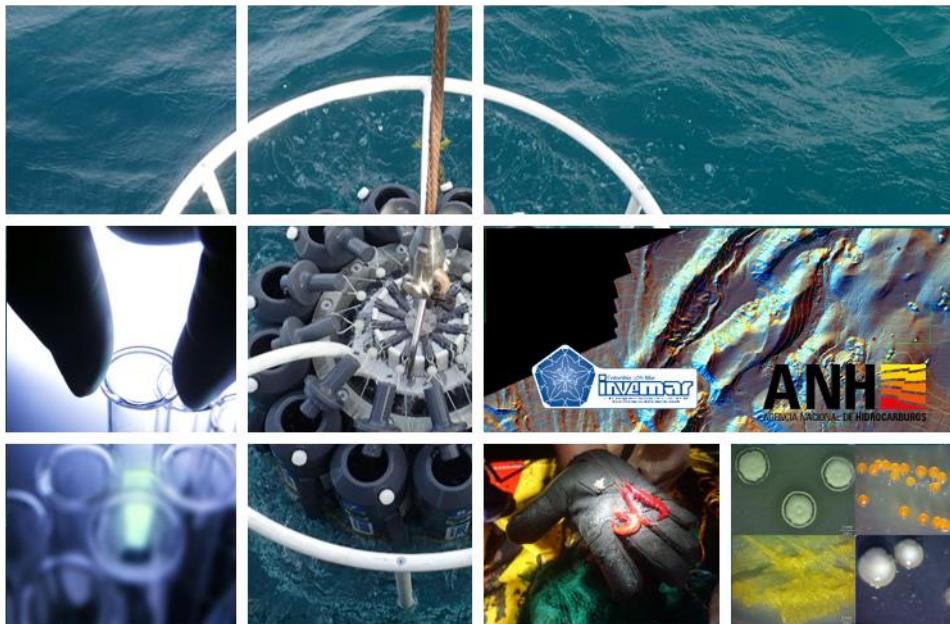


# ESTUDIO TÉCNICO AMBIENTAL EN ÁREAS Y TEMÁTICAS DE INTERÉS EN APOYO AL CRECIMIENTO SOSTENIBLE DEL SECTOR DE HIDROCARBUROS COSTA AFUERA PRY-BEM-13-20- ITF

Convenio Interadministrativo No. 474 de 2020



Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras  
"José Benito Vives de Andrés" - INVEMAR

Santa Marta D.T.C.H., diciembre de 2020



#### CUERPO DIRECTIVO INVEMAR

##### Director General

Francisco Armando Arias Isaza

##### Subdirector de Coordinación Científica

Jesús Antonio Garay Tinoco

##### Subdirectora Administrativa

Sandra Rincón Cabal

##### Coordinadora de Investigación e Información para la Gestión Marina y Costera (GEZ)

Paula Cristina Sierra Correa

##### Coordinador Programa de Biodiversidad y Ecosistemas Marinos (BEM)

David Alejandro Alonso Carvajal

##### Coordinadora Programa Calidad Ambiental Marina (CAM)

Luisa Fernanda Espinosa Díaz

##### Coordinadora Programa Geociencias Marinas y Costeras (GEO)

Constanza Ricaurte Villota

##### Coordinador Programa Valoración y Aprovechamiento de Recursos Marinos y Costeros (VAR)

Mario Enrique Rueda Hernández

##### Coordinador Servicios Científicos (CSC)

Julián Mauricio Betancourt Portela

Preparado por:

#### COORDINACIÓN DEL PROYECTO

##### INVEMAR

Constanza Ricaurte  
Luisa Fernanda Espinosa  
Paula Cristina Sierra Correa  
David Alonso Carvajal  
Martha Patricia Vides C

##### ANH

Helman Alberto Bermudez  
Sylvia De La Hoz Aristizabal  
Anny Lizette Castillo C

#### GRUPO DE INVESTIGACION

##### Programa BEM

José Manuel Gutiérrez  
Luis Chasqui Velasco  
Maryela Bolaño  
Maria Isabel Aguilar  
Sara Guzmán  
Eliana Barrios  
Leonel Fernández  
Manuel Garrido  
Cristina Cedeño  
Karen Ayala  
Fernando Dorado  
Diana Gómez  
Catalina Arteaga

##### Coordinación GEZ

Julian Pizarro  
Venus Lorena Rocha

##### Laboratorio LABCAM

Héctor Cartas (Asesor IAEA)  
Leydy Alarcón; Roika Angulo  
Laura Díaz; Erika Pérez  
Olga Díaz; Sheila Beltrán  
Daniel Quintero; Edinson Orozco  
Halbin Serrano; Carol Montañez  
Jonathan Pai; Gustavo Lara  
Fernanda Bastos; Sonia García  
Yoselin Nieto; Zuley Diaz  
Jasmin Velandia; Andrea Gamboa  
Jader Osorio; Daniela Chaparro  
Sebastian Gómez; Luisa Quiroz

##### Programa GEO

Silvio Andrés Ordóñez-  
Wilberto Pacheco  
David F. Morales Giraldo  
Andrés F. Rosado Tapia  
Constanza Ricaurte  
Juan Carlos Silva

##### MHNMC -Makuriwa

Miguel Martelo  
Rosa Pereira

##### Programa CAM

Pedro Pablo Vallejo  
Karen Ibarra Gutiérrez  
César Augusto Bernal  
Luisa Fernanda Espinosa

Imagen portada: Mosaico de componentes de estudios de línea base ambiental costa afuera.

INVEMAR

Calle 25 No. 2-55, Playa Salguero  
Santa Marta D.T.C.H., Colombia  
Teléfono: (57) (5) 4328600  
[www.invemar.org.co](http://www.invemar.org.co)

**Este informe deberá ser citado de la siguiente manera:**

- a) Si cita todo el informe:** Vides M. y D. Alonso (Eds.). 2020. Estudio técnico ambiental en áreas y temáticas de interés en apoyo al crecimiento sostenible del sector de hidrocarburos costa afuera. Informe Técnico Final. Convenio 474 - 2020. Agencia Nacional de Hidrocarburos ANH e Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés INVEMAR. Santa Marta. 148 p. + Anexos
- a) Si cita un capítulo:** Autor(es). 2020. Nombre del capítulo. pp. En: *Informe*.

## Tabla de contenido

I. TEMATICA 1. LEVANTAMIENTO DE LINEA BASE AMBIENTAL DE ÁREAS DEL SEGUNDO CICLO PPAA.....	15
1 Componente geosférico y oceanográfico del área, como base para la descripción de los ambientes marinos en sectores de interés.....	16
1.1 Problema y su justificación .....	18
1.2 Metodología utilizada .....	18
1.2.1 Marco geológico.....	18
1.2.2 Precipitación y caudal .....	18
1.2.3 Viento.....	19
1.2.4 Temperatura superficial del mar.....	20
1.2.5 Circulación oceánica.....	20
1.3 Presentación de los hallazgos y resultados .....	20
1.3.1 Precipitación.....	22
1.3.2 Caudales.....	23
1.3.3 Temperatura superficial de mar.....	24
1.3.4 Circulación .....	25
1.3.5 Geología y geomorfología .....	26
1.4 Conclusiones .....	32
1.5 Recomendaciones.....	33
1.6 Bibliografía .....	33
2 Levantamiento de información tendiente a evaluar la calidad de agua y sedimentos, colecta de muestras biológicas y observación de fauna marina. ....	38
2.1 Área de estudio .....	38
2.2 Levantamiento de batimetría Multihaz.....	38
2.2.1 Procedimiento del levantamiento.....	40
2.2.2 Personal .....	40
2.2.3 Equipos utilizados:.....	41
2.3 Campaña de exploración oceanográfica - biológica.....	44

2.4	Levantamiento y colecta de información del componente geosférico y oceanográfico	46
2.5	Levantamiento de información tendiente a evaluar la calidad de agua y sedimentos	46
2.6	Colecta de muestras biológicas de las comunidades planctónicas (fito, zoo e ictio), bentónicas y de fauna marina	48
2.6.1	Comunidades planctónicas	48
2.6.1.1	Fitoplancton	48
2.6.1.2	Zooplancton e ictioplancton	49
2.6.2	Comunidades bentónicas	49
2.6.2.1	Muestras para análisis de macro y meio-fauna bentónica	49
2.6.3	Fauna marina	50
2.7	Videotransectos <i>in situ</i> realizados con vehículos sumergibles	52
II.	TEMÁTICA 2. ANÁLISIS DE MUESTRAS DE "PISTON CORER" COMO SOPORTE A LA INFORMACIÓN DE LÍNEA BASE ASOCIADA A ESTUDIOS COSTA AFUERA	57
1	Análisis de muestras de Piston Corer	57
1.1	Problema y justificación	57
1.2	Metodología utilizada	59
1.2.1	Procesamiento de 5 núcleos de "Piston Corer" para la medición de metales e hidrocarburos	59
1.2.2	Análisis de isótopos radiactivos emisores gamma de la cadena del $^{238}\text{U}$ , en un núcleo de "Piston corer"	59
1.2.2.1	Análisis de metales en muestras de núcleos de "Piston Corer" preservadas con formaldehído	60
1.2.2.2	Análisis de hidrocarburos en muestras de núcleos de "Piston Corer" preservadas con formaldehído	61
1.2.3	Fechado y reconstrucción histórica de metales en un núcleo de sedimento recolectado en 2019 por el INVEMAR en el marco del proyecto financiado por FUCOLDE-ANH (INVEMAR, 2019) en una zona costera del Caribe colombiano	62
1.3	Presentación de los hallazgos y resultados	63
1.3.1	Resultados de variables analizadas en núcleos de "Piston Corer" custodiados por el INVEMAR	63
1.3.1.1	Procesamiento de las muestras de cinco núcleos de "Piston corer" del bloque Fuerte Norte	66

1.3.1.2	Isótopos radiactivos emisores gamma de la cadena del $^{238}\text{U}$ , en un núcleo de “Piston corer” del bloque Fuerte Norte .....	66
1.3.1.3	Metales en cinco núcleos de sedimento recolectados con “Piston corer” en el bloque Fuerte Norte .....	74
1.3.1.4	Hidrocarburos en cinco núcleos de “Piston corer” del bloque Fuerte Norte .....	77
1.3.2	Fecha y reconstrucción histórica de metales en un núcleo de sedimento recolectado en 2019 por el INVEMAR en el marco del proyecto financiado por FUCOLDE-ANH en la bahía de Cispata, Caribe colombiano.....	79
2	Conclusiones .....	85
2.1	Bibliografía .....	86
III.	TEMATICA 3. APOYO A LA REESTRUCTURACIÓN DE PROCESOS DE LICENCIAMIENTO AMBIENTAL COSTA AFUERA.....	89
1	Apoyo a la reestructuración de los Términos de Referencia, para la actividad de perforación exploratoria costa afuera.....	89
1.1	Problema y su justificación .....	89
1.2	Metodología utilizada .....	91
1.3	Presentación de hallazgos y resultados.....	94
1.3.1	Taller de Socialización.....	94
1.3.2	Información disponible relacionada con el licenciamiento ambiental.....	97
1.3.3	Mesa de trabajo virtual.....	98
1.3.4	Observaciones y consideraciones generales de los TdR para la perforación exploratoria costa afuera.....	102
1.3.5	Referentes internacionales para el levantamiento de información ambiental en el marco de la perforación exploratoria de hidrocarburos costa afuera .....	105
1.3.6	Marco normativo referente a la actividad de hidrocarburos en Colombia.....	107
1.3.7	Documento con la propuesta consolidada con el ANLA, para la modificación de los Términos de referencia para la elaboración del EIA de actividades de perforación exploratoria de hidrocarburos costa afuera, .....	110
1.4	Conclusiones .....	111
1.5	Recomendaciones.....	112
1.6	Bibliografía .....	112
IV.	TEMÁTICA 4. MAPAS DE SENSIBILIDAD AMBIENTAL A HIDROCARBUROS.....	115
1	Información de base para mapas de sensibilidad ambiental a hidrocarburos (MSA-HC) .	115

1.1	Problema y su justificación .....	115
1.2	Proceso mapas de sensibilidad ambiental a hidrocarburos (MSA-HC).....	116
1.2.1	Identificación.....	117
1.2.2	Recopilación .....	117
1.2.2.1	Información bibliográfica .....	117
1.2.3	Información cartográfica .....	118
1.2.4	Estructuración .....	118
1.2.4.1	La información bibliográfica .....	118
1.2.4.2	Información cartográfica.....	119
1.2.5	Análisis.....	120
1.2.5.1	Definición de la base de datos final de especies (componente recursos biológicos).....	120
1.2.5.2	Codificación base de datos recursos biológicos sensibles (Especies) .....	121
1.2.6	Producción .....	121
1.3	Presentación de hallazgos y resultados.....	122
1.3.1	Identificación.....	122
1.3.1.1	Área de estudio.....	122
1.3.1.2	Definición de los usuarios. ....	123
1.3.1.3	Definición de la escala .....	123
1.3.2	Representación .....	123
1.3.3	Fuentes de información .....	124
1.3.4	Recopilación .....	125
1.3.4.1	Información bibliográfica .....	125
1.3.4.2	Información cartográfica.....	125
1.3.5	Estructuración .....	129
1.3.5.1	Base de datos de recursos biológicos (Especies) .....	129
1.3.5.2	Información cartográfica.....	132
1.3.6	Análisis de los datos.....	133
1.3.6.1	Base de datos de recursos biológicos sensibles (Especies).....	133
1.3.6.2	Codificación base de datos recursos biológicos sensibles (Especies) .....	134
1.3.7	Producción cartográfica .....	135

1.3.7.1	Mapas de la ubicación de recursos biológicos sensibles a derrame de hidrocarburos (Especies).....	135
1.3.7.2	Mapas de la ubicación de recursos biológicos sensibles a derrame de hidrocarburos (ecosistemas y áreas protegidas).....	141
1.3.7.3	Mapas de la ubicación de recursos socioeconómicos sensibles a derrame de hidrocarburos. ....	144
1.4	Bibliografía .....	147

## Listado de figuras

Figura 1 Ubicación de las estaciones de precipitación y caudal. Donde los puntos rojos representan la ubicación de las estaciones de precipitación; p1(Parque Tayrona), p2 (Guachaca), p3 (Buritaca), p4 (Palomino) y p5 (Termo Guajira). Los puntos azules representan las estaciones de caudal de los ríos Guachaca, Buritaca, Palomino, Ancho y Mingueo. ....	19
Figura 2. Climatología de la velocidad para el periodo de 1992 a octubre de 2019. ....	21
Figura 3. Rosas de viento para las temporadas de vientos a) máximos, b) intermedia y c) mínimos. ....	22
Figura 4. Climatología de la precipitación de las 5 estaciones más cercanas al sector GUA OFF 13. ....	23
Figura 5. Climatología de cinco ríos (Buritaca,Guachaca, Palomino, Ancho y Mingueo) que desembocan en el sector GUA OFF 13.....	23
Figura 6. Climatología de la temperatura superficial del mar para el periodo de 1982 a octubre de 2020. ....	24
Figura 7. Climatología de velocidad y dirección de las corrientes superficiales para el periodo de 1993 a 2019. ....	25
Figura 8. Configuración tectónica del norte de Suramérica. Tomada de Giunta & Orioli (2011).	26
Figura 9. Plancha N° 18102 elaborada por el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH) en el año 1996. Elipsoide WGS 84, escala 1:125.000. Fuente: Tabares et al. 1996. Se muestra la posición del bloque Guajira Offshore 13 del mapa de tierras de ANH del 2019.....	28
Figura 10. Geología de la zona comprendida entre la boca del río Guachaca (oeste) y la boca del río Cañas (este). MZSL: Esquistos de San Lorenzo conjunto inferior, PZb: Neis de Buritaca, Kc: Esquistos de Concha, PZm: Neis de los Muchachitos, Esmb-cd: Batolito de Santa Marta, Esmb-cm: Cuarzomonzonita de Palomino, Esmb-g: Granito Moscovitico, Jg: Riolita de golero, Jlc: Ignimbrita de los Clavos, Tjg: Formación Guatapurí, Krc: Cretácico del río Cañas, Nm: Sedimentitas de Edad Mioceno, Qal: Aluviales recientes, Qt: Terrazas Aluviales. (INGEOMINAS, ECOPETROL ICP, INVEMAR, 2008; GEOSEARCH, 2007).....	29
Figura 11. Geología de la zona comprendida entre la Ensenada de Cinto (oeste) y la boca del río Don Diego (este). MZSL: Esquistos de San Lorenzo conjunto inferior, PZb: Neis de Buritaca, Kc: Esquistos de Concha, PZm: Neis de los Muchachitos, Esmb-cd: Batolito de Santa Marta, Esmb-cm: Cuarzomonzonita de Palomino, Esmb-g: Granito Moscovitico, Jg: Riolita de golero, Jlc: Ignimbrita de los Clavos, Tjg: Formación Guatapurí, Krc: Cretácico del río Cañas, Nm: Sedimentitas de Edad Mioceno, Qal: Aluviales recientes, Qt: Terrazas Aluviales. (INGEOMINAS, INVEMAR, ECOPETROL y GEOSEARCH, 2007).....	31
Figura 12 .Área de exploración definida para levantamiento de información (Bloque GUA OFF 13). Fase I – 2020 Área (ha): 140539. Profundidad máxima 900 metros. ....	38
Figura 13. Resultado preliminar del levantamiento batimétrico sobre los siete polígonos.....	39
Figura 14 .Equipos Multihaz en el centro de control.....	41
Figura 15. Productos preliminares del análisis batimétrico sobre el polígono 1.....	44

Figura 16. Localización de las estaciones de muestreo del crucero. ....	45
Figura 17. Izquierda: observadora de fauna marina en la proa de la embarcación; derecha: embarcación “María José II”. ....	51
Figura 18. Anomalías detectadas en los polígonos 1 a 6 del Bloque de exploración GUA OFF 13. ....	53
Figura 19. Anomalías detectadas en los polígonos 7 del Bloque de exploración GUA OFF 13. ...	54
Figura 20. Cámara de Deriva Multipropósito (CADEM) Izquierda: Esquema del montaje de CADEM para toma de video y fotografía; Derecha: CADEM en cubierta de la embarcación.....	55
Figura 21. Evidencias de corales copa, Cladocora debilis y del coral estructurante Madracis spp. en el polígono N°4.....	55
Figura 22. Mapa con las estaciones de “Piston corer” analizadas en 2020.....	64
Figura 23. Mapa con las estaciones de “Piston corer” analizadas en 2019 y 2020.....	65
Figura 24. Mapa con las estaciones de núcleos recolectados con “Piston corer” custodiados por el INVEMAR.....	66
Figura 25. Espectro gamma para la muestra de “Piston corer” 055A, horizonte 1, 24 h de medición. ....	68
Figura 26. Espectro gamma para la muestra de “Piston corer” 055A, horizonte 2, 12h de medición. ....	69
Figura 27. Espectro gamma para la muestra de “Piston corer” 055A, horizonte 3, 14 h de medición. ....	70
Figura 28. Espectro gamma para la muestra de “Piston corer” 055A, horizonte 4, 48 h de medición. ....	71
Figura 29. Espectro gamma para la muestra de “Piston corer” 055A, horizonte 5, 25 h de medición. ....	73
Figura 30. Concentraciones de: a) cobre (Cu), b) cromo (Cr), c) zinc (Zn), d) mercurio (Hg), e) manganeso (Mn), y f) hierro (Fe) Vs. profundidad, en cinco núcleos de sedimento recolectados con “Piston corer” en el bloque Fuerte Norte. ....	76
Figura 31. Concentraciones de a) hidrocarburos de petróleo equivalentes de criseno y b) hidrocarburos alifáticos, Vs. profundidad, en núcleos de sedimento recolectados con “Piston corer” en el bloque Fuerte Norte. ....	79
Figura 32. Mapa de los núcleos de sedimento recolectados en 2019 con corer de gravedad en la bahía de Cispata y el golfo de Morrosquillo. Producto cartográfico elaborado por el Laboratorio de Servicios de Información – LABSIS del INVEMAR.....	80
Figura 33. Actividad total <sup>210</sup> Pb para el núcleo sedimentario P01-BDC. ....	81
Figura 34. Actividad <sup>210</sup> Pb en exceso para el núcleo sedimentario P01-BDC.....	82
Figura 35. Tasas de acumulación y sedimentación para el núcleo sedimentario P01-BDC .....	83
Figura 36. Variaciones temporales de la concentración de Cu, Cr, Hg, Mn y Zn en el núcleo sedimentario P01-BDC2 con respecto al perfil de profundidad .....	85
Figura 37. Variaciones temporales de la concentración de Cu, Cr, Hg, Mn y Zn en el núcleo sedimentario P01-BDC con respecto al perfil de edad.....	85

Figura 38. Metodología para evaluación, diagnóstico y diseño de procesos (Modificado de Herrera Monterroso, 2007).....	92
Figura 39. Primera pregunta del formulario GENERALIDADES.....	95
Figura 40. Segunda pregunta del formulario GENERALIDADES.....	95
Figura 41. Tercera pregunta del formulario GENERALIDADES.....	96
Figura 42. Resultados obtenidos frente al formulario INFORMACIÓN AMBIENTAL.....	97
Figura 43. Periodos del ciclo de vida de la actividad de hidrocarburos costa afuera dados por la minuta contractual. ....	99
Figura 44. Periodos del ciclo de vida de la actividad de hidrocarburos costa afuera relacionando los impactos y la información requerida. ....	102
Figura 45. Proceso para la creación de los Mapas ISA de Córdoba y Antioquia. ....	116
Figura 46. Localización área de estudio. ....	122
Figura 47. Simbología de especies, recursos biológicos proyecto MSA-HC 2017 (izq.) Simbología para los ecosistemas sumergidos y emergidos, recursos biológicos proyecto MSA-HC 2017 (der.). ....	124
Figura 48. Simbología de los recursos de uso humano- socioeconómico, proyecto MSA-HC 2017. ....	124
Figura 49. Mapa información cartográfica recopilada para el componente de recursos biológicos. ....	127
Figura 50. Mapa información cartográfica recopilada para el componente socioeconómico..	128
Figura 51. Representación cartográfica de la Información de registros de especies.....	130
Figura 52. Polígonos de agrupación para codificación de especies. ....	134
Figura 53. Distribución de los mapas MSA-HC para los departamentos de Córdoba y Antioquia. ....	135
Figura 54. Simbología especies, recursos biológicos. Fuente: Propia del proyecto.....	136
Figura 55. Mapa 1 de Especies Sensibles, Córdoba 1 (VER ANEXO 2).....	137
Figura 56. Mapa 2 de Especies sensibles, Córdoba 2 (VER ANEXO 3). ....	138
Figura 57. Mapa 3 de Especies sensibles, Córdoba 3 (VER ANEXO 4).....	139
Figura 58. Mapa 4 de Especies sensibles, Antioquia 4 (VER ANEXO 5). ....	139
Figura 59. Mapa 5 de Especies sensibles, Antioquia 5 (VER ANEXO 6). ....	140
Figura 60. Mapa 6 de Especies sensibles, Antioquia 6 (VER ANEXO 7). ....	140
Figura 61. Mapa 1 y 2 Recursos biológicos (ecosistemas y áreas protegidas), Córdoba (VER ANEXO 8 y 9).....	141
Figura 62. Mapas 3 y 4 Recursos biológicos (ecosistemas y áreas protegidas), Córdoba, y Antioquia (VER ANEXO 10 y 11). ....	142
Figura 63. Mapas 5 y 6 Recursos biológicos (ecosistemas y áreas protegidas), Antioquia (VER ANEXO 12 y 13).....	143
Figura 64. Mapas 1 Recursos socioeconómicos Córdoba 1 (VER ANEXO 14). ....	144
Figura 65. Mapas 2 y 3 Recursos socioeconómicos Córdoba (VER ANEXO 15 y 16). ....	145
Figura 66. Mapas 4 y 5 Recursos socioeconómicos Antioquia (VER ANEXO 17 y 18).....	146
Figura 67. Mapas 6 Recursos socioeconómicos Antioquia (VER ANEXO 19). ....	147



