>Plaguicidas organoazufrados (µg/kg)</i>	Disulfotón	X	X	Umbrales de Florida solo para agua dulce
	<i>Plaguicidas bipiridilos (µg/kg)</i>	Paraquat	N/A	X	De alta preocupación en Colombia
	<i>Plaguicidas organocarbamatos (µg/kg)</i>	Carbaril	N/A	X	
		Carbofurano	N/A	X	
		Mancozeb	N/A	X	De alta preocupación en Colombia

Apéndice G - Abreviaturas y acrónimos

Abreviatura	Descripción
Comagdalena	Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena ("Río grande de la Magdalena" es como llamaban los españoles al río Magdalena durante la época colonial).
INVEMAR	Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de Andreis".
SbN	Solución(es) basada(s) en la naturaleza
DCS	Directrices de calidad de los sedimentos
UniCartagena	Universidad de Cartagena (e investigadores asociados de universidades extranjeras)

Colofón

ASESORAMIENTO POLÍTICO Y TÉCNICO SOBRE LOS USOS BENÉFICOS DE LOS SEDIMENTOS MARINOS DRAGADOS EN COLOMBIA, INCLUIDAS LAS SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS SEDIMENTOS MARINOS DRAGADOS EN LA ZONA PORTUARIA DE BARRANQUILLA

El proyecto “Asesoramiento político y técnico sobre los usos benéficos de los sedimentos marinos dragados en Colombia, incluidas las soluciones basadas en la naturaleza” forma parte de la colaboración entre el Gobierno de los Países Bajos, a través del programa Partners for Water, y el Ministerio de Ambiente de Colombia, el Departamento Nacional de Planeación (DNP) y el Ministerio de Transporte. El proyecto fue ejecutado por un consorcio conformado por Arcadis, la Fundación Herencia Ambiental Caribe, JESyCA y Netics, en conjunto con entidades gubernamentales tanto de Colombia como de los Países Bajos.

AUTORES

Juan David Carranza (Fundación Herencia Ambiental Caribe)
Jorge Gaitán (JESyCA)
Tiago Jurriens Piccoli (Arcadis)

NUESTRA REFERENCIA

:1

FECHA

30 de enero 2026

ESTADO

Final

VERIFICADO POR

Martijn Onderwater
Director técnico, Arcadis B.V

Jip Koster
Investigador de suelos

PUBLICADO POR

Jeroen Klooster
Jefe de proyecto, Arcadis B.V