## Listado de tablas

Tabla 1. Estaciones meteorológicas de precipitación. ....	18
Tabla 2. Estaciones de caudales en el GUA OFF 13.....	19
Tabla 3. Coordenadas establecidas para los siete polígonos de levantamiento batimétrico. Vértices en coordenadas Geográficas UTM, Elipsoide WGS84, zona 18N.....	42
Tabla 4. Coordenadas establecidas para los puntos de muestreo oceanográfico y biológico del bloque GUA OFF 13. Oceanográficas (Oc). Plancton (PI). Box corer (Bx).....	45
Tabla 5. Número total de muestras colectadas para los análisis de las facies sedimentarias e hidrodinámica del bloque GUA OFF 13.....	46
Tabla 6. Número total de muestras colectadas para los análisis de la calidad de agua y sedimentos del bloque GUA OFF 13.....	47
Tabla 7. Número total de muestras colectadas para los análisis cualitativos y cuantitativos de la comunidad planctónica del bloque GUA OFF 13.....	49
Tabla 8. Número total de muestras colectadas para los análisis de macro y meio-fauna bentónica del bloque GUA OFF 13.....	50
Tabla 9. Número total de avistamientos realizados por el observador de fauna marina en el bloque GUA OFF 13.....	52
Tabla 10. Muestras de “Piston Corer” para la medición de isótopos emisores gamma, metales e hidrocarburos.....	59
Tabla 11. Métodos para análisis de metales en sedimentos. (p.s.: peso seco).....	60
Tabla 12. Métodos para análisis de hidrocarburos en sedimentos. (p.s.: peso seco).....	61
Tabla 13. Muestras de “Piston Corer” del bloque Fuerte Norte secadas y procesadas en el LABCAM del INVEMAR.....	67
Tabla 14. Reporte cualitativo de las líneas de emisión del espectro gamma para la muestra de “Piston core” 055 <sup>a</sup> , horizonte 1.....	68
Tabla 15. Reporte cualitativo de las líneas de emisión del espectro gamma para la muestra de “Piston core” 055A, horizonte 2.....	70
Tabla 16. Reporte cualitativo de las líneas de emisión del espectro gamma para la muestra de “Piston core” 055A, horizonte 3.....	71
Tabla 17. Reporte cualitativo de las líneas de emisión del espectro gamma para la muestra de “Piston core” 055A, horizonte 4.....	72
Tabla 18. Reporte cualitativo de las líneas de emisión del espectro gamma para la muestra de “Piston core” 055A, horizonte 5.....	73
Tabla 19. Resultados de los metales analizados en cinco núcleos de sedimento recolectados con “Piston corer” en el bloque Fuerte Norte.....	74
Tabla 20. Resultados de hidrocarburos de petróleo equivalentes de criseno e hidrocarburos alifáticos analizados en cinco núcleos de sedimento recolectados con “Piston corer” en el bloque Fuerte Norte.....	78
Tabla 21. Geocronología núcleo P01-BDC.....	80
Tabla 22. Concentración de metales para el núcleo sedimentario P01-BDC.....	83

Tabla 23. Escalas de aproximación en el levantamiento de información ambiental marina.....	101
Tabla 24. Bases de datos utilizadas para la actualización de los nombres científicos de las especies registradas en los departamentos de Antioquia y Córdoba. ....	119
Tabla 25. Bases de datos consultadas para la recopilación .....	124
Tabla 26. Información cartográfica recopilada para el componente de recursos biológicos. ..	125
Tabla 27. Información cartográfica recopilada para el componente socioeconómico .....	126
Tabla 28. Información general del recurso biológico según la estructuración de los MSA-HC	137

## INTRODUCCION

El presente informe técnico final, se constituye en uno de los productos comprometidos en el Convenio Interadministrativo 474 -20, celebrado entre el INVEMAR y la ANH, el cual tiene como objeto *Aunar esfuerzos técnicos, financieros, jurídicos y administrativos para dar continuidad a las temáticas de investigación relacionadas con el levantamiento de línea base ambiental preliminar (SEA) y a la estructuración de instrumentos de evaluación de proyectos de exploración y producción de hidrocarburos costa fuera.* En él, se presentan los resultados obtenidos frente a las cuatro Temáticas de investigación a saber:

Temática 1. Levantamiento de línea base ambiental de áreas del segundo ciclo PPAA

Temática 2. Análisis de muestras de “Piston Corer” como soporte a la información de línea base asociada a estudios costa afuera

Temática 3. Apoyo a la reestructuración de procesos de licenciamiento ambiental costa afuera

Temática 4. Mapas de sensibilidad ambiental a hidrocarburos

Siendo el conocimiento preliminar de un área, el que minimiza el riesgo de tener que terminar un contrato ante la posibilidad de encontrar elementos ambientalmente sensibles corriendo el riesgo de impedir la ejecución total o parcial del proyecto, la *Temática 1*, busca dar continuidad al levantamiento de información de línea base ambiental, dando inicio con la adquisición de la información en campo y colecta de muestras del bloque GUA OFF13 sobre la cuenca Guajira Offshore del Caribe colombiano, las cuales serán procesadas y analizadas en una fase posterior: Así mismo como soporte a la información de línea base asociada a estudios costa afuera, la *Temática 2* da continuidad al análisis de la calidad de sedimentos de algunos núcleos de “Piston Corer” que se encuentran bajo custodia del INVEMAR, además de un análisis históricos sobre cambios temporales en la entrada de contaminantes en los ecosistemas marinos mediante núcleos de sedimentos colectados en el 2019 (INVEMAR, 2019).

Desde la competencia del INVEMAR y a partir de su experiencia basada en los recientes resultados del proyecto “Diagnóstico ambiental regional de la Cuenca del Caribe colombiano” co-financiado por la ANH en el 2019 (Vides y Alonso, 2019), en la *Temática 3* se busca brindar apoyo a la revisión y propuesta de ajuste información ambiental solicitada en la fase de caracterización de Términos de Referencia (TdR) de la perforación exploratoria costa afuera, como apoyo técnico a la Agencia Nacional de Licencias Ambientales, a cargo de dicha revisión.

En respuesta a las necesidades del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en la Temática 4 se propone generar los insumos de información secundaria para el componente biológico y socioeconómico para el desarrollo posterior de Mapas de Sensibilidad Ambiental a Hidrocarburos (MSA-HC), como insumo a los Planes de contingencia para el transporte de hidrocarburos, derivados o sustancias nocivas (Decreto 1076 de 2015).

# I. TEMATICA 1. LEVANTAMIENTO DE LINEA BASE AMBIENTAL DE ÁREAS DEL SEGUNDO CICLO PPAA

El presente capítulo pretende mostrar tanto la planeación como las actividades desarrolladas frente a los siguientes productos:

Llevar a cabo el crucero de investigación dentro del bloque GUA OFF 13 sobre la cuenca sedimentaria del Caribe colombiano, con el fin de coleccionar datos primarios y de campo, como insumo al estudio de línea base ambiental del área y cuya consolidación, análisis y procesamiento se propone llevar a cabo en una fase posterior.

- Levantamiento y colecta de información del componente geosférico y oceanográfico del área, como base para la descripción de los ambientes marinos en sectores de interés.
- Levantamiento de información tendiente a evaluar la calidad de agua y sedimentos del área, que permita llevar a cabo el análisis de hidrocarburos, metales pesados, carbono orgánico total y parámetros fisicoquímicos.
- Colecta de muestras biológicas de las comunidades planctónicas (fito, zoo e ictio) y bentónicas, como base para el desarrollo del análisis cuantitativo, de biomasa y de composición en una fase posterior. Así mismo se obtendrá el inventario de la ocurrencia de mamíferos marinos, aves y tortugas, durante el tiempo de desarrollo del crucero de investigación.
- Levantamiento de batimetría Multihaz en al menos 5 sectores del bloque, en profundidades entre los 50 y 500 m en áreas de interés ecológico.
- Videotransectos *in situ* realizados con tecnología ROV / cámara de deriva (DriftCam), para la futura observación e identificación de fauna mesofótica presente en cada uno de estos sitios.

## 1 Componente geosférico y oceanográfico del área, como base para la descripción de los ambientes marinos en sectores de interés.

*Silvio Andrés Ordóñez-Zúñiga, Wilberto Pacheco-Paternina, David F. Morales Giraldo, Constanza Ricaurte-Villota.*

La cuenca Guajira Offshore está localizada en el Mar Caribe, limita al norte y occidente con la planicie abisal de la cuenca Colombia, al sur occidente con la cuenca Sinú Offshore, al sur con la costa de la península de La Guajira, al oriente con la frontera internacional. Las áreas ofertadas en la cuenca clasificadas como emergentes se ubican en el mar Caribe, en la parte centro sur de la cuenca. El Área GUA OFF 13 se localiza frente al municipio de Dibulla del departamento de La Guajira y al municipio de Santa Marta del departamento de Magdalena.

Dada su localización, la Cuenca Guajira Offshore representa una oportunidad para avanzar en el entendimiento de los procesos geológicos endógenos y exógenos que han controlado la evolución del margen continental del Caribe colombiano. Una de las entidades geológicas más importantes que han determinado la evolución geológica del margen continental del Caribe colombiano y de la Cuenca Guajira Offshore corresponde al sistema de fallas de Oca. Este, no solo ha controlado, desde hace más de 23 millones de años, la sedimentación marina a lo largo de la Cuenca Guajira Offshore, sino también su geomorfología marina. Este sistema de fallas también ha definido la geomorfología y sedimentación a lo largo de otras cuencas sedimentarias como las de la Baja Guajira y Cesar - Ranchería (Londoño and Schiek, 2015, Martínez et al. 2015).

Las condiciones geológicas y geomorfológicas de la porción del margen continental del Caribe colombiano que limita con la cuenca sedimentaria Guajira Offshore son determinantes de la presencia de diversos ecosistemas asociados a los depósitos por aportes continentales y una transición hacia las zonas de carbonatos de origen marino que han caracterizado la plataforma continental frente a La Guajira. Para el presente informe se realizó la descripción de rasgos geológicos del fondo somero de manera generalizada de acuerdo con la información secundaria obtenida en proyectos de investigación realizados entre la bahía Guachaca y el municipio de Dibulla.

Por su parte, a nivel atmosférico y climático el área de exploración GUA OFF 13 se encuentra en la zona de influencia del Chorro de bajo nivel del Caribe (Magaña et al. 1999; Amador y Magaña, 1999) en donde la presión a nivel del mar tiene dos picos, uno a mitad de año que coincide con el verano boreal y otro al final de este (Gianni et al. 2000, Wang, 2007). La presencia de este chorro es consecuencia del desplazamiento anual de los centros de presión, exhibiendo presiones más altas durante diciembre a marzo, meses durante los cuales la zona de convergencia intertropical (ZCIT), la cual modula moduladora de la climatología de Colombia. Finalmente, la disminución de la presión entre los meses de septiembre y noviembre provoca la relajación más significativa de los vientos que afectan el área.

Por otra parte, Bernal et al. (2015) reportan que, al sur de 14°N, el Caribe colombiano se encuentra dominado por la estacionalidad y al norte por variabilidad de otros fenómenos como los remolinos y la actividad de mesoescala. El bloque GUA OFF 13 se localiza entre las dos zonas mencionadas, por lo que estudiar ambos forzantes es fundamental para la comprensión de su variabilidad. Adicionalmente, su dinamismo se encuentra modulado por la cercanía a la región de La Guajira que se caracteriza por alta variabilidad asociada a un evento de surgencia estacional, que influencia la productividad en la zona (Murcia-Riaño et al. 2017).

Otro aspecto para tener en cuenta además de la surgencia estacional son las descargas de los ríos en la zona costera, debido que la hidrología de estos afecta estacionalmente las condiciones fisicoquímicas de la columna de agua

Sobre el sector, al medio día la temperatura máxima media oscila entre 33°C y 35°C y en la madrugada, la temperatura mínima está entre 22°C y 23°C (IDEAM, 2010). La precipitación presenta un ciclo anual en el cual los valores más altos se dan en el segundo semestre del año, siendo octubre el mes más lluvioso; mientras que, en el primer semestre, las precipitaciones son escasas o nulas, concordando con las épocas climáticas descritas por Mesa et al. (1997).

La precipitación, al igual que la intensidad de los vientos en la zona costera y oceánica de La Guajira está influenciada por el movimiento estacional de la ZCIT, cuyo desplazamiento hacia el norte trae consigo mayor precipitación hacia los meses de septiembre y octubre (Schneider et al. 2014). El periodo entre junio y agosto se caracteriza por ser una temporada de bajas precipitaciones en la zona de estudio (Bernal et al. 2015).

Los aportes de agua dulce a la zona costera del bloque GUA OFF 13 provienen de la vertiente proveniente de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM), es el caso del río Ancho que tiene un recorrido de 50 kilómetros, de un área aproximada de captación de 520 kilómetros cuadrados y un caudal medio de 25 metros cúbicos por segundo y como distrito de adecuación tiene una disponibilidad de 5.000 hectáreas (Molina, 2014). Adicionalmente, se encuentra el río Mingueo que tiene un recorrido de 25 kilómetros y un área de captación de 150 kilómetros cuadrados, está localizado en la zona sur del departamento de La Guajira. Por otra parte, se encuentra el río Palomino que está localizado en la zona sur del departamento del Magdalena, con un recorrido de 70 kilómetros, de un área aproximada de captación de 680 kilómetros cuadrados y un caudal medio de 28 metros cúbicos por segundo, este río es el límite entre la Guajira y el Magdalena (Molina, 2014). De este último departamento también drenan las corrientes Guachaca cuyo territorio ocupa una superficie de 24.182 km<sup>2</sup>, su cuenca se encuentra localizada en la zona norte y limita al norte con el Mar Caribe, por el este con la cuenca del río Buritaca y el Mar Caribe, por el sur con la cuenca del río Gaira y por el Oeste con las cuencas de los ríos Manzanares y Piedras (Corpamag, 2015). El cauce principal es el río Guachaca cuya longitud es de 43 km. También se encuentra el río Buritaca, que nace a una altura aproximada de 2300 msnm y desemboca en el mar Caribe a la altura del centro poblado de Buritaca. Al este limita

con la cuenca hidrográfica del río Don Diego, al oeste con la cuenca hidrográfica del río Guachaca, al norte con el Mar Caribe y al sur con la cuenca alta del río Frío (Corpamag, 2015)..

## 1.1 Problema y su justificación

El levantamiento de información base relacionada con geología, oceanografía y clima mediante la obtención de datos y registros in situ, representa un recurso invaluable que permite el mejor entendimiento del funcionamiento de los ecosistemas presentes en un área específica; de esta manera, la toma de muestras del fondo y datos de la columna de agua (profundidad, corrientes, temperatura, salinidad, conductividad, pH, concentración de oxígeno disuelto, entre otras); así como la recopilación de registros relacionados con el comportamiento de los vientos, las precipitaciones y caudales de los ríos con el objetivo de establecer un contexto climático.

## 1.2 Metodología utilizada

### 1.2.1 Marco geológico

Se realizó la descripción del marco geológico y morfológico en el fondo marino correspondiente al bloque de exploración GUAOFF 13 a partir de la información secundaria (INGEOMINAS-ECOPETROL ICP-INVEMAR, 2008; Restrepo y Ojeda, 2010; Chicangana et al. 2011) en la cual se identificaron los principales rasgos morfológicos, estructurales y sedimentológicos que inciden en el piedemonte sumergido de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) hasta los 500 m de profundidad, e incluyendo la parte superior del cañón de La Aguja.

### 1.2.2 Precipitación y caudal

Los datos diarios de precipitación de 5 estaciones meteorológicas se tomaron del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM (Tabla 1, Figura 1). Se unificaron los datos de las estaciones y se promediaron para determinar el valor total de precipitación alrededor del bloque GUA OFF 13.

*Tabla 1. Estaciones meteorológicas de precipitación.*

Estación	Temporalidad	Fecha de inicio	Fecha final	Departamento
<b>Buritaca</b>	diaria	1999-12-15	2020-10-07	Magdalena
<b>Guachaca</b>	diaria	2000-01-01	2020-10-07	Magdalena
<b>Palomino</b>	diaria	1997-11-14	2011-01-30	La Guajira
<b>Parque Tayrona</b>	diaria	1997-12-01	2011-01-30	Magdalena
<b>Termo Guajira</b>	diaria	1991- 12-01	2011-02-24	La Guajira

Para estimar la descarga hídrica, se extrajeron datos mensuales de caudal de cinco ríos cercanos al bloque GUA OFF 13 (Guachaca, Buritaca, Palomino, Ancho y Mingueo (Figura 1 y Tabla 2).

Tabla 2. Estaciones de caudales en el GUA OFF 13

Estación	Temporalidad	Fecha de inicio	Fecha final	Departamento
Ancho	mensual	2000-01-01	2020-01-01	La Guajira
Mingueo	mensual	2000-01-01	2020-01-01	La Guajira
Buritaca	mensual	2005-01-01	2020-10-01	Magdalena
Guachaca	mensual	2000-01-01	2020-10-01	Magdalena
Puente carretera	mensual	1991- 12-01	2020-01-01	Magdalena



Figura 1 Ubicación de las estaciones de precipitación y caudal. Donde los puntos rojos representan la ubicación de las estaciones de precipitación; p1 (Parque Tayrona), p2 (Guachaca), p3 (Buritaca), p4 (Palomino) y p5 (Termo Guajira). Los puntos azules representan las estaciones de caudal de los ríos Guachaca, Buritaca, Palomino, Ancho y Mingueo.

### 1.2.3 Viento

Para la descripción de los vientos a 10 m de altura sobre el nivel del mar, se trabajó con la serie de tiempo 1979 a octubre 24 de 2020 con las componentes zonal y meridional del viento con el modelo de re-análisis de quinta generación del clima global (Era-5) que reemplaza al anterior Era-interim, proporcionado por el Centro Europeo de Pronósticos a Medio Plazo (ECMWF). Estos

datos cuentan con una resolución espacial de  $0.125^\circ$  y resolución temporal de 6 horas. Una vez extraído los datos se trabajó con una matriz de tres dimensiones en la cual se calculó el promedio de la velocidad de los vientos y posteriormente se convirtió a una dimensión para las salidas gráficas de la rosa de vientos que muestran la dirección de los vientos en el bloque GUA OFF 13.

#### 1.2.4 *Temperatura superficial del mar*

Para describir la temperatura superficial del mar en el bloque GUA OFF 13, se emplearon datos diarios del producto de nivel 4 de datos satelitales ESA SST CCI, para el periodo de 1982 a octubre 24 de 2020, a una resolución espacial de 5 km. Este producto combina datos de los sensores ATSR, SLSTR Y AVHR a base del sistema OSTIA y se encuentra disponible en la plataforma del Servicio Europeo de Monitoreo del Medio Marino de Copernicus (CMEMS, producto SST-GLO-SST-L4-REP-OBSERVATIONS-010-024).

#### 1.2.5 *Circulación oceánica*

Para la descripción de la circulación fueron empleadas las salidas numéricas mensuales de los componentes de velocidad meridional y zonal del modelo de re-análisis del océano global - GLORYS12V1, para el periodo de 1993-2019, a una resolución espacial de 8 km. Adicionalmente, se organizaron los datos en una matriz de tres dimensiones y se calcularon las climatologías de las corrientes superficiales. Éste reanálisis es capaz de resolver y reproducir remolinos, fue desarrollado por el Centro de Oceanografía Operacional Mercator Ocean de Francia y se encuentra disponible en la plataforma del Servicio Europeo de Monitoreo del Medio Marino de Copernicus (CMEMS, producto GLOBAL\_REANALYSIS\_PHY\_001\_030; Copernicus 2018). Además, utiliza el modelo NEMO v3.1 con tipo de grilla ORCA, batimetría ETOPO1 para aguas profundas y GEBCO8 para la zona costera.

### 1.3 Presentación de los hallazgos y resultados

La zona oceánica y costera del bloque GUA OFF 13 está influenciada por el Jet de bajo nivel del Caribe, también conocido como Chorro Tropical Superficial del Caribe (Wang, 2007; Whyte *et al.* 2008; Bernal *et al.* 2014), que se localiza en la ventana geográfica de los  $14^\circ\text{N} - 16^\circ\text{N}$  y  $76^\circ\text{W} - 71^\circ\text{W}$  es el forzante que domina la variabilidad espacio temporal de los vientos en la zona de estudio y también del clima seco sobre el sur occidente del Caribe, lo anterior debido a su dinámica estacional: la velocidad y alcance espacial se intensifica entre diciembre-marzo, mientras entre septiembre-octubre se debilita. Sus mayores velocidades se presentan durante el mes de julio, cuando la componente zonal predomina y el núcleo reduce su cobertura espacial (Bernal *et al.* 2014; Jouanno *et al.* 2008).

A partir de las series de datos de velocidad y dirección del viento encontradas en el polígono de trabajo, se encontró que la magnitud del viento medio mensual sobre el área de la zona oscila entre 2 m/s - 12 m/s, con un promedio de  $8,88 \pm 1,50$  m/s. En la climatología mensual para el

sector del polígono, se encontró que el máximo se presenta en febrero con 10,08 m/s y el mínimo en octubre con 6,66 m/s (Figura 2).

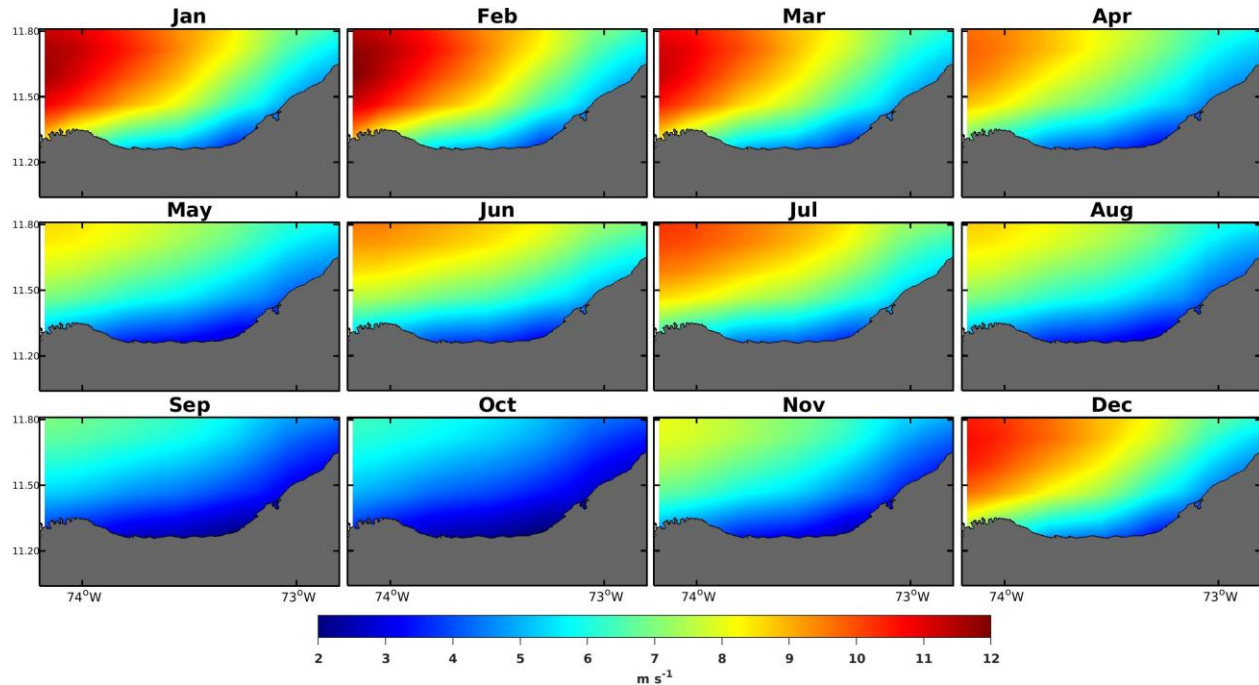


Figura 2. Climatología de la velocidad para el periodo de 1992 a octubre de 2019.

Por otro lado, y con respecto a la dirección, los datos fueron divididos por temporadas de intensidad de los vientos, con máximos en el periodo diciembre a marzo, una época intermedia entre abril y agosto y mínimos entre septiembre y noviembre (Figura 3). En la primera temporada, la dirección más frecuente es el Noreste (NE) con una representatividad del 45.30%, seguida del Este-Noreste (ENE) con 31.43% y la menos frecuente Nor-Noreste (NNE) con 13.076%.

En general, para esta temporada los vientos provienen de direcciones que se encuentran en el primer cuadrante de la rosa (entre 0 y 90°) (Figura 3a). Para la temporada intermedia las direcciones provenientes del ENE tuvieron una representatividad del 39.19%, las provenientes del NE sumaron 34.27% y el NNE aportó el 16.30% de los conteos de velocidades para el sector de estudio (Figura 3b). Finalmente, para el periodo de mínimos vientos se observa que las direcciones más frecuentes son las que proviene del NE con 37,99%, seguidas de aquellas provenientes del ENE con 33.00%. Se presentan además componentes procedentes del NNE con una representatividad de 12.59%. Los aportes mayoritarios en este periodo de tiempo están en el primer cuadrante (Figura 3c).

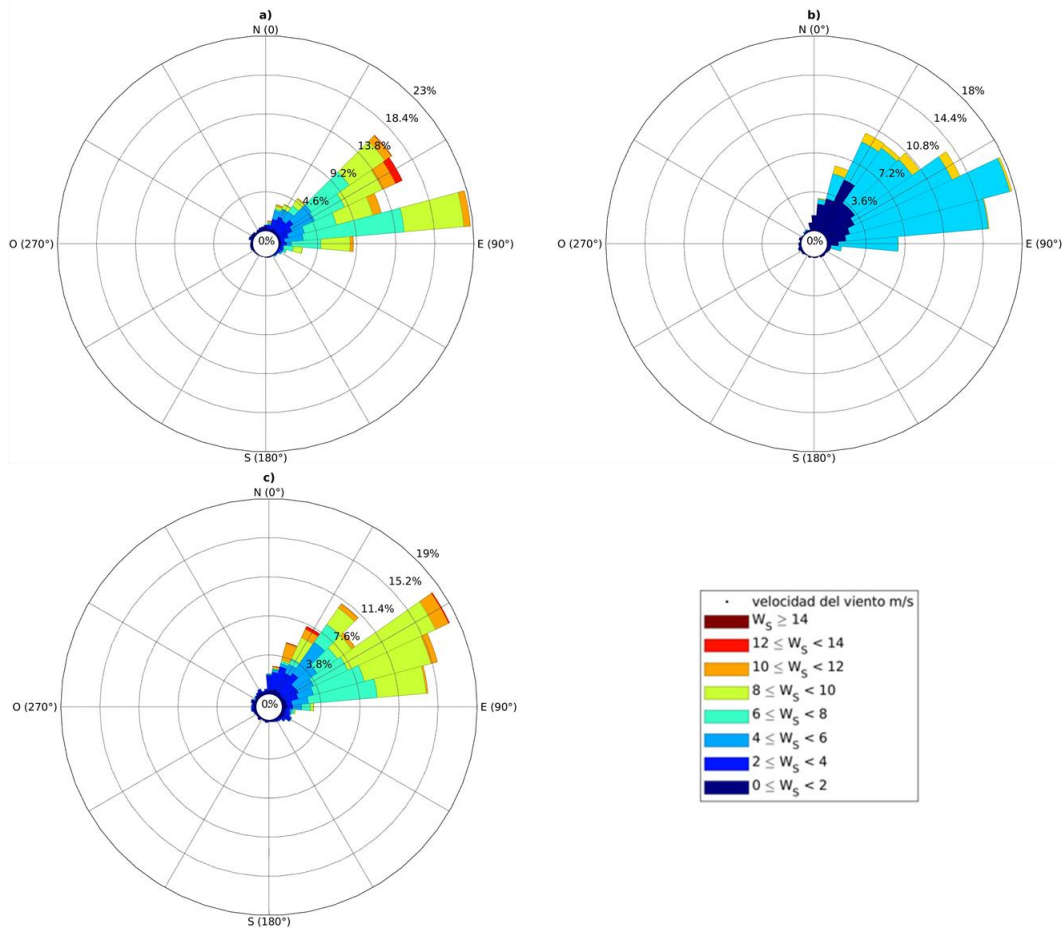


Figura 3. Rosas de viento para las temporadas de vientos a) máximos, b) intermedia y c) mínimos.

### 1.3.1 Precipitación

En cuanto al promedio de los acumulados mensuales para las estaciones próximas al bloque, el mes de octubre presenta el máximo con 44,10 mm que coincide con la temporada con menores velocidades de viento en el sector. Los meses de enero, febrero y marzo acumulan 19,81 mm periodo caracterizado por presentar velocidades de viento altas (Figura 4).

En esta distribución mensual la época de menor precipitación en la zona ocurre entre diciembre y marzo, con un acumulado promedio histórico de 41,16 mm, periodo caracterizado por una velocidad de viento alta, lo que representa el 19,88% de la precipitación anual. En la época comprendida entre los meses de abril a noviembre acumula 190,29 mm lo que representa el 80,11% de la precipitación en el año. El mes de julio se caracteriza por presentar una baja en la precipitación (10,63 mm) debido a las altas velocidades de viento en la zona.

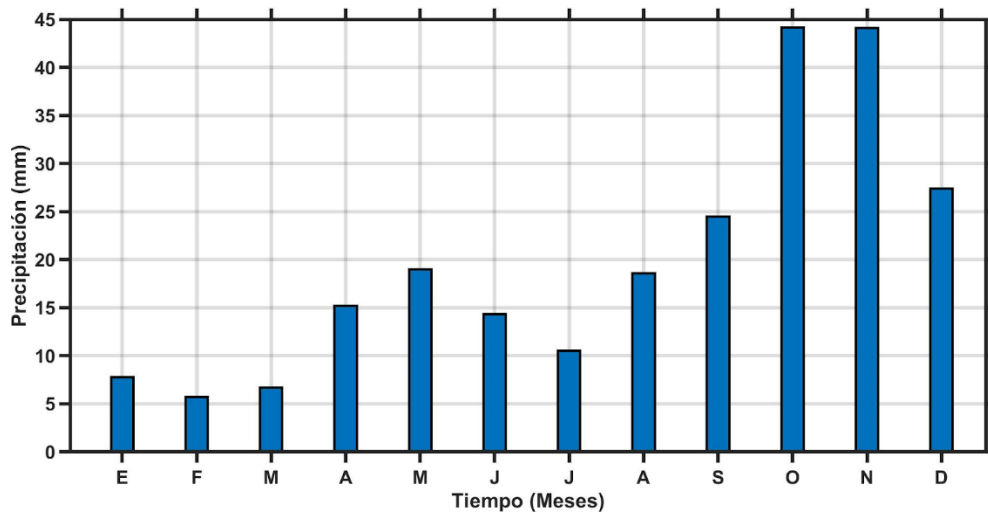


Figura 4. Climatología de la precipitación de las 5 estaciones más cercanas al sector GUA OFF 13.

### 1.3.2 Caudales

Por su parte, los caudales de los ríos que desembocan sobre la zona muestran un ciclo anual acorde a las precipitaciones que se presentan en el sector, con periodo de mínimos en el primer semestre y máximos en la segunda mitad del año (Figura 5). Los ríos Buritaca y Palomino son los que mayores aportes de agua dulce realizan a la zona oceánica en donde se encuentra el bloque GUA OFF 13.

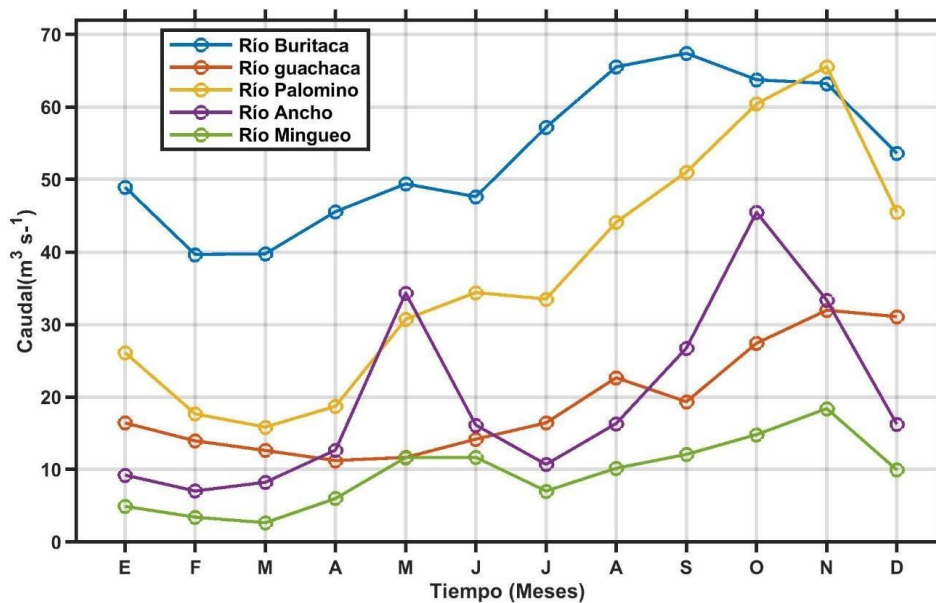


Figura 5. Climatología de cinco ríos (Buritaca, Guachaca, Palomino, Ancho y Minguero) que desembocan en el sector GUA OFF 13

Como se mencionó en las generalidades, estos ríos provienen de la vertiente de la Sierra Nevada de Santa Marta, sin embargo, su comportamiento mes a mes difiere en la cantidad de agua descargada al mar debido principalmente a que tanto el río Palomino como el Buritaca nacen en la zona con valores más altos de precipitación en la Sierra (Viloria, 2005). El que más aporta agua dulce próxima al sector donde se encuentra el bloque es el río Buritaca con un máximo de  $68 \text{ m}^3/\text{s}$  en el mes de septiembre, sin embargo, ocurre otra descarga importante en noviembre, pero proveniente del río Palomino con  $65 \text{ m}^3/\text{s}$ . El ciclo anual de caudales provenientes de los ríos permite observar un gradiente de descargas, con mayores valores al oeste del bloque, donde dominan los ríos Buritaca y Palomino y menores al este donde desembocan los ríos Ancho y Mingueo.

### 1.3.3 Temperatura superficial de mar

La TSM en el sector de GUA OFF 13 muestra unas diferencias temporales asociadas a las épocas climáticas del Caribe, con aguas entre  $25,00$  y  $26,80 \text{ }^\circ\text{C}$  durante la temporada de máximos vientos, menores valores de precipitación y caudal (Figura 6).

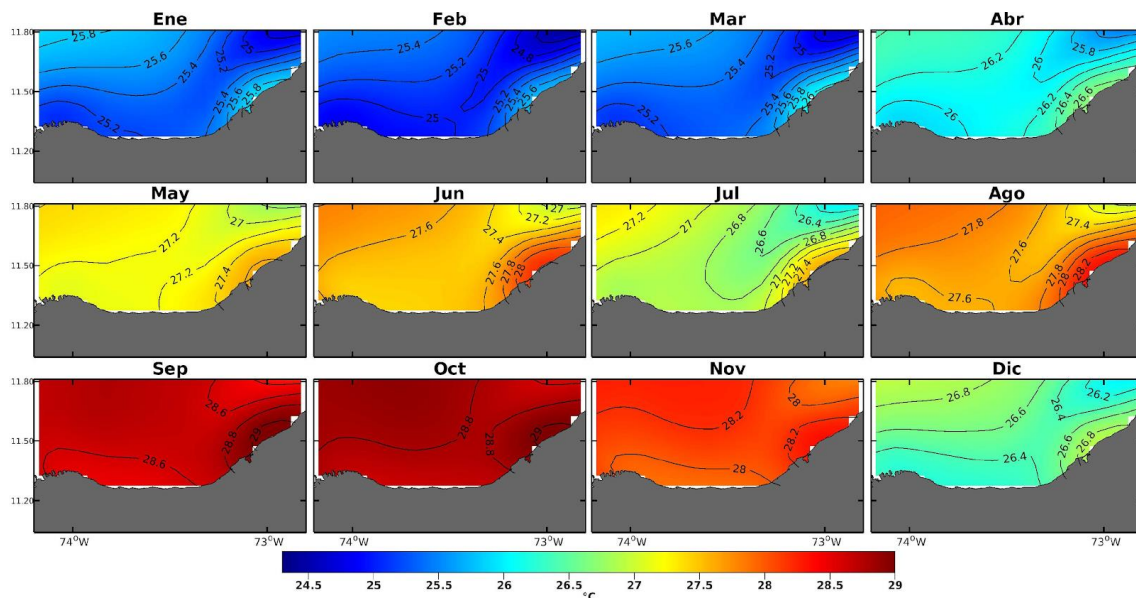


Figura 6. Climatología de la temperatura superficial del mar para el periodo de 1982 a octubre de 2020.

En julio se puede apreciar una disminución de esta variable como consecuencia de la activación del Chorro de bajo nivel del Caribe. Por su parte, las temperaturas aumentan en el sector costero en la medida que aumentan las precipitaciones y los caudales de los ríos que desembocan en la zona en el periodo septiembre-noviembre. Adicionalmente, se observa un gradiente espacial norte-sur de la TSM en la vecindad del bloque, con menores valores en la zona oceánica y mayores en la proximidad de la costa, esto debido a la influencia de las descargas de agua dulce que aumentan la temperatura y cuya principal influencia es el sector costero.

Por su parte, también se registra un foco de alta TSM al oriente del bloque, esto como consecuencia de la descarga de aguas en el complejo estuarino del Santuario de Fauna y Flora “Los Flamencos”, localizado en el Corregimiento de Camarones, Municipio de Riohacha, éste se encuentra ubicado entre los límites de la baja y media Guajira, en la vertiente nororiental de la Sierra Nevada de Santa Marta y hacia el final de la cuenca del río Camarones.

El ciclo anual de la TSM registrados en GUA OFF 13 para el periodo de 1982 a 24 de octubre 2020, corresponden a estudios realizados en el norte del Caribe colombiano aplicados por medio modelos, re análisis, datos satelitales e instrumentos como CTD (Gutiérrez et al. 2015; Ricaurte-Villota y Bastidas, 2017; Montoya-Sánchez et al. 2018). De igual forma, la disminución de la temperatura de diciembre a marzo, corresponden al aumento de los vientos alisios, que provocan un fuerte bombeo positivo de Ekman (afloramiento) ascenso de aguas frías y de mayor densidad (Montoya-Sánchez et al. 2018).

### 1.3.4 Circulación

La circulación en la zona muestra una diferencia periódica en el sector de estudio, con mayores valores en el periodo enero-marzo, caracterizado por una baja precipitación, menores caudales y máxima velocidad de vientos, por el contrario, en septiembre - noviembre se obtuvieron las menores intensidades, periodo en el cual ocurren las mayores precipitaciones, se presentan los mayores aportes de agua a través de los ríos que desembocan en la zona y los menores vientos (Figura 7).

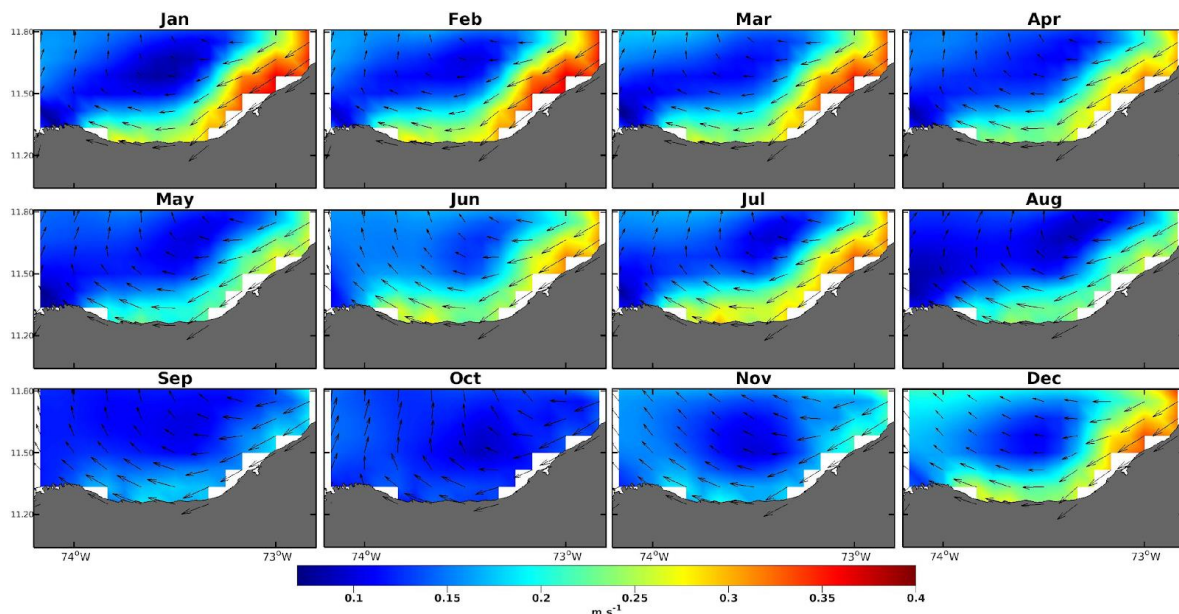


Figura 7. Climatología de velocidad y dirección de las corrientes superficiales para el periodo de 1993 a 2019.

### 1.3.5 Geología y geomorfología

La evolución geológica de la margen continental del Caribe colombiano ha sido controlada por la interacción entre tres placas tectónicas en la cuenca Caribe Colombiana: Nazca, Suramérica y Caribe (Figura 3, Taboada *et al.* 2000). Sin embargo, es controversial la relación que existe entre las últimas dos mencionadas. Se han propuesto diversas teorías y límites, entre las que destacan una subducción de bajo ángulo o un sobrecabalgamiento forzado (Taboada *et al.* 2000; Cediel *et al.* 2003). Aun en la actualidad, no ha sido posible demostrar con certeza el comportamiento del límite sur de la placa Caribe, en parte debido a la ausencia de evidencia de un plano de ruptura al nivel de la astenosfera (Speed *et al.* 1991).

Debido a la complejidad tectónica de la placa Caribe, esta se subdivide en varias regiones de distinta afinidad morfológica. Las de mayor influencia para el presente caso de estudio, se centran en la cuenca Colombia y el cinturón deformado del Caribe sur (Figura 8), donde dicha placa interactúa con la placa Suramérica a lo largo de un límite transpresivo dextral (sistema de fallas Boconó - San Sebastián - El Pilar) (Molnar & Sykes, 1969).

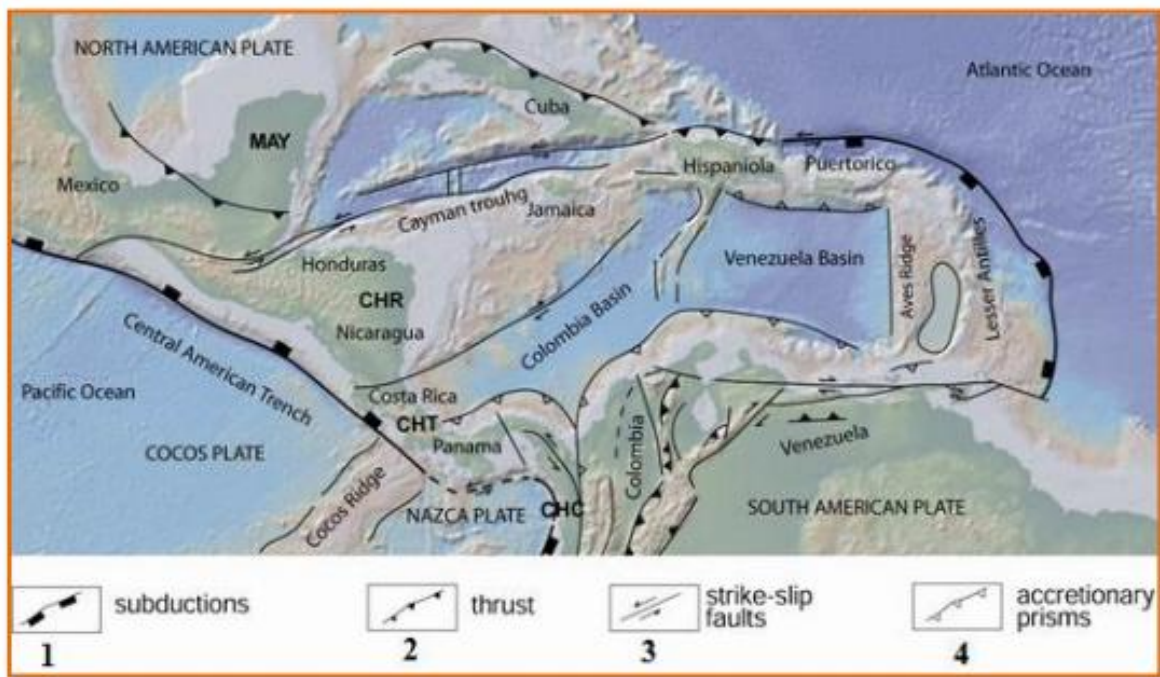


Figura 8. Configuración tectónica del norte de Suramérica. Tomada de Giunta & Orioli (2011).

Otros autores sitúan el límite sur de la placa Caribe en el Cinturón Deformado del Caribe Sur (Garzón & Ughi, 2008), una zona intensamente deformada y activa con 100-200km de ancho (Audemard y Giraldo, 1997). Se ha discutido el papel que juega este cinturón en la interacción entre las placas Caribe y Suramérica, proponiéndolo también como el límite real entre las mismas (Garzón y Ughi, 2008).

De igual forma, el origen de la placa Caribe, es foco de discusión en la actualidad. Existen principalmente dos corrientes de pensamiento que dominan en este contexto, las que proponen un origen alóctono (Pindell *et al.* 2005) y las que proponen un origen autóctono (Meschede & Frisch, 1998); sin embargo, generalmente convergen en que el origen de esta placa se sitúa hacia el Mesozoico tardío.

A nivel local, el área de estudio se concentra en una zona costa afuera al norte de Colombia, con influencia de la vertiente norte de la SNSM, un macizo rocoso con forma triangular, bordeado por varios sistemas de falla; Oca al norte, Santa Marta-Bucaramanga al oeste y el lineamiento Cesar al sureste (Tschanz *et al.* 1974). Este macizo rocoso es principalmente metamórfico y se compone de tres terrenos tectonoestratigráficos de distinta afinidad petrográfica y cronológica, orientados en su mayoría en dirección noreste y separados por los lineamientos de Cesar y Sevilla (Tschanz *et al.* 1974). El estilo estructural regional de la SNSM, indica que se trata de un macizo rocoso dispuesto en “escamas” de transcurrencia separadas por sistemas de falla dextrales (orientados en dirección E-W), los cuales han ido acomodando paulatinamente los esfuerzos tectónicos hacia el este de la SNSM (INGEOMINAS, ECOPEPETROL-ICP, INVEMAR, 2008; GEOSEARCH, 2007).

Desde el punto de vista tectónico el bloque de la SNSM puede verse afectado por actividad reciente en el extremo occidental del sistema de fallas Oca-Ancón (Audemard y Giraldo, 1997; Chicangana *et al.* 2011). El trazo de la Falla de Oca se identifica en el área offshore al occidente de Dibulla, en un probable trazo divergente de la línea de costa que se prolonga en dirección al Cinturón Deformado del Caribe Sur. Esta interpretación se relaciona con la ausencia de expresión notable en el piso oceánico, probable resultado de una deformación cubierta por sedimentos recientes que provienen de la SNSM; los rasgos frecuentes de fallas aparentemente normales paralelas en un sistema duplex distensivo; y finalmente por el rasgo batimétrico del cañón de La Aguja con un control tectónico fuerte y complejo (INGEOMINAS, ECOPEPETROL ICP, INVEMAR, 2008).

La plataforma continental contigua de la SNSM está conformada en una gran parte por el área conocida como talud continental Caribaná (Tabares *et al.* 1996), el cual está situado en el borde de las placas Caribe y Suramerica, entre el cañón submarino de Magdalena hacia el oeste y el valle submarino de la Guajira al este (Figura 9). El sector foco de este estudio comprende una plataforma continental de ancho variable y que sigue una orientación similar al contorno de la SNSM. El cañón de la Aguja es un rasgo angosto y profundo que divide en dos el área frontal de la SNSM, el cual es controlado por el sistema de fallas Oca y afecta todo el margen continental desde los 75 m en la plataforma hasta el fondo abisal (Restrepo y Ojeda, 2010). Al frente del Parque Tayrona se encuentran las colinas de Neguanje y el espolón de Santa Marta cuyas longitudes son muy similares, del orden de los 45 km.

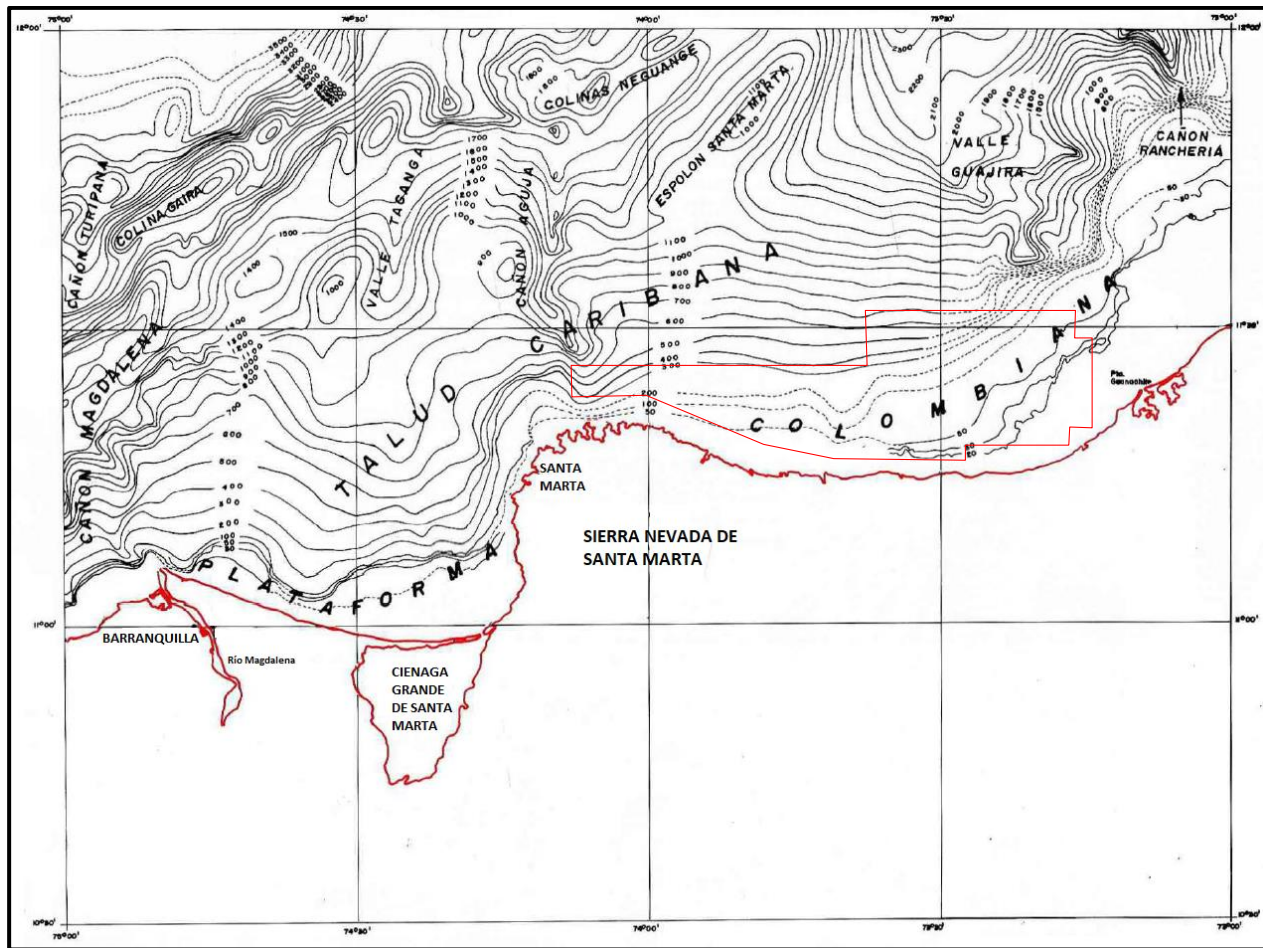


Figura 9. Plancha N° 18102 elaborada por el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH) en el año 1996. Elipsoide WGS 84, escala 1:125.000. Fuente: Tabares et al. 1996. Se muestra la posición del bloque Guajira Offshore 13 del mapa de tierras de ANH del 2019.

Case & Holcombe (1984) sugieren que la totalidad de la plataforma y talud localizados al frente de la SNSM está conformada por sedimentos de edad Mioceno. A partir de las características de sedimentos recientes encontradas en el mapa del CIOH (1990) el área puede ser dividida en 3 sectores:

- Sector correspondiente a la media Guajira, comienzos de la baja Guajira: es una plataforma amplia en donde los sedimentos presentan porcentajes de carbonato de calcio más altos y un predominio de arenas (Arenas bioclásticas, arenas biolitoclásticas y arenas litobioclásticas) (Romero, 2006).
- Sector baja Guajira: Se caracteriza por la presencia de sedimentos siliciclásticos provenientes de la SNSM. Sin embargo, también presenta zonas al occidente con mayor contenido carbonatado (Arenas lodosas litobioclásticas, lodos arenosos litobioclásticos)

(Romero, 2006).

- Sector Tayrona: Se caracteriza por el predominio de sedimentos siliciclásticos con zonas de acumulación de sedimentos de carbonato asociados a ecosistemas coralinos y de algas (Romero, 2006).

Entre río Cañas y San Salvador la mayor amplitud de la plataforma se encuentra al frente de Termoguajira, mientras que la zona más estrecha corresponde al frente deltaico del río Ancho. En esta área de la plataforma las isobatas se orientan con una tendencia dominante E-W, sin embargo, son observables cambios leves de tendencia hacia el NE en las zonas cercanas a las puntas-acantilados (Figura 12). La topografía muestra una altura máxima sobre el nivel del mar de 200 m que es alcanzada en las colinas ubicadas hacia los alrededores de la zona continental del río Ancho. Las pendientes tienen valores que van de los 0° en las zonas planas cercanas a la línea de costa hasta los 15° en la zona de colinas y acantilados (INGEOMINAS-ECOPETROL ICP-INVEMAR, 2008).

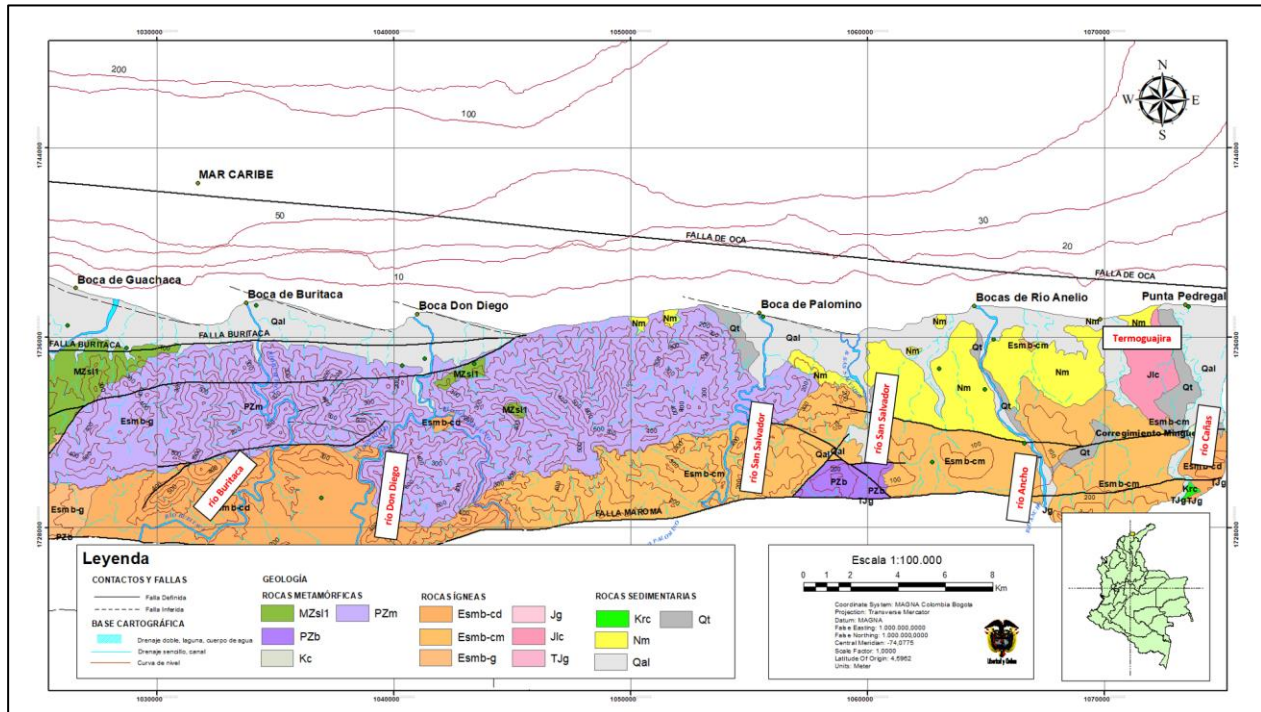


Figura 10. Geología de la zona comprendida entre la boca del río Guachaca (oeste) y la boca del río Cañas (este). MZSL: Esquistos de San Lorenzo conjunto inferior, PZb: Neis de Buritaca, Kc: Esquistos de Concha, PZm: Neis de los Muchachitos, Esmb-cd: Batolito de Santa Marta, Esmb-cm: Cuarzomonzonita de Palomino, Esmb-g: Granito Moscovítico, Jg: Riolita de golero, Jlc: Ignimbrita de los Clavos, Tjg: Formación Guatapurí, Krc: Cretácico del río Cañas, Nm: Sedimentitas de Edad Mioceno, Qal: Aluviales recientes, Qt: Terrazas Aluviales. (INGEOMINAS, ECOPETROL ICP, INVEMAR, 2008; GEOSEARCH, 2007)

La plataforma contigua del sector Palomino- Los Muchachitos presenta una distancia necesaria

para alcanzar los -15 m de profundidad que varía dependiendo de la zona de la plataforma: en los alrededores de Palomino la distancia necesaria oscila entre los 3,48 – 2,6 km, mientras que frente de los Muchachitos solo es necesario recorrer entre 100 – 150 m (Figura 12). De lo observado en la plataforma contigua se destaca un lineamiento ubicado al frente de la zona de acantilados a una profundidad de 20 m; al parecer este lineamiento es la prolongación de un fallamiento cubierto que va por todo el frente del piedemonte desde el río Buritaca hasta el litoral perteneciente al río Don Diego. La máxima elevación sobre el nivel del mar alcanza los 500 m y se encuentra en las montañas ubicadas en el sector de los Muchachitos. Las pendientes para este sector varían de 0° en la parte plana (alrededores de Palomino) hasta 35° en la zona central de los Muchachitos (INGEOMINAS-ECOPETROL ICP-INVEMAR, 2008).

En la plataforma contigua del sector Don Diego – Guachaca para alcanzar la isobata de -15 m de profundidad la distancia necesaria varía de 1,38 km al frente de la desembocadura del río Buritaca, hasta 2,5 km en los alrededores del río Don Diego (Figura 12). Las isobatas en esta porción de la plataforma se orientan con una tendencia dominante E-W destacándose leves cambios al frente de las desembocaduras. Dentro de este sector se da un cambio abrupto en la plataforma a una distancia promedio de 8,5 - 9 km medidos desde la línea de costa. A esta distancia se pasa de una plataforma levemente inclinada (0-2° grados) a un escarpe con pendientes de hasta 15° y caídas en el orden de los 125-150 m (INGEOMINAS-ECOPETROL ICP-INVEMAR, 2008).

A partir del sector de Guachaca, la batimetría homogénea encontrada desde el E cambia para dar paso a una morfología más compleja y que destaca como geoforma principal la parte inicial del Cañón submarino de la Aguja. Las curvas de nivel muestran una topografía con una altura máxima de hasta 750 m que se alcanza en la zona de montañas pertenecientes al piedemonte N de la SNSM. Las pendientes registran valores en el orden de 0° en la parte baja, hasta los 30°. En este sector Guachaca – Cabo San Juan de Guía, la distancia necesaria para alcanzar la isobata de -15 m de profundidad varía de 399 m al frente del río Mendihuaca (donde inicia el cañón de la Aguja) hasta los 1,48 km entre Buritaca y Guachaca. Las isobatas en la plataforma contigua se orientan con una tendencia dominante NW (INGEOMINAS-ECOPETROL ICP-INVEMAR, 2008).

En la plataforma continental adyacente a la SNSM el rasgo morfológico más contrastante es el Cañón de la Aguja, esta geoforma se extiende desde los -10 m hasta los -1800 m de profundidad abarcando una distancia aproximada de 90 km. Debido a los rasgos asociados a su batimetría y posición actual se sugiere que este puede ser la continuación en profundidad del trazo principal de la falla de Oca. Gran parte de la amplitud que se observa en este cañón (promedio 11 km) puede deberse a la erosión regresiva de los escarpes laterales por el deslizamiento de porciones significativas del terreno. A lo largo de la geoforma son observables cicatrices semicirculares (coronas) producto de la inestabilidad de los escarpes (Rangel, 2008). En gran parte de la zona sumergida, la plataforma continental presenta valores de pendiente entre 0 - 25°. En ambos lados del cañón la homogeneidad de la plataforma hasta los 100 m de profundidad da paso a un escarpe con una caída de 150 m y pendientes que van de los 4 a 15 ° (Figura 12)



alturas que van de los 0 hasta 400 m formando crestas agudas, con laderas inclinadas cuyas pendientes están entre los 20° y 40° (INGEOMINAS-ECOPETROL ICP-INVEMAR, 2008).

## 1.4 Conclusiones

A partir de las series de datos de velocidad y dirección del viento encontradas en el polígono de trabajo, se encontró que la magnitud del viento medio mensual sobre el área de la zona oscila entre 2 m/s – 12 m/s, con un promedio de  $8,88 \pm 1,50$  m/s. En la climatología mensual para el sector del polígono, se encontró que el máximo se presenta en febrero con 10,08 m/s y el mínimo en octubre con 6,66 m/s. Las direcciones más frecuentes son las procedentes del primer cuadrante con intensidad variable dependiendo de la época climática.

En cuanto al promedio de los acumulados mensuales de precipitación se encontró que la época de menor precipitación en la zona ocurre entre diciembre y marzo, con un acumulado promedio del 19.88% de la precipitación anual. En la época comprendida entre los meses de abril a noviembre acumula el 80.11% de la precipitación en el año. El mes de julio se caracteriza por presentar una baja en la precipitación debido a las altas velocidades de viento en la zona.

Por su parte, los caudales de los ríos que desembocan sobre la zona muestran un ciclo anual acorde a las precipitaciones que se presentan en el sector, con periodo de mínimos en el primer semestre y máximos en la segunda mitad del año, los ríos Buritaca y Palomino son los que mayores aportes de agua dulce realizan a la zona oceánica en donde se encuentra el bloque GUA OFF 13. El que más aporta agua dulce próxima al sector donde se encuentra el bloque es el río Buritaca en el mes de septiembre, sin embargo, ocurre otra descarga importante en noviembre, pero proveniente del río Palomino. El ciclo anual de caudales provenientes de los ríos permite observar un gradiente de descargas, con mayores valores al oeste del bloque, donde dominan los ríos Buritaca y Palomino y menores al este donde desembocan los ríos Ancho y Mingueo.

La TSM en el sector de GUA OFF 13 muestra unas diferencias temporales asociadas a las épocas climáticas del Caribe y presentan diferencias geográficas que mostraron un aumento en el sector costero en la medida que incrementan las precipitaciones y los caudales de los ríos que desembocan en la zona en el periodo septiembre-noviembre. Adicionalmente, se observa un gradiente espacial norte-sur de la TSM en la vecindad del bloque, con menores valores en la zona oceánica y mayores en la proximidad de la costa, producto de la influencia de las descargas de agua dulce que aumentan la temperatura. Por su parte, también se registra un foco de alta TSM al oriente del bloque, esto como consecuencia de la descarga de aguas en el complejo estuarino del Santuario de Fauna y FLora “Los Flamencos”.

La circulación en la zona muestra una diferencia periódica en el sector de estudio, con mayores valores en el periodo enero-marzo, caracterizado por una baja precipitación, menores caudales y máxima velocidad de vientos, por el contrario, en septiembre - noviembre se obtuvieron las

menores intensidades, periodo en el cual ocurren las mayores precipitaciones, se presentan los mayores aportes de agua a través de los ríos que desembocan en la zona y los menores vientos.

El bloque Guajira Offshore 13 abarca la plataforma continental al norte de la Sierra Nevada de Santa Marta, siendo uno de los segmentos más angostos de la misma en el Caribe colombiano. El área más somera por encima de los 15 m de profundidad se alcanza a distancias entre 300 m y 3 km, siendo más estrecha hacia el occidente y se va ampliando hacia el oriente. En la zona predominan facies arenosas y lodo arenosas asociadas a los aportes sedimentológicos de la Sierra Nevada con un incremento en la fracción biogénica a medida que se adentra hacia la región de la baja-media Guajira.

## 1.5 Recomendaciones

Como complemento a la información geológica sobre el área del bloque Guajira Offshore 13 se requirió la adquisición batimétrica detallada en algunos sectores de interés relacionados con la identificación de ecosistemas de fondo marino. La posterior interpretación morfológica y de distribución de sustratos permitirá ahondar en el conocimiento de la geología de la plataforma continental. Sobre la misma, se recomienda que sea complementada con análisis de geofísica de alta resolución y núcleos de sedimento que permitan establecer la relación de los depósitos sedimentarios formados por aportes de la SNSM con la presencia de lineamientos asociados a la Falla de Oca.

## 1.6 Bibliografía

- Amador, J. A., Magaña, V. & Medina, S. (1999). The midsummer drought over Mexico and Central America. *Journal of Climate*, 12(6), 1577-1588.
- Audemard, F.A. y C. Giraldo., (1997). Desplazamientos dextrales a lo largo de la frontera meridional de la placa Caribe, Venezuela septentrional. *Memorias del VIII Congreso Geológico Venezolano*, Sociedad Venezolana de Geología, 1: 101- 108.
- Bernal G., Osorio A., Beier E., Pelaez D., Devis A., Montoya R., Ruiz-Ochoa M. (2015). Manifestaciones oceanográficas del “veranillo de san juan” en la cuenca Colombia, mar caribe. XVI congreso latinoamericano de ciencias del mar - COLACMAR y xvi seminario nacional de ciencias y tecnologías del mar del 18 al 22 de octubre 2015, Santa Marta – Colombia.
- Copernicus Marine Environment Monitoring Service. 2018. QUALITY INFORMATION DOCUMENT: For Global Ocean Reanalysis Products GLOBAL-REANALYSIS-PHY-001-030. <https://resources.marine.copernicus.eu/documents/QUID/CMEMS-GLO-QUID-001-030.pdf>

- Carvajal-Arenas, L. C., Torrado, L., Mann, P., & English, J. (2020). Basin modeling of Late Cretaceous/Mio-Pliocene (.) petroleum system of the deep-water eastern Colombian Basin and South Caribbean Deformed Belt. *Marine and Petroleum Geology*, 121, 104511.
- Case, J.E., T.L. Holcombe, R.G. Martin. (1984). Map of the geologic provinces in the Caribbean region. In: Bonini, W.E., R. Hargroves, R. Shagam. (ed.) 1984. *The Caribbean – South American plate Boundary and regional tectonics*. Boulder, Geological Society of America, Memoir 162, 1 – 30.
- Cediel F., R. Shaw y C. Cáceres, (2003). Tectonic assembly of the northern Andean Block, 815-848. En: Bartolini C., R. Buffler y J. Blickwede (Eds.). *The circum-Gulf of Mexico and Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation and plate tectonics*, AAPG Memoir 79.
- Cerón J.F., Kellogg, J.N. y Ojeda, G.Y. 2007. Basement configuration of the northwestern South America – Caribbean margin from recent geophysical data. *CT&F- Ciencia, Tecnología y Futuro*, Vol. 3(3), 25-49.
- Chicangana, G., Kammer, A., Jiménez, C. A. V., Aristizabal, C. I. O., Páez, H. M., Ferrari, A. L., & López, S. A. (2011). El posible origen de la sismicidad somera que se presenta en la región que corresponde a la Sierra Nevada de Santa Marta, la Serranía de Perijá y la Península de La Guajira, noreste de Colombia. *Cap&Cua*, 6(1), 1-33.
- CIOH – Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas. (1990). Mapa de repartición de facies sedimentarias y perfiles batimétricos plataforma continental del sector de Punta Canoas a Dibulla, Península de la Guajira. Escala 1:30000, Cartagena.
- CORPAMAG. 2015. “Estudio base para la reglamentación de corrientes de los ríos Buritaca, Gaira, toribio, córdoba, Orihueca y Sevilla, a partir de la oferta y disponibilidad del recurso hídrico”. Informe Final del Contrato de consultoría no 215 del 2015.
- Delgado, R. (2002). Evaluación de la estabilidad de la franja costera del departamento del Magdalena, en términos de erosión y sedimentación. Tesis de grado (geólogo). Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH) – Universidad Nacional de Colombia, 187 pp.
- Garzón, Y. y A. Ughi., (2008). Modelado geodinámico por medio del análisis de flexión de placas en la región nor-occidental de Venezuela. XIV Congreso Venezolano de Geofísica, memorias en CD.
- GEOSEARCH, (2007). Geología de las planchas 11, 12. 13, 14, 18, 19, 20, 21, 25, 26, 27, 33 y 34. Proyecto: “Evolución Geohistórica de la Sierra Nevada de Santa Marta”. Informe contrato prestación de servicios No. PS 025-06.

- Giannini, A., Kushnir, & M.A. Cane. 2000. Interannual variability of Caribbean rainfall, ENSO and the Atlantic Ocean. *Journal of Climate*, 13: 297–311.
- Giunta, G. y S. Orioli., (2011). The Caribbean plate evolution: Trying to resolve a very complicated tectonic puzzle, new frontiers in tectonic research – general problems, sedimentary basins and island arcs, Prof. Evgenii Sharkov (Ed.), ISBN: 978-953-307-595-2, InTech, DOI: 10.5772/18723.
- Gutiérrez Leones, G. A., Correa Ramírez, M. A., & Hormazabal Fritz, S. E. (2015). Análisis de la variabilidad espacio-temporal del sistema de surgencia de La Guajira en el dominio espacio-frecuencia, empleando el MTM-SVD (Multi Taper Method Singular Value Decomposition). *Boletín Científico CIOH*, (33), 87-106.
- INGEOMINAS, ECOPETROL ICP, INVEMAR (2008). Evolución Geohistórica de la Sierra Nevada de Santa Marta. Geomorfología de la zona costera y piedemonte occidental. 194 p, 5 anexos.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. (2010). Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos. Disponible en <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Caracter%C3%ADsticas+de+Ciudades+Principales+y+Municipios+Tur%C3%ADsticos.pdf>
- JOUANNO, J., Sheinbaum, J., Barnier, B., Molines, J. M., Debreu, L., & Lemarié, F. 2008. The mesoscale variability in the Caribbean Sea. Part I: Simulations and characteristics with an embedded model. *Ocean Modelling*, 23(3-4), 82-101.
- Londono, J., & Schiek, C. (2015). Basement architecture of the southern Caribbean basin, Guajira offshore, Colombia.
- Magaña V., J. L. Pérez, J.L. Vázquez, E. Carrisoza Y J. Pérez, 1999. 2. El Niño y el clima. En: Los impactos de El Niño en México. En Magaña R.V.O. (Ed.). Sep-CONACYT. 229 pp.
- Martinez, W., Hermoza, W., Espino, D., Carrington, J., Perez, J., Pate, K., & Rodrigo, M. (2015). Tectono-stratigraphic Evolution of the Chichibacoa–Rancherías Basin Offshore Colombia.
- Mesa, O.; Poveda, G. Y Carvajal, L. 1997. Introducción al clima de Colombia. Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos. Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. Imprenta Universidad Nacional. Santafé de Bogotá, D.C. 390 pág.
- Meschede, M. y W. Frisch., (1998). A plate-tectonic model for the Mesozoic and Early Cenozoic history of the Caribbean plate. *Tectonophysics*, 296: 269-291.
- Molina B. 2014. "Análisis hidrológico de los principales cuerpos de agua presentes en el área del Parque Nacional Natural Tayrona (PNNT)." Universidad Militar Nueva Granada.

- Molina. (1994). Dinámica marina y sus efectos sobre la geomorfología de los Golfos de Urabá y Morrosquillo. En: IX Sem. Nal. de Ciencias y Tecnologías del Mar y Congreso Latinoamericano en Ciencias del Mar. Colciencias. Comisión Colombiana de Oceanografía (CCO). Medellín - Colombia: Sede Universidad EAFIT.
- Molnar, P. y L.R. Sykes., (1969). Tectonics of the caribbean and middle America regions from focal mechanisms and seismicity. Geol. Soc. Am. Bull, 80: 1639- 1684.
- Montoya-Sánchez, R. A., Devis-Morales, A., Bernal, G., & Poveda, G. (2018). Seasonal and intraseasonal variability of active and quiescent upwelling events in the Guajira system, southern Caribbean Sea. Continental Shelf Research, 171, 97-112.
- Pindel, J., L. Kennan., W. Maresch., K. Stanck., G. Draper., R. Higgs., (2005). Plate kinematics and crustal dynamics of circum Caribbean arc continent Interactions: Tectonic controls on basin development in proto Caribbean margins. Geological Society of America, Spatial Paper, 394: 7-52.
- Rangel, N. (2008). Evolución histórica y geomorfología de la línea de costa adyacente a la Sierra Nevada de Santa Marta entre el Cabo San Juan de Guía y el río Cañas. Tesis de Maestría, Universidad EAFIT, Medellín, 110 pp.
- Restrepo-Correa, I., Ojeda, G. (2010). Geologic controls on the morphology of La Aguja submarine canyon. Journal of South American Earth Sciences. Volume 29. Issue 4. 2010. Pages 861-870. ISSN 0895-9811. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2010.07.001>.
- Ricaurte-Villota, C. y M.L. Bastidas Salamanca (Eds.). 2017. Regionalización oceanográfica: una visión dinámica del Caribe. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives De Andrés (INVEMAR). Serie de Publicaciones Especiales de INVEMAR # 14. Santa Marta, Colombia 180 p.
- Romero, J. (2006). Estudio sedimentológico de la plataforma continental de la Guajira entre los 10 y los 50 m de profundidad. Trabajo de grado para optar el título de Geólogo. Universidad Nacional. Bogotá 94 p.
- Speed, R., R. Russo., J. Webber. y K.C. Rowley., (1991). Evolution of southern Caribbean plate boundary, vicinity of Trinidad and Tobago: Discussion. American Association of Petroleum Geologist Bulletin. 75 (11): 1789-1794.
- Tabares, N., Soltau, J., Diaz, J. (1996). Caracterización geomorfológica del sector suroccidental del mar Caribe. Servicio Hidrográfico. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas. Boletín científico CIOH (17), 03-16. Cartagena de Indias D.T. y C., Colombia. 15p.

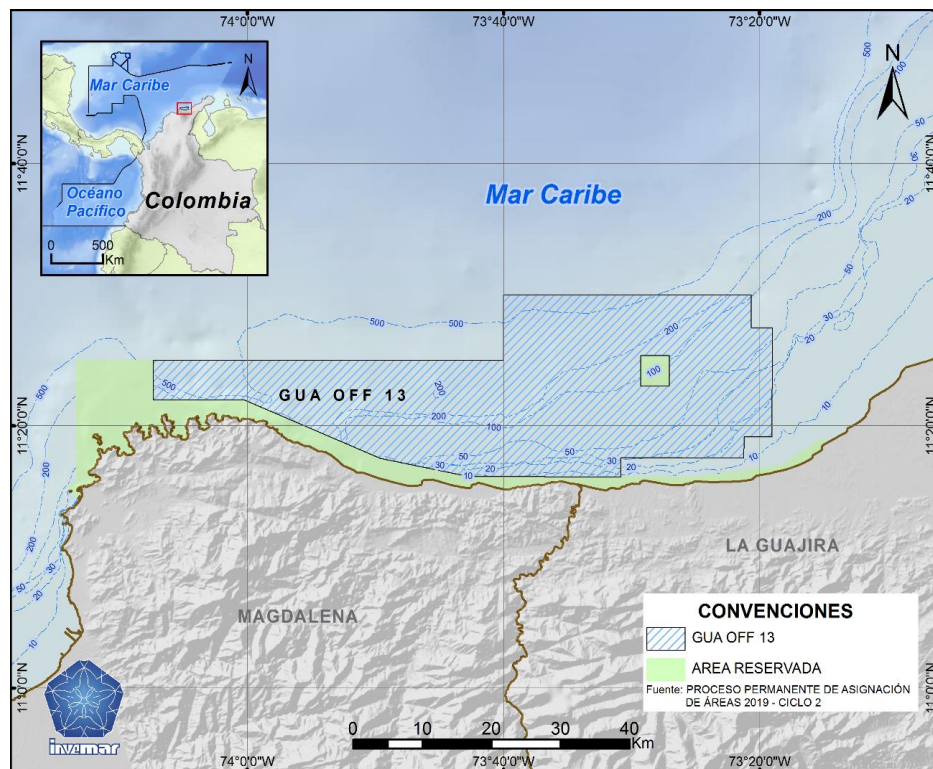
- Taboada, A., Rivera, L. A., Fuenzalida, A., Cisternas, A., Philip, H., Bijwaard, H., Olaya, J., y Rivera, C. 2000. Geodynamics of the Northern Andes: Subductions and Intra Continental Deformation (Colombia). Publicación Especial de la Asociación de Ingeniería Sísmica (AIS), 28 pp.
- Tschanz, C., Marvin, R., Cruz, J., Mehnert, H., Cebula, G., (1974). Geologic evolution of the Sierra Nevada de Santa Marta, Northeastern Colombia. Geological Society of America Bulletin. 85 (2), 273-284. doi: 10.1130/0016-7606.
- Viloria-de-la-Hoz, J. (2005). Sierra Nevada de Santa Marta: Economía de sus recursos naturales. Documentos de Trabajo Sobre Economía Regional y Urbana; No. 61.
- WANG, C. (2007). Variability of the Caribbean low-level jet and its relations to climate. Climate dynamics, 29(4), 411-422.

## 2 Levantamiento de información tendiente a evaluar la calidad de agua y sedimentos, colecta de muestras biológicas y observación de fauna marina.

*Cristina Cedeño, Karen Ayala, Fernando Dorado, Manuel Garrido, David Morales y Martha Vides*

### 2.1 Área de estudio

El estudio comprendió la exploración de la columna de agua y el fondo del área del Bloque de exploración GUA OFF 13 ubicado en el Caribe norte colombiano (Figura 12). El bloque GUA OFF 13 se encuentra en evaluación técnica con la ANH y a la fecha no ha sido otorgado; posee un área aproximada de 143.000 ha. Su punto más cercano a costa se encuentra aproximadamente a 15 mn, sin embargo, el puerto más cercano se encuentra en Riohacha, Guajira.



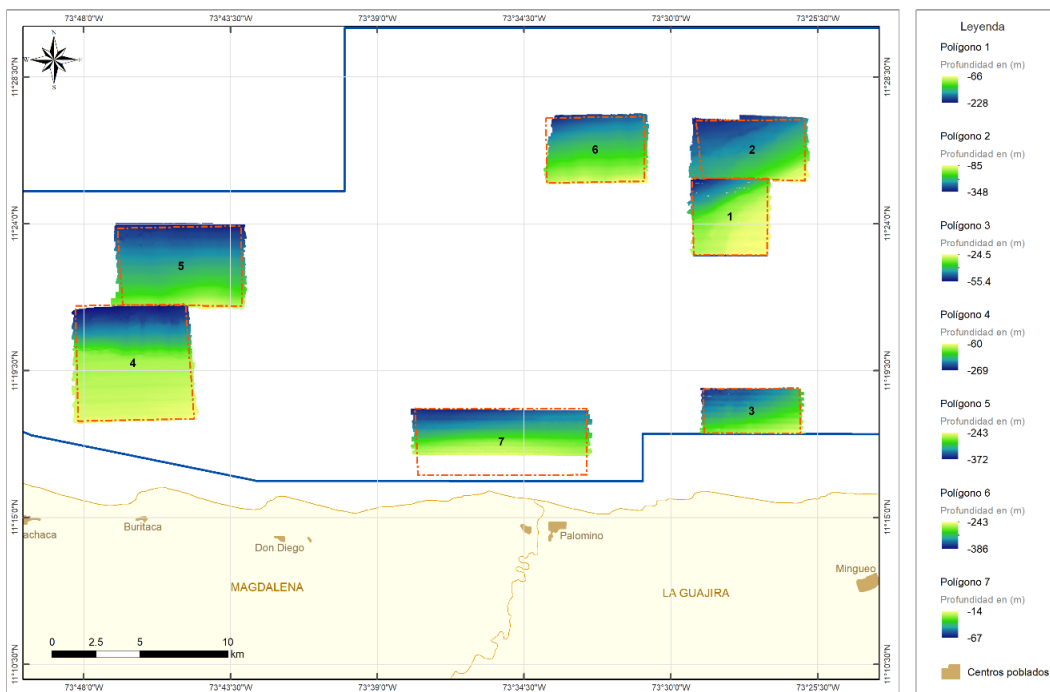
*Figura 12. Área de exploración definida para levantamiento de información (Bloque GUA OFF 13). Fase I – 2020 Área (ha): 140539. Profundidad máxima 900 metros.*

### 2.2 Levantamiento de batimetría Multihaz

Previo a cualquier muestreo en que se utilicen vehículos sumergibles, es necesario tener un muy buen conocimiento del área a explorar, no sólo para optimizar el tiempo de las observaciones,

sino para evitar inconvenientes con la maniobra o con el equipo mismo. De esta necesidad, se llevó a cabo una solicitud de prestación de servicios batimétricos a diferentes empresas disponibles en el país que se ajustaran a nuestras necesidades técnicas y de recursos, al igual que con suficiente experiencia para llevar a cabo dicho levantamiento.

Mediante la convocatoria pública desarrollada durante el mes de septiembre, participaron cinco empresas y se seleccionó a la Empresa BERT INSTRUMENTS COLOMBIA SAS para hacer el levantamiento de información. La propuesta técnico económica presentada incluyó el levantamiento batimétrico multihaz complementado con backscatter normalizado, con posicionamiento por medio de GPS en siete (7) polígonos de interés en el bloque de exploración GUA OFF 13.



*Figura 13. Resultado preliminar del levantamiento batimétrico sobre los siete polígonos*

La campaña batimétrica se llevó a cabo entre el 13 y 17 de noviembre a bordo del R/M Maria José II, utilizando un sistema Multihaz modelo 2024 fabricado por R2Sonic. De cada uno de los polígonos se levanta información de batimetría, isobatas, 2D y 3D. Como resultado preliminar en la Figura 13 se muestra el levantamiento batimétrico obtenido en los siete polígonos. Como valor agregado, en el polígono 4 se realizó el levantamiento con un sofisticado equipo de sonar de barrido lateral modelo 4200 fabricado por EdgeTech, adquiriendo simultáneamente datos a frecuencias de 300 y 900 kilohertz utilizando tecnología CHIRP para obtener imágenes del lecho marino y la generación de un mosaico de imágenes acústicas del polígono.

### *2.2.1 Procedimiento del levantamiento*

- Charla de seguridad HSQ
- Montaje del transductor del sistema R2Sonic en el tubo a estribor.
- Ensamble del sistema R2Sonic en el laboratorio.
- Montaje del MRU (Motion Reference Unit) en el tubo de estribor.
- Montaje del transducer de la ecosonda en el tubo de babor
- Montaje del sistema USBL en el laboratorio
- Montaje de las antenas del sistema de posicionamiento inercial.
- Montaje del sistema de posicionamiento inercial en el laboratorio
- Montaje de monitor satélite en el puente para el piloto
- Montaje de la pasteca y su contómetro digital en el marco A
- Montaje del winch con slip ring en cubierta.
- Montaje del control remoto del winch en el laboratorio.
- Montaje del medidor de velocidad del sonido a estribor con 500 metros de línea.
- Prueba en puerto del sistema multihaz.
- Montaje del transceiver del USBL en el tubo de babor.
- Prueba en puerto del Sonar de Barrido Lateral.
- Prueba de equipos periféricos en puerto.
- Prueba de radios para comunicación con el puente y el personal.
- Zarpe hacia Palomino.
- Calibración del sistema de posicionamiento inercial POS-MV.
- Prueba GAMS.
- Patch test del sistema multihaz.
- Medición de la velocidad de sonido en la columna de agua.
- Levantamiento batimétrico y de backscatter de los 7 polígonos.
- Verificación de datos obtenidos.
- Post procesamiento inicial de los datos de los 7 polígonos.
- Levantamiento del polígono No. 4 utilizando el Sonar de Barrido Lateral.
- Regreso a Cartagena.
- Desmovilización de equipos y personal.

### *2.2.2 Personal*

#### **Personal Bert Instruments:**

- Director del proyecto Dr. Humberto Guarín, Ingeniero Electrónico
- Jefe del crucero Francisco Pacheco, Ingeniero Electrónico, MS
- Operador equipos, Vladimir Arias, Ingeniero en Informática
- Operador Equipos Ronald Heredia, Ingeniero Mecánico y de Petróleos
- Operador Equipos, Jorge Díaz, Ingeniero Mecánico
- Operador equipos, Rubén Ramos, Ingeniero en Computación

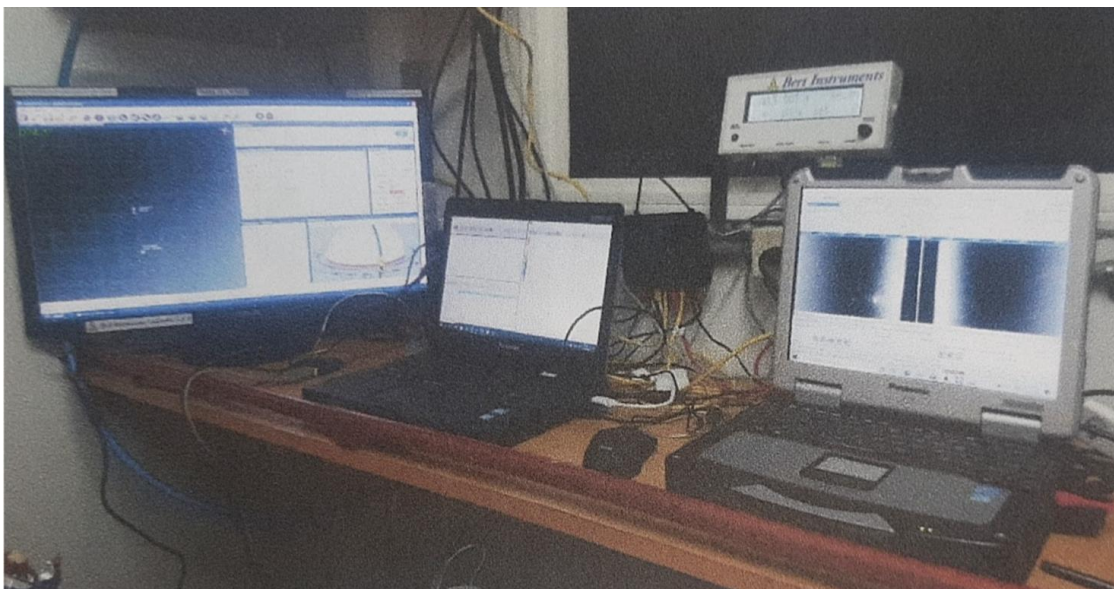
- Soporte técnico, Elkin Ruiz, Ingeniero Mecatrónico
- Manejo de Cubierta, Luis Estupiñan Capitán Contramaestre
- Supervisora de campo, María Mercedes Barrios, Admin. de Empresas
- Coordinadora HSE, Lilibeth Sayas

**Personal Invermar:**

- David Morales, Geólogo Marino
- Fernando Dorado, Biólogo Marino

*2.2.3 Equipos utilizados:*

- 1- Sistema Multihaz modelo 2424 fabricado por R2Sonic con capacidad de backscatter
- 2- Sistema de posicionamiento inercial Pos-MV de Applanix.
- 3- Medidor profesional de velocidad de sonido en el agua Minos X
- 4- Sonar de Barrido Lateral EdgeTech 4200 CHIRP, con 300 y 900 kHz simultáneos
- 5- Pasteca con contómetro digital
- 6- USBL Applied Acoustics con pinger
- 7- Computadoras de adquisición y procesamiento de datos
- 8- Software HyPack Max y Hysweep para trazado de líneas electrónicas y adquisición de BertSwath
- 9- Software EdgeTech Discover de adquisición de datos



*Figura 14. Equipos Multihaz en el centro de control*

Todos los equipos fueron debidamente calibrados y con sus actualizaciones de software y firmware. Para garantizar la exactitud de las medidas batimétricas, los sistemas se calibraron en el sitio de trabajo; siguiendo los procedimientos de calibración establecidos por los fabricantes

y dando cumplimiento a los requerimientos de la OHI (Organización Hidrográfica Internacional), de acuerdo la publicación especial No. S-44 para levantamientos batimétricos en puertos. Con base en lo anterior se llevó a cabo un levantamiento de “orden especial” el cual es el más riguroso de las ordenes y su uso se destina solamente para aquellas áreas, dónde es crítica la separación entre la quilla de la embarcación y el fondo marino.

El sistema Multihaz (Figura 14) debido a su amplio cubrimiento en gran detalle, permite hacer una búsqueda completa del fondo marino, entendiéndose como búsqueda del fondo marino, un método sistemático de explorar el fondo marino, para detectar rasgos tales como naufragios, rocas, corales y otras obstrucciones.

*Tabla 3. Coordenadas establecidas para los siete polígonos de levantamiento batimétrico. Vértices en coordenadas Geográficas UTM, Elipsoide WGS84, zona 18N.*

Coordenadas		
N° Polígono	Latitud	Longitud
1	11 21 31.1 N	073 46 48.4101 W
	11 21 28.6699 N	073 43 8.28 W
	11 23 56.0899 N	073 43 10.43 W
	11 23 51.7599 N	073 46 58.45 W
2	11 17 57.3201 N	073 48 10.0499 W
	11 18 1.5498 N	073 44 36.8499 W
	11 21 32.1801 N	073 44 52.9802 W
	11 21 29.1099 N	073 48 15.42 W
3	11 25 14.99 N	073 33 47.5998 W
	11 25 18.1499 N	073 30 48.4001 W
	11 27 17.1499 N	073 30 49.2201 W
	11 27 14.3501 N	073 33 49.6301 W
4	11 25 24.84 N	073 29 20.7999 W
	11 25 19.1301 N	073 25 53.2601 W
	11 27 11.2599 N	073 25 52.7501 W
	11 27 9.44 N	073 29 13.4101 W
5	11 23 2.5401 N	073 29 17.5699 W
	11 23 1.9599 N	073 27 2.6201 W
	11 25 23.1802 N	073 27 1.14 W
	11 25 24.84 N	073 29 20.7999 W
6	11 17 35.43 N	073 28 58.5101 W
	11 17 33.9501 N	073 26 1.0701 W
	11 18 57.8799 N	073 26 2.9102 W
	11 18 56.06 N	073 28 59.9001 W
7	11 18 20.5N	073 37 50.6 W
	11 16 17.8 N	073 37 45.0 W
	11 16 18.5 N	073 32 34.7 W
	11 18 19.9 N	073 32 34.1 W

Una vez calibrados los equipos, se procedió a efectuar el levantamiento batimétrico con backscatter y columna de agua en cada uno de los polígonos del área. La Tabla 3, lista los límites de cada uno de los polígonos.

Los insumos de la campaña batimétrica se listan a continuación.

1. Archivo fotográfico (evidencia trabajo a bordo)
2. Planos con localizaciones de zonas de muestreo
3. Calibraciones varias (métodos y resultados)
4. Resultados de la prueba de calibración (test de parcheo para el multihaz, prueba GAMS para el sistema de posicionamiento inercial)
5. Medición de offsets de los instrumentos de navegación (DGPS, MRU) instalados para el levantamiento, así como el calado de la ecosonda
6. Datos de Navegación QC, posición, HDOP, heading, yaw, pitch, roll, heave
7. Datos crudos en formato propio del equipo (ecosonda) utilizado
8. Archivos en formato original del equipo por polígono de cubrimiento
9. Datos procesados
10. Tabla de predicción de mareas
11. Archivos de velocidad del sonido
12. Perfiles de velocidad del sonido con sus respectivas gráficas ilustrativas con los valores resultantes para ajuste de calibración por velocidad del sonido
13. Datos XYZ corregidos con marea y velocidad del sonido
14. Imágenes batimétricas 3-D de alta resolución del lecho marino con isobatas
15. Imágenes con profundidades numéricas con isobatas
16. Planos finales (CAD) por polígono de interés
17. Archivos brutos generados en cada medición
18. Archivos editados derivados del procesamiento para la generación de los productos finales
19. Líneas individuales de Sonar de Barrido Lateral en alta frecuencia
20. Líneas individuales de Sonar de Barrido Lateral en baja frecuencia
21. Mosaico Sonar de Barrido Lateral
22. Datos de Backscatter y columna de agua en formato crudo
23. Archivos en formato HSX por líneas de adquisición de cada polígono. En cuanto a los datos de columna de agua, se revisó que el volumen de grabación superaba la capacidad de los medios con que se contaba a bordo, definiéndose solo un segmento de adquisición en inmediaciones del polígono 4.
24. Reporte técnico con datos en medio digital e impreso donde se plasma los resultados obtenidos de las mediciones batimétricas y Sonar de Barrido Lateral
25. Memoria USB con el archivo magnético en formato DWG, en AutoCAD de los planos e imágenes anteriormente relacionados datos crudos y datos procesados

A manera de ilustración se muestra en la batimetría, las isóbatas y las representaciones 2 d y 3 d del polígono 1 (Figura 15). Esta información será el insumo fundamental para llevar a cabo las estimaciones de la sensibilidad del área GUAOFF 13 en una fase de análisis integral posterior a este Convenio.

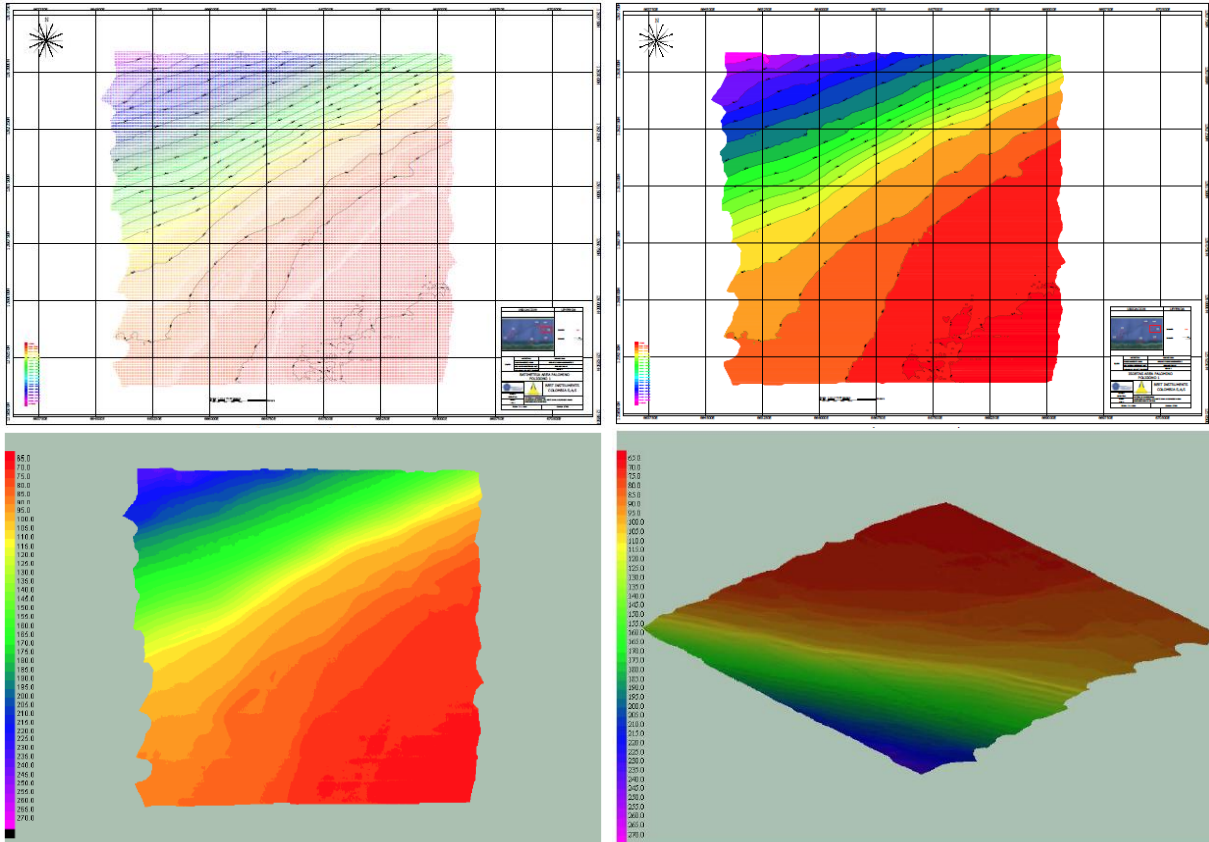


Figura 15. Productos preliminares del análisis batimétrico sobre el polígono 1.

### 2.3 Campaña de exploración oceanográfica - biológica

La campaña de exploración oceanográfica - biológica se llevó a cabo entre el 28 de noviembre y 12 de diciembre a bordo del R/M Maria José II, colectando información oceanográfica, sedimentológica, de calidad de aguas, al igual que muestras biológicas en 10 estaciones ubicadas en el área de estudio (Figura 16 y Tabla 4), junto con imágenes de video-transectos utilizando la Cámara de Deriva Multipropósito (CADEM) propiedad del INVEMAR y colecta de muestras comprobatorias con Box-corer en siete (7) polígonos.

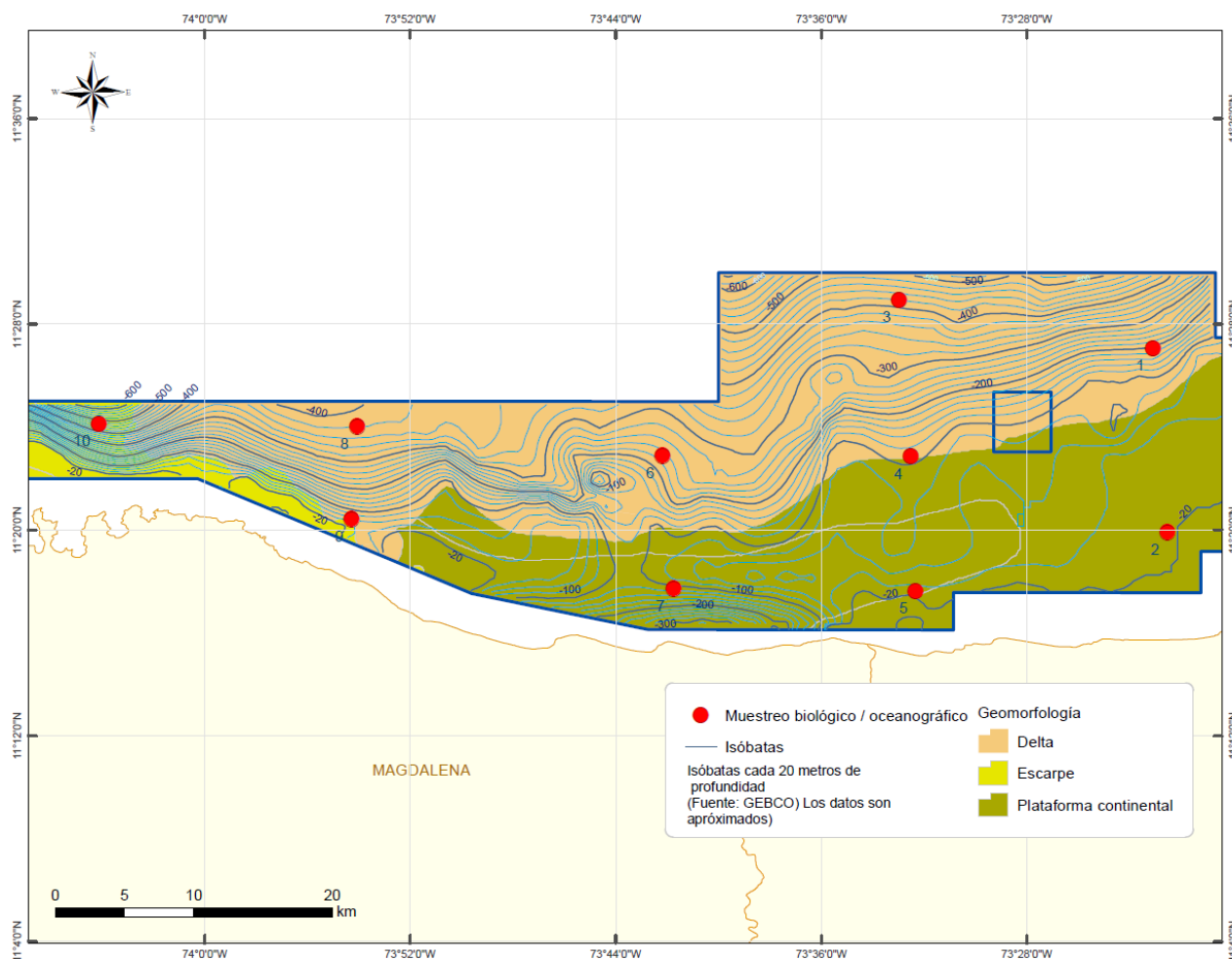


Figura 16. Localización de las estaciones de muestreo del crucero.

Tabla 4. Coordenadas establecidas para los puntos de muestreo oceanográfico y biológico del bloque GUA OFF 13. Oceanográficas (Oc). Plancton (Pl). Box corer (Bx).

Estación	Est_ITE	Muestreo	Latitud (N)	Longitud (O)	Profundidad (m)
1	650	Oc - Pla - Bx	11.451126	-73.38488	150
2	651	Oc - Pla - Bx	11.331789	-73.375531	28
3	652	Oc - Pla - Bx	11.482395	-73.549442	490
4	653	Oc - Pla - Bx	11.380977	-73.541918	126
5	654	Oc - Pla - Bx	11.293666	-73.538771	42
6	655	Oc - Pla - Bx	11.383078	-73.659797	322
7	656	Oc - Pla - Bx	11.295695	-73.657476	58
8	657	Oc - Pla - Bx	11.400533	-73.901025	396
9	658	Oc - Pla - Bx	11.340307	-73.904651	490
10	659	Oc - Pla - Bx	11.402205	-74.068529	922

## 2.4 Levantamiento y colecta de información del componente geosférico y oceanográfico

Con el fin de coleccionar la información del componente geosférico y oceanográfico en el bloque de exploración GUA OFF 13, se coleccionaron muestras de agua marina y sedimentos en las 10 estaciones seleccionadas. Para el componente geosférico se coleccionaron muestras de sedimento con Box-corer, tomando solo una submuestra de 30 a 60 cm, con tubos PVC (60 cms) o una bolsa de 500 g de submuestra, la cual fue congelada a 4°C, para analizar posteriormente: granulometría, calcimetría, mineralogía óptica y materia orgánica (Tabla 5).

*Tabla 5. Número total de muestras coleccionadas para los análisis de las facies sedimentarias e hidrodinámica del bloque GUA OFF 13.*

Componente	Equipo	Muestra	Número total de muestras	Análisis a realizar
Facies Sedimentarias	Box Corer /Draga	Sedimento	10	Granulometría
				Calcimetría
				Mineralogía óptica
				Materia Orgánica
Hidrodinámica y Oceanografía	ADCP	Datos	10	Corrientes superficiales
	CTD	Datos	10	Salinidad
				Temperatura
				Profundidad
				Oxígeno

Para el componente oceanográfico e hidrográfico (Tabla 5), en cada una de las estaciones se tuvo en cuenta la profundidad máxima para programar la CTDO para la toma de datos lineales por presión (1 dbar = 1m), la sonda se programó para tomar datos de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto mientras desciende, cada 0,5 dbar. Asimismo, se programó para disparar las botellas Niskin a diferentes profundidades. Una vez en cubierta, se aseguró la CTDO, se descargaron los datos en un disco duro y se verificó la información para asegurar la obtención correcta de todos los datos.

Para los datos de corriente superficial, en cada una de las estaciones se usó un ADCP (Tabla 5), el cual se descendió sobre la superficie del agua por estribor, manteniéndose un tiempo máximo de 30 minutos con el fin de registrar los datos de corrientes que se descargaron en un disco duro.

## 2.5 Levantamiento de información tendiente a evaluar la calidad de agua y sedimentos

Con el fin de evaluar la calidad de agua y sedimentos en el bloque de exploración GUA OFF 13, se coleccionaron muestras de agua marina y sedimentos en las 10 estaciones seleccionadas. Para

la calidad del agua se colectaron con botellas Niskin con capacidad 10 L, un total de 153 muestras, a siete profundidades distintas (1, 10, 30, 50, 80, 250, 500 m), con las cuales se llevarán a cabo los análisis de fisicoquímicos, contaminantes orgánicos, metales pesados, carbono orgánico total, química y carbonatos, fenoles y clorofila a y b (Tabla 6).

*Tabla 6. Número total de muestras colectadas para los análisis de la calidad de agua y sedimentos del bloque GUA OFF 13*

Componente	Equipo	Muestra	Número total de muestras obtenidas	Análisis a realizar
Fisicoquímicos	Roseta	Agua Marina	51	Amonio
				Nitratos + Nitritos
				Silicatos
				Fosfatos
				Sólidos suspendidos totales
				Sólidos sedimentables
Contaminantes orgánicos	Roseta	Agua Marina	51	Hidrocarburos alifáticos y HAP + HPDD
Metales Pesados	Roseta	Agua Marina	51	Metales disueltos (Cadmio, Plomo, Cobre, Zinc, Niquel, Hierro, Vanadio, Bario, Mercurio) Cromo hexavalente
Carbono orgánico Total	Roseta	Agua Marina	51	Carbono orgánico Total
Química y carbonatos	Roseta	Agua Marina	51	Química y carbonatos
Clorofila a y b	Roseta	Agua marina	51	Clorofila a y b
Fenoles	Roseta	Agua Marina	51	Fenoles
Hidrocarburos	Box Corer /Draga	Sedimento	11	Hidrocarburos aromáticos poli cíclicos
				Hidrocarburos alifáticos
				Granulometría
				Carbono orgánico total
				Metales pesados

Para la calidad de sedimentos se colectaron 11 muestras con Box-corer/Draga con las cuales se llevarán a cabo los análisis de hidrocarburos aromáticos policíclicos, hidrocarburos alifáticos, granulometría, carbono orgánico total y metales pesados (Tabla 6).

- o **Fisicoquímicos:** 1 L de agua marina, a partir de la muestra de solidos suspendidos totales, congelada (máx. 26 días).
- o **Contaminantes orgánicos** (Hidrocarburos alifáticos y HAP + HPDD): 2L de agua marina congelada.

- **Metales Pesados:** 1 L de agua marina refrigerada y 100 g de muestra de sedimentos congelada y protegida de la luz.
- **Carbono orgánico total:** 250 ml de agua marina congelada.
- **Química y carbonatos:** 1L de agua marina refrigerada.
- **Fenoles:** 1L de agua marina congelada (máx. 12 días).
- **Clorofila *ay b*:** 5L de agua marina depositada en galones plásticos, oscurecidos para evitar la penetración de la luz, son filtrados a través de una membrana de 0.45 mm, la cual después de la filtración es guardada en un sobre de aluminio y congelado en nitrógeno para su posterior análisis en laboratorio según los procedimientos de obtención, extracción y demás, detallados en el Protocolo del laboratorio de Calidad de aguas "Clorofila a en aguas (espectrofotometría)" (PR-LABCAM-4).
- **Hidrocarburos aromáticos policíclicos e hidrocarburos alifáticos:** muestra de 125 g de sedimento envuelta en aluminio y congelada.
- **Granulometría:** 400 g de sedimento congelado.
- **Carbono orgánico total:** 100 g de muestra de sedimentos congelada y protegida de la luz.

## 2.6 Colecta de muestras biológicas de las comunidades planctónicas (fito, zoo e ictio), bentónicas y de fauna marina.

### 2.6.1 Comunidades planctónicas

El lanzamiento de las redes de plancton se realizó teniendo en cuenta la inclinación de la guaya. El tipo de arrastre, profundidades y número de muestras colectadas se muestran en la Tabla 7.

#### 2.6.1.1 Fitoplancton

Para realizar la descripción cualitativa de los organismos presentes en toda la capa fótica de la columna de agua, se realizaron muestreos verticales entre 0 – 30 m de profundidad, con una red cónica de 2,2 m de longitud, 0,58 m de diámetro de boca y 20  $\mu$ m de poro de malla. Las muestras se fijaron con formalina neutralizada con bórax (tetraborato de sodio) quedando la solución final al 4% de concentración, siguiendo las recomendaciones de Boltovskoy (1981).

Adicionalmente, se tomaron 800 ml de agua con botellas Niskin a tres (3) profundidades (30, 80 y 250 m) para poder determinar las abundancias de las especies fitoplanctónicas. Estas profundidades se preestablecieron para conocer los diferentes ensamblajes que se conforman. Las muestras se preservaron en una solución de Lugol (1:100) manteniéndose en oscuridad.

En cuanto al almacenamiento, las muestras fijadas en formalina neutralizada (redes) se conservarán en el MHNMC bajo los protocolos del mismo, mientras las muestras fijadas con lugol debido a su rápido deterioro en almacenamiento serán desechadas siguiendo los protocolos del MHNMC-INVEMAR.

*Tabla 7. Número total de muestras colectadas para los análisis cualitativos y cuantitativos de la comunidad planctónica del bloque GUA OFF 13*

Componente	Equipo	Muestra	Profundidades de muestreo	Número total de muestras obtenidas
Plancton	Redes Arrastre vertical	Fitoplancton	1 estrato (0-30m)	10
	Redes Arrastre vertical	Zooplancton	3 estratos (0-60m) (70-140m) (170-340m)	19
	Redes Arrastre vertical	Ictioplancton	3estratos (0-60m) (70-140m) (170-340m)	19
Plancton	Redes Arrastre horizontal	Zooplancton	1 estrato (0-200)	10
	Redes Arrastre horizontal	Ictioplancton	1 estrato (0-200)	10
Plancton	Roseta	Fitoplancton	3 estratos (30m, 80m y 250m)	22

### 2.6.1.2 Zooplancton e ictioplancton

Para evaluar la comunidad zooplanctónica e ictioplanctónica se realizaron arrastres verticales en diferentes estratos de profundidad que incluyen: 0-60, 70-140, 160-340 (dependiendo de la profundidad de la estación) usando una red cónica simple de 200 y 500  $\mu$ m. La red lleva un lastre para que pudiera llegar a la profundidad deseada y en la boca de la red se colocó un flujómetro que permitió determinar el volumen de agua filtrada y un sensor de presión para verificar la profundidad de arrastre. Antes de bajar la red, se anotaron los datos de campo (lectura inicial y final del flujómetro, tiempo de ascenso y descenso).

Estos arrastres se hicieron con un sistema de apertura-cierre, que permitió muestrear las diferentes masas de agua. Las muestras se preservaron y se conservaron según lo recomendado por Boltovskoy (1981), con formalina neutralizada con bórax (tetraborato de sodio) en un frasco plástico de 500 ml previamente rotulado, quedando la solución final al 4 o 5% de concentración. Para obtener la biomasa del zooplancton y el ictioplancton, se realizó un arrastre vertical 0-200 m siguiendo el protocolo antes descrito (Tabla 7).

## 2.6.2 Comunidades bentónicas

### 2.6.2.1 Muestras para análisis de macro y meio-fauna bentónica

Una vez considerada óptima la calidad de la muestra extraída con el box core, se realizó el submuestreo de la macrofauna y meiofauna (Tabla 8).

*Tabla 8. Número total de muestras colectadas para los análisis de macro y meio-fauna bentónica del bloque GUA OFF 13*

Componente	Equipo	Muestra	Profundidades de muestreo	Número total de muestras obtenidas
Infauna	Box Corer /Draga	Macrofauna	Fondo marino	10
Infauna	Box Corer/Draga	Meiofauna	Muestra y 2 réplicas. Fondo marino	30

Para la primera, se empleó un cuadrado de acero inoxidable que cubre 0.1 m<sup>2</sup>, que es el área mínima representativa para el estudio de comunidades macrobentónicas, y para la segunda, tres subcorer de 2 cm de diámetro y 10 cm de alto. La extracción de la muestra de macrofauna se realizó ubicando el cuadrado metálico en un área libre del box corer y empujándolo hasta el fondo al límite que quede cubierto, se extrajo el sedimento con mucho cuidado con el fin de no maltratar la fauna que se encuentra en él. Luego se tamizó a 500 micras mediante el uso de tamices contruidos en tanques de plástico. La técnica para este tamizaje se basa en agregar agua suavemente e ir moviendo el sedimento para deshacerlo y permitir la eliminación de las fracciones más finas del sedimento y que quede retenida la macrofauna sobre el tamiz. Una vez se tamizó la muestra se guardó en una bolsa plástica y se agregaron aproximadamente 500 ml de MgCl<sub>2</sub> como agente narcotizante (70 g\*L<sup>-1</sup>), dejándolo actuar durante 10 minutos; luego se adicionó formol diluido al 10%, preparado con agua de mar filtrada y neutralizado con bórax, a esta solución se le diluyó previamente rosa de bengala en una proporción de 0.1 g por L-1 para la tinción de los organismos.

Para el submuestreo de meiofauna se insertaron tres (3) tubos previamente marcados (10 cm), luego manualmente con ayuda de una lámina se tapó el extremo inferior para retener el sedimento. La muestra se depositó en un envase plástico de 80 ml y a cada frasco se agregaron 40 ml de MgCl<sub>2</sub> como agente narcotizante (70 g\*L<sup>-1</sup>), dejándolo actuar durante 10 minutos, y luego siguiendo el mismo protocolo de fijación que para la macrofauna. Cada bolsa y frasco se rótulo con la estación y la submuestra correspondiente.

### *2.6.3 Fauna marina*

La observadora de fauna marina a bordo de la embarcación María José II, realizó búsquedas visuales durante las horas luz, con el fin de reportar cualquier encuentro con mamíferos marinos, aves y reptiles. Cumplió turnos de dos horas continuas con intervalos de descanso de una o dos horas, para realizar un esfuerzo diario de 8 horas de observación y evitar el agotamiento visual, ubicada en la cubierta del puente de mando de la embarcación realizando desplazamientos a babor y estribor para tener mayor ángulo de observación (Figura 2).



*Figura 17. Izquierda: observadora de fauna marina en la proa de la embarcación; derecha: embarcación "María José II".*

Para la toma de datos en campo se utilizaron tres (3) formatos diferentes:

- Formato de esfuerzo: En el cual se registró en las horas de observación la posición, la velocidad de la embarcación, la dirección del viento, la escala Beaufort (Tabla 1), la visibilidad y el brillo solar (Tabla 2).
- Formato de avistamiento: Se utilizó para registrar los avistamientos de mamíferos marinos, tortugas y grandes peces en la zona, tomando información relevante como la fecha y hora del registro, nombre del observador, coordenadas y profundidad del avistamiento, especie o descripción de los individuos, distancia a la embarcación, cantidad de individuos observados, comportamiento, dirección de viaje de los animales y rumbo de la embarcación.
- Formato de avistamiento de aves: Se registran solamente las aves observadas, tomando fecha del avistamiento, hora, observador, coordenada, especie o familia, número de individuos, comportamiento, dirección de especie o familia, número de individuos, comportamiento, dirección de vuelo y observaciones.

Los datos tomados en campo, se consolidaron en planillas Excel, separados en esfuerzo, avistamiento de mamíferos, tortugas, aves y peces; se analizaron a través de estadística descriptiva para determinar si se agrupaban o presentaban alguna tendencia, se ilustraron mediante gráficas de tortas y barras.

Además, se realizó una descripción de los comportamientos observados, comparándolos con información secundaria para establecer si estos corresponden a las especies descritas o se observó algo atípico o inusual.

Adicionalmente, la observadora registró las embarcaciones pesqueras avistadas alrededor de la embarcación "María José II", siguiendo la misma metodología que para el avistamiento de fauna marina, consignando en el formato respectivo, la fecha y hora, tipo de embarcación, y de ser

posible: arte de pesca, número de tripulantes y especies capturada, a través de registro fotográfico o comunicación por radio.

Durante el crucero de investigación adelantado por el INVEMAR del 28 de noviembre al 11 de diciembre de 2020 a bordo de la embarcación “María José II”, se realizaron un total de 104 horas de muestreo, se registraron un total de 14 avistamientos de mamíferos marinos, 67 avistamientos de aves, tres (3) avistamientos de peces y ningún registro de tortugas marinas en la zona. Adicionalmente, se registraron 7 embarcaciones de pesca artesanal (Tabla 9).

*Tabla 9. Número total de avistamientos realizados por el observador de fauna marina en el bloque GUA OFF 13*

Componente	Número total de Avistamientos
Mamíferos Marinos	14
Tortugas	0
Aves Marinas	65
Peces	3
Embarcaciones pesqueras	7

## 2.7 Videotransectos *in situ* realizados con vehículos sumergibles

Durante la adquisición de la batimetría se realizaron modelos digitales de profundidad preliminares que permitieron la identificación de rasgos morfológicos del fondo sobresalientes, tal como escarpes, canales, depresiones y acumulaciones rocosas. Estas mismas fueron corroboradas en mosaicos de retro dispersión (backscatter) en cada uno de los siete polígonos de interés adquiridos, verificando que se encontraran asociados a sitios cuya forma o composición estuvieran asociados a cambios en el tipo de fondo. Cada una de estas posiciones fue identificada con un punto en un sistema de información geográfica como insumo para la ruta de adquisición de videotransectos usando vehículos sumergibles.

Inicialmente, se identificaron anomalías del fondo durante la adquisición tanto en los datos de profundidad como en el backscatter, guardando la posición en blancos (targets) dentro del software HYPACK. La selección de las anomalías para verificación con vehículos sumergibles se puede apreciar en la Figura 18 y Figura 19.

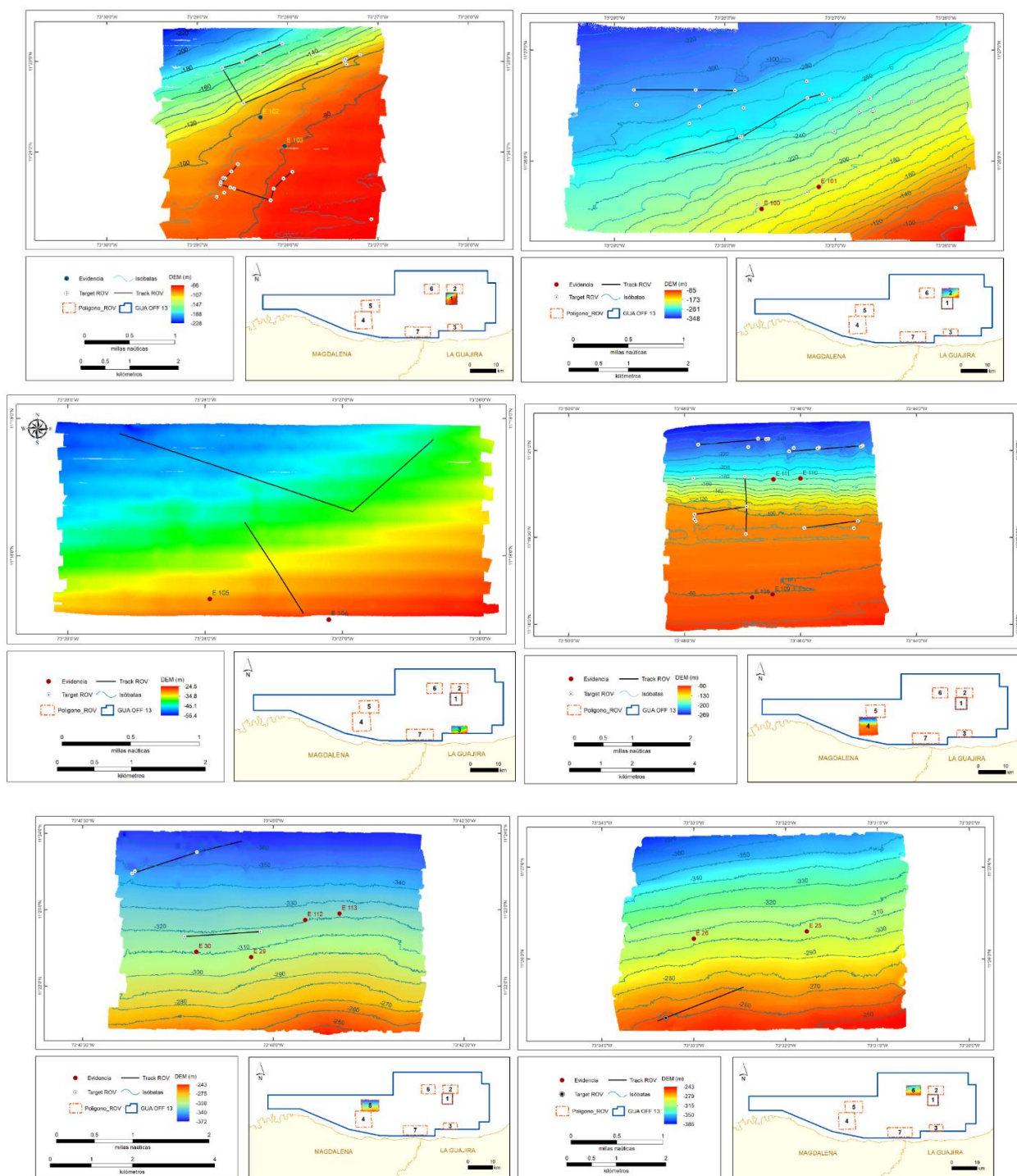


Figura 18. Anomalías detectadas en los polígonos 1 a 6 del Bloque de exploración GUA OFF 13.

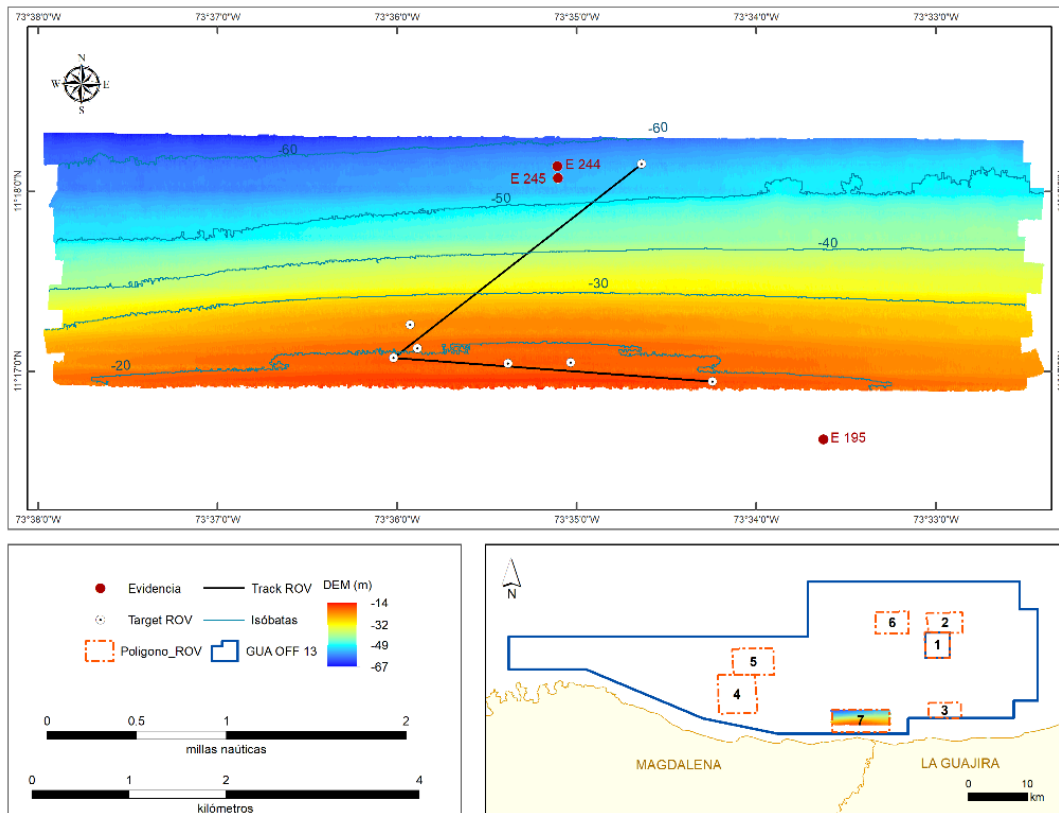
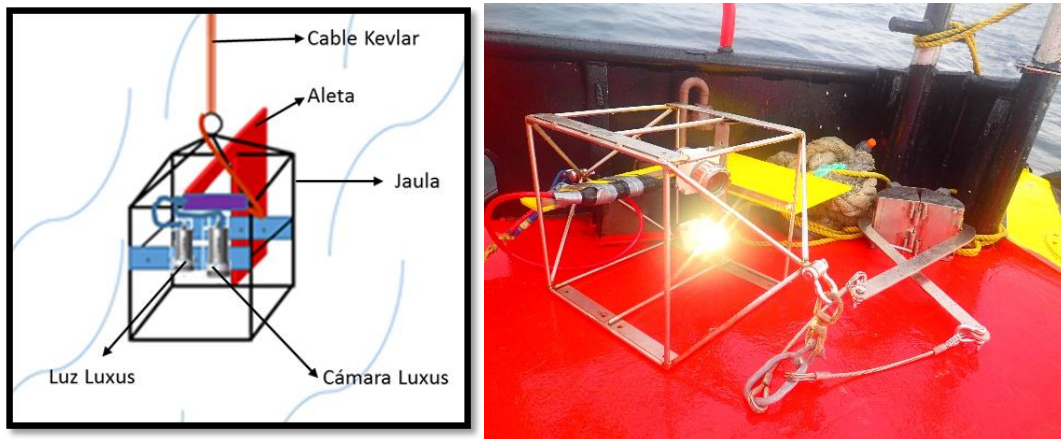


Figura 19. Anomalías detectadas en los polígonos 7 del Bloque de exploración GUA OFF 13.

Para el levantamiento de información por videotransectos, en cada una de las anomalías seleccionadas previamente, se usó la Cámara de Deriva Multipropósito CADEM, propiedad del INVEMAR, acoplada a un winche oceanográfico INVE-09. CADEM es un equipo que incorpora cámaras de alta definición capaces de adquirir imágenes a color con rango de 61°, zoom de 120x y luces LED de 2200 lúmenes, ambos con cubierta de titanio resistente hasta 4000 m de profundidad, consola multimedia de seguimiento, 300 m de cable coaxial reforzado con kevlar para soportar un peso máximo de 100 kg, y una jaula de protección con aleta (Figura 20).

Los videotransectos fueron tomados entre el 1 y 2 de diciembre en los polígonos N°3 y N°7, descendiendo a CADEM hasta aproximadamente un metro de distancia de la anomalía, y fue remolcada según la deriva de la embarcación para realizar video-transectos lineales, y así realizar evaluaciones biológicas rápidas, registrar cambios geomorfológicos durante grandes distancias y evaluar patrones de zonificación. La altura sobre el fondo del mar se mantuvo constante de forma manual por un operador del winche que tiene contacto visual con el monitor.



*Figura 20. Cámara de Deriva Multipropósito (CADEM) Izquierda: Esquema del montaje de CADEM para toma de video y fotografía; Derecha: CADEM en cubierta de la embarcación.*

En todos los polígonos se realizaron de manera complementaria lanzamientos de Box-Corer comprobatorios para hallar evidencias de corales de profundidad. En los polígonos N°1, N°4, y N°7 se encontraron evidencias de corales copa (Figura 21).



*Figura 21. Evidencias de corales copa, Cladocora debilis y del coral estructurante Madracis spp. en el polígono N°4.*



## II. TEMÁTICA 2. ANÁLISIS DE MUESTRAS DE “PISTON CORER” COMO SOPORTE A LA INFORMACIÓN DE LÍNEA BASE ASOCIADA A ESTUDIOS COSTA AFUERA

El presente capítulo muestra las actividades desarrolladas frente a los siguientes productos:

Análisis de muestras de “Piston Corer” como soporte a la información de línea base asociada a estudios costa afuera, seleccionando 5 de los 10 núcleos de “Piston Corer” custodiados por el INVEMAR.

- Procesamiento de 5 núcleos de “Piston Corer” para la medición de metales e hidrocarburos
- Análisis de isótopos radiactivos emisores gamma de la cadena del 238U, en 1 núcleo de “Piston Corer”.
- Fechado y reconstrucción histórica de metales en un núcleo de sedimento recolectado en 2019 por el INVEMAR en el marco de proyecto financiado por FUCOLDE-ANH (INVEMAR, 2019), en una zona costera del Caribe colombiano.

### 1 Análisis de muestras de Piston Corer

*Pedro Pablo Vallejo-Toro, Karen Ibarra-Gutiérrez, César Augusto Bernal y Luisa Fernanda Espinosa.*

#### 1.1 Problema y justificación

En el marco regulatorio que otorga permisos de exploración de hidrocarburos sobre el mar territorial colombiano, la Autoridad de Licencias Ambientales (ANLA) ha indicado a las empresas solicitantes, la entrega al INVEMAR, de los primeros 15 cm de los núcleos obtenidos mediante tecnología coring, debido a la utilidad e importancia biológica de éste material para el inventario de organismos de la infauna de los fondos sedimentarios profundos del país. Desde el año 2012 el INVEMAR ha recibido en custodia núcleos de sedimento provenientes de diferentes empresas del sector hidrocarburos, sumando a 2019 un total de 470 núcleos recolectados a profundidades entre 540 y 4000 m, provenientes de muestreos realizados a lo largo del Caribe colombiano. El análisis parcial de estas muestras ha sido apoyado por la ANH y en algunos casos por empresas de la industria de hidrocarburos, con lo cual, luego de ocho años se ha logrado el análisis de la macrofauna bentónica en un porcentaje aproximado del 20 % del total recibido, obteniendo así información relevante en el proceso de levantamiento de línea base de organismos bentónicos presentes principalmente en los sectores norte y sur en aguas costa afuera del Caribe colombiano (INVEMAR, 2019),

Además del componente biótico, estos núcleos pueden proveer información adicional relevante para el país, ya que los sedimentos son archivos ambientales que dan cuenta de los cambios temporales en la entrada de contaminantes a los ecosistemas acuáticos, entre ellos metales pesados, los cuales se acumulan en el sedimento debido a fuentes naturales y antrópicas. Por esto, resulta pertinente dar continuidad a los análisis químicos iniciados en 2019 en los núcleos de “Piston corer” custodiados por el INVEMAR, para generar una línea base local que permita conocer los cambios en las concentraciones químicas en esta matriz, así como su carácter residual, acumulativo o constante.

Además de la información de línea base relacionada con el componente químico, se incluyó el análisis de isótopos radiactivos de la cadena del  $^{238}\text{U}$  en un núcleo de “Piston Corer”, con el propósito de evaluar la presencia de Materiales Radiactivos de Origen Natural – NORM (por sus siglas en inglés). Los radionúclidos naturales están presentes en diversos recursos naturales en concentraciones elevadas y generalmente se encuentran en materiales geológicos como rocas ígneas y minerales. Las actividades humanas que explotan estos recursos como la minería y el procesamiento de minerales, la producción de gas natural y petróleo, entre otros, pueden liberar NORM aumentando sus concentraciones y probablemente incrementando la exposición a materiales radiactivos naturales en productos, subproductos, residuos y desechos (IAEA, 2003). Si estos residuos que contienen radionúclidos de origen natural no se manejan de manera adecuada y segura, es posible generar contaminación, por lo que resulta relevante caracterizar los radionúclidos de la cadena del  $^{238}\text{U}$ , para identificar si este tipo de materiales se encuentran en los bloques de exploración.

Los resultados de esta temática servirán para identificar los cambios de las concentraciones de metales e hidrocarburos debidos a actividades antrópicas, así como avanzar en la identificación de materiales NORM, que permitan a la Autoridad ambiental generar medidas de manejo y control. Cabe destacar que las concentraciones naturales de metales en los sedimentos van a depender de las rocas que dan origen al mismo. Por lo tanto, las concentraciones no son iguales en todos los ambientes marinos y costeros.

Adicionalmente, con el propósito de aportar a las autoridades ambientales y partes interesadas, herramientas para evaluar la calidad de sedimentos marinos y costeros de Colombia, se busca establecer las concentraciones umbral o de línea base de metales pesados en un núcleo de sedimento recolectado en 2019 en una zona del Caribe colombiano en el marco del contrato TDSE-SCTO-46-454-08-19. La línea base se establece midiendo las concentraciones de metales a diferentes profundidades en el núcleo seleccionado que será fechado con  $^{210}\text{Pb}$ , isótopo que permite reconstruir tendencias dentro de un marco temporal reciente (~150 años), periodo en el cual se pueden llegar a encontrar los niveles antes del inicio de actividades antrópicas, que representan los valores naturales.

La determinación de niveles naturales de metales en sedimentos marinos servirá de base para orientar el desarrollo de evaluaciones ambientales estratégicas del sector hidrocarburos en el

marco de los procesos de planificación de las actividades de la exploración convencional de hidrocarburos en espacios marinos.

## 1.2 Metodología utilizada

### 1.2.1 Procesamiento de 5 núcleos de “Piston Corer” para la medición de metales e hidrocarburos

En la Tabla 10 se presentan las cinco muestras de “Piston corer” del bloque Fuerte norte ubicado en el Caribe colombiano, seleccionadas para analizar isótopos radiactivos emisores gamma de la cadena del  $^{238}\text{U}$ , metales, hidrocarburos de petróleo equivalentes de crisenos, hidrocarburos alifáticos (cadena C8-C40) e hidrocarburos aromáticos policíclicos. Estas muestras permanecían custodiadas por el Museo de Historia Natural Marina de Colombia “Makuriwa” del INVEMAR y se encontraban preservadas con formaldehído al 12 %. Cada núcleo constaba de 5 secciones u horizontes, y cada horizonte correspondía a una fracción de 3 cm. Una vez recibidas en la Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina – LABCAM del INVEMAR, fueron secadas a una temperatura de 40 °C durante tres semanas, para evitar la pérdida de los mensurandos de interés. El secado se realizó dentro de una cabina de extracción por los vapores tóxicos del formaldehído. Posterior a esta etapa, las muestras fueron maceradas y tamizadas para garantizar su homogeneidad, se tomó una porción para los análisis radiométricos (emisores gamma) y químicos (metales, hidrocarburos).

*Tabla 10. Muestras de “Piston Corer” para la medición de isótopos emisores gamma, metales e hidrocarburos*

Bloque	Núcleos analizados	Año de muestreo	Total muestras por núcleo	Latitud N	Longitud W
FUERTE NORTE	FGC 047	2015	5	10°24,2601	76°13,6208
	FGC 055A	2015	5	10°24,4649	76°13,3299
	FGC 048A	2015	5	10°22,5543	76°11,9995
	FGC 056A	2015	5	10°09,3670	76°24,4291
	FGC 052A	2015	5	09°51,6853	76°30,1246

### 1.2.2 Análisis de isótopos radiactivos emisores gamma de la cadena del $^{238}\text{U}$ , en un núcleo de “Piston corer”

Se seleccionó el núcleo de Piston Corer 55A para el análisis de isótopos radiactivo emisores gamma de la cadena del  $^{238}\text{U}$ . Para esto, se inició la implementación y puesta en marcha del sistema de espectrometría gamma GC Canberra 5020, considerando que esta técnica además de permitir complementar los análisis para el fechado con  $^{210}\text{Pb}$ , es fundamental para medir materiales NORM. Se revisó el software Genie 2000 con el que trabaja el sistema espectrométrico, se adquirieron materiales de referencia para realizar las calibraciones del

equipo, y se realizó la revisión bibliográfica acerca de la técnica, caracterización del equipo, funcionamiento del detector, calibración y medición de muestras.

Se adquirió nitrógeno líquido, fundamental para mantener a la temperatura adecuada el detector de Germanio hiperpuro del sistema espectrométrico gamma. El suministro del nitrógeno por parte de los proveedores se vio retrasado por efectos de las restricciones que ha causado la pandemia por COVID-19.

El equipo espectrométrico tuvo que ser ajustado en sus parámetros de medición para poder así, obtener un espectro adecuado y poder determinar tanto a nivel cualitativo y cuantitativo los radioisótopos presentes en las muestras. Este ajuste fue una de las actividades que mayor tiempo requirió.

Para los análisis por espectrometría gamma, se procedió al empaqueo de cada una de las muestras del núcleo 055A en geometrías o contenedores tipo caja de Petri. Debido a los equilibrios seculares entre algunos radionúclidos (ej.  $^{226}\text{Ra}$ ), luego de empaçadas las muestras, se debe esperar como mínimo 4 semanas para lograr el equilibrio y cuantificar la concentración de actividad de los isótopos de interés. En este informe técnico se presentan los resultados cualitativos de identificación de los radioisótopos encontrados en cada muestra del núcleo 055A, el próximo año se entregarán los resultados del análisis cuantitativo, una vez se logre el equilibrio secular cumplidas las cuatro semanas después del empaquetado de las muestras.

### 1.2.2.1 Análisis de metales en muestras de núcleos de "Piston Core" preservadas con formaldehído

En la Tabla 11 se presentan los metales analizados y los métodos empleados en el LABCAM para su análisis.

*Tabla 11. Métodos para análisis de metales en sedimentos. (p.s.: peso seco)*

Metal	Unidad de medida	Límite de cuantificación	Método de análisis
Mercurio (Hg)	$\mu\text{g Hg/g p.s.}$	3,0	Mercurio en sólidos y solución por descomposición térmica, amalgamación y espectrometría de absorción atómica. EPA 7473 (EPA, 2007).
Plomo (Pb)	$\mu\text{g Pb/g p.s.}$	16,7	Digestión asistida por microondas y cuantificación por espectrometría AA llama. EPA 3052 (EPA, 1996); Standard Methods 3111 B (APHA <i>et al</i> , 2017).
Cadmio (Cd)	$\mu\text{g Cd/g p.s.}$	0,83	Digestión asistida por microondas y cuantificación por espectrometría AA llama. EPA 3052 (EPA, 1996); Standard Methods 3111 B (APHA <i>et al</i> , 2017).
Cromo (Cr)	$\mu\text{g Cr/g p.s.}$	16,7	Digestión asistida por microondas y cuantificación por espectrometría AA llama. EPA 3052 (EPA, 1996); Standard Methods 3111 B (APHA <i>et al</i> , 2017).

Cobre (Cu)	µg Cu/g p.s.	12,0	Digestión asistida por microondas y cuantificación por espectrometría AA llama. EPA 3052 ( <a href="#">EPA, 1996</a> ); Standard Methods 3111 B (APHA <i>et al</i> , 2017).
Zinc (Zn)	µg Zn/g p.s.	16,7	Digestión asistida por microondas y cuantificación por espectrometría AA llama. EPA 3052 ( <a href="#">EPA, 1996</a> ); Standard Methods 3111 B (APHA <i>et al</i> , 2017).
Hierro (Fe)	µg Fe/g p.s.	1000	Digestión asistida por microondas y cuantificación por espectrometría AA llama. EPA 3052 ( <a href="#">EPA, 1996</a> ); Standard Methods 3111 B (APHA <i>et al</i> , 2017).
Manganeso (Mn)	µg Mn/g p.s.		Digestión asistida por microondas y cuantificación por espectrometría AA llama. EPA 3052 ( <a href="#">EPA, 1996</a> ); Standard Methods 3111 B (APHA <i>et al</i> , 2017).

### 1.2.2.2 Análisis de hidrocarburos en muestras de núcleos de "Piston Core" preservadas con formaldehído

En la Tabla 12; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan los hidrocarburos analizados y los métodos empleados en el LABCAM para su análisis.

*Tabla 12. Métodos para análisis de hidrocarburos en sedimentos. (p.s.: peso seco)*

Compuesto	Unidad de medida	Método de análisis
Hidrocarburos de petróleo equivalentes de criseno	µg/g	Extracción soxhlet con diclorometano: acetona y cuantificación fluorométrica (UNEP/IOC/IAEA, 1992)
Hidrocarburos alifáticos (C8-C40)	µg/g	Extracción soxhlet con diclorometano: acetona, cuantificación cromatográfica por GC-MSD. (UNESCO-COI, 1992)
Naftaleno	ng/g	Extracción soxhlet con diclorometano: acetona, fraccionamiento en columna de sílica: alúmina y cuantificación por GC-MSD. EPA 3540C ( <a href="#">EPA, 1996 a</a> ); EPA 3630C ( <a href="#">EPA, 1996 b</a> ); EPA 8270E ( <a href="#">EPA, 2017</a> ).
Acenaftileno	ng/g	Extracción soxhlet con diclorometano: acetona, fraccionamiento en columna de sílica: alúmina y cuantificación por GC-MSD. EPA 3540C ( <a href="#">EPA, 1996 a</a> ); EPA 3630C ( <a href="#">EPA, 1996 b</a> ); EPA 8270E ( <a href="#">EPA, 2017</a> ).
Acenafteno	ng/g	Extracción soxhlet con diclorometano: acetona, fraccionamiento en columna de sílica: alúmina y cuantificación por GC-MSD. EPA 3540C ( <a href="#">EPA, 1996 a</a> ); EPA 3630C ( <a href="#">EPA, 1996 b</a> ); EPA 8270E ( <a href="#">EPA, 2017</a> ).
Fluoreno	ng/g	Extracción soxhlet con diclorometano: acetona, fraccionamiento en columna de sílica: alúmina y cuantificación por GC-MSD. EPA 3540C ( <a href="#">EPA, 1996 a</a> ); EPA 3630C ( <a href="#">EPA, 1996 b</a> ); EPA 8270E ( <a href="#">EPA, 2017</a> ).
Fenantreno	ng/g	Extracción soxhlet con diclorometano: acetona, fraccionamiento en columna de sílica: alúmina y cuantificación por GC-MSD. EPA 3540C ( <a href="#">EPA, 1996 a</a> ); EPA 3630C ( <a href="#">EPA, 1996 b</a> ); EPA 8270E ( <a href="#">EPA, 2017</a> ).
Antraceno	ng/g	Extracción soxhlet con diclorometano: acetona, fraccionamiento en columna de sílica: alúmina y cuantificación por GC-MSD. EPA 3540C ( <a href="#">EPA, 1996 a</a> ); EPA 3630C ( <a href="#">EPA, 1996 b</a> ); EPA 8270E ( <a href="#">EPA, 2017</a> ).

Compuesto	Unidad de medida	Método de análisis
Fluoranteno	ng/g	Extracción soxhlet con diclorometano: acetona, fraccionamiento en columna de sílica: alúmina y cuantificación por GC-MSD. EPA 3540C ( <a href="#">EPA, 1996 a</a> ); EPA 3630C ( <a href="#">EPA, 1996 b</a> ); EPA 8270E ( <a href="#">EPA, 2017</a> ).
Pireno	ng/g	Extracción soxhlet con diclorometano: acetona, fraccionamiento en columna de sílica: alúmina y cuantificación por GC-MSD. EPA 3540C ( <a href="#">EPA, 1996 a</a> ); EPA 3630C ( <a href="#">EPA, 1996 b</a> ); EPA 8270E ( <a href="#">EPA, 2017</a> ).
Benzo(a)antraceno	ng/g	Extracción soxhlet con diclorometano: acetona, fraccionamiento en columna de sílica: alúmina y cuantificación por GC-MSD. EPA 3540C ( <a href="#">EPA, 1996 a</a> ); EPA 3630C ( <a href="#">EPA, 1996 b</a> ); EPA 8270E ( <a href="#">EPA, 2017</a> ).
Criseno	ng/g	Extracción soxhlet con diclorometano: acetona, fraccionamiento en columna de sílica: alúmina y cuantificación por GC-MSD. EPA 3540C ( <a href="#">EPA, 1996 a</a> ); EPA 3630C ( <a href="#">EPA, 1996 b</a> ); EPA 8270E ( <a href="#">EPA, 2017</a> ).
Benzo(b)fluoranteno	ng/g	Extracción soxhlet con diclorometano: acetona, fraccionamiento en columna de sílica: alúmina y cuantificación por GC-MSD. EPA 3540C ( <a href="#">EPA, 1996 a</a> ); EPA 3630C ( <a href="#">EPA, 1996 b</a> ); EPA 8270E ( <a href="#">EPA, 2017</a> ).
Benzo(k)fluoranteno	ng/g	Extracción soxhlet con diclorometano: acetona, fraccionamiento en columna de sílica: alúmina y cuantificación por GC-MSD. EPA 3540C ( <a href="#">EPA, 1996 a</a> ); EPA 3630C ( <a href="#">EPA, 1996 b</a> ); EPA 8270E ( <a href="#">EPA, 2017</a> ).
Benzo(a)pireno	ng/g	Extracción soxhlet con diclorometano: acetona, fraccionamiento en columna de sílica: alúmina y cuantificación por GC-MSD. EPA 3540C ( <a href="#">EPA, 1996 a</a> ); EPA 3630C ( <a href="#">EPA, 1996 b</a> ); EPA 8270E ( <a href="#">EPA, 2017</a> ).
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	ng/g	Extracción soxhlet con diclorometano: acetona, fraccionamiento en columna de sílica: alúmina y cuantificación por GC-MSD. EPA 3540C ( <a href="#">EPA, 1996 a</a> ); EPA 3630C ( <a href="#">EPA, 1996 b</a> ); EPA 8270E ( <a href="#">EPA, 2017</a> ).
Dibenzo(a,h)antraceno	ng/g	Extracción soxhlet con diclorometano: acetona, fraccionamiento en columna de sílica: alúmina y cuantificación por GC-MSD. EPA 3540C ( <a href="#">EPA, 1996 a</a> ); EPA 3630C ( <a href="#">EPA, 1996 b</a> ); EPA 8270E ( <a href="#">EPA, 2017</a> ).
Benzo(g,h,i)perileno	ng/g	Extracción soxhlet con diclorometano: acetona, fraccionamiento en columna de sílica: alúmina y cuantificación por GC-MSD. EPA 3540C ( <a href="#">EPA, 1996 a</a> ); EPA 3630C ( <a href="#">EPA, 1996 b</a> ); EPA 8270E ( <a href="#">EPA, 2017</a> ).

### *1.2.3 Fechado y reconstrucción histórica de metales en un núcleo de sedimento recolectado en 2019 por el INVEMAR en el marco del proyecto financiado por FUCOLDE-ANH (INVEMAR, 2019) en una zona costera del Caribe colombiano*

Para esta actividad se seleccionó uno de los núcleos recolectado en 2019 en el marco del proyecto financiado por FUCOLDE-ANH (INVEMAR, 2019) en la bahía de Cispata, departamento de Córdoba. La bahía de Cispata es un ambiente estuarino delimitado en su mayoría por extensas coberturas de manglar, que recibe el aporte directo de agua dulce por varios efluentes del río Sinú y presenta la influencia directa del mar Caribe. Estos aportes se encuentran influenciados por los periodos climáticos característicos del departamento de Córdoba, así como por la hidrodinámica del mar. Dentro de este ecosistema, *Rhizophora mangle* constituye un recurso importante debido a que mantiene en sus raíces sumergidas una gran biodiversidad dominada principalmente por moluscos y crustáceos (Quirós y Arias, 2013). La bahía de Cispata

comprende áreas costeras de los municipios de San Antero y San Bernardo del Viento, en donde se realizan actividades de agricultura, ganadería, pesca artesanal, aprovechamiento forestal y turismo; esta zona además está influenciada por las actividades portuarias que se realiza en el golfo de Morrosquillo (INVEMAR, 2019 b).

Para la selección del núcleo, se tuvo en cuenta que en la inspección visual presentara una adecuada disposición de las capas sedimentarias. Se seleccionaron algunas secciones del núcleo en las cuáles se determinó la actividad total de  $^{210}\text{Pb}$ .

La actividad total de  $^{210}\text{Pb}$  se determinó por espectrometría alfa de alta resolución de su producto de descomposición  $^{210}\text{Po}$ , bajo el supuesto que se encuentran en equilibrio secular, considerando que han transcurrido más de seis meses posterior a su recolección. Se empleó una cantidad aproximada de 0,3 g de sedimento seco al cual se adicionó  $^{209}\text{Po}$  como trazador de rendimiento y se hizo una digestión con una mezcla de  $\text{HNO}_3 + \text{HF}$  empleando un horno microondas Milestone Ethos One. El  $^{210}\text{Po}$  se electrodepositó sobre discos de plata pura y el conteo de la actividad se midió en un espectrómetro alfa marca ORTEC modelo Alpha Ensemble, con detectores de silicio hiperpuro. El exceso de  $^{210}\text{Pb}$  se calculó como la diferencia entre el  $^{210}\text{Pb}$  total y el  $^{210}\text{Pb}$  soportado (calculado mediante el método de Bindford) en cada capa de sedimento ([Sánchez-Cabeza y Ruíz-Fernández, 2012](#)). El  $^{210}\text{Pb}$  será confirmado en el primer trimestre de 2021 mediante el análisis de emisores gamma descendientes del  $^{226}\text{Ra}$ , así como  $^{137}\text{Cs}$ , empleando la técnica espectrometría gamma, puesta en marcha en el LABCAM del INVEMAR, a través del convenio ANH 2020.

Las edades de cada una de las capas y las tasas de acumulación y sedimentación fueron calculadas siguiendo la metodología de Sánchez-Cabeza y Ruiz-Fernández ([2012](#)), utilizando el modelo de flujo constante (CF), el cual es más indicado cuando las tasas de sedimentación no son constantes.

### 1.3 Presentación de los hallazgos y resultados

#### 1.3.1 Resultados de variables analizadas en núcleos de "Piston Corer" custodiados por el INVEMAR

Los resultados de las variables químicas de interés analizadas en núcleos de "Piston corer" de cinco estaciones del bloque Fuerte Norte (Figura 22) se presentan a continuación. Con esto, se da continuidad al levantamiento de información de línea base relacionada con calidad ambiental en bloques de exploración offshore en Colombia que inició en 2019 (Figura 23) y que se proyecta continuar en los próximos años, considerando la relevante información fisicoquímica que se puede medir en los núcleos de "Piston corer" custodiados por el INVEMAR (Figura 24).

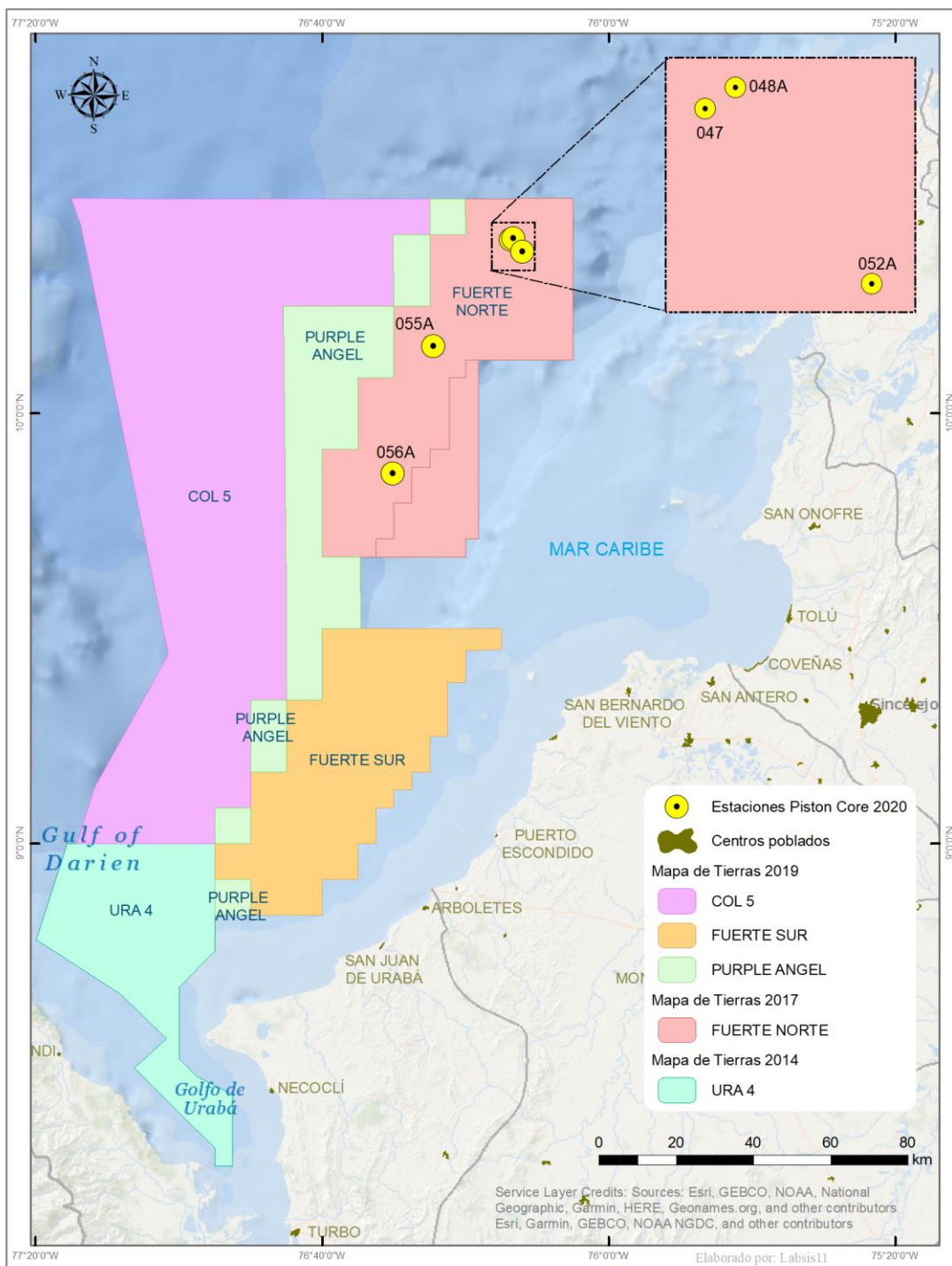


Figura 22. Mapa con las estaciones de "Piston corer" analizadas en 2020.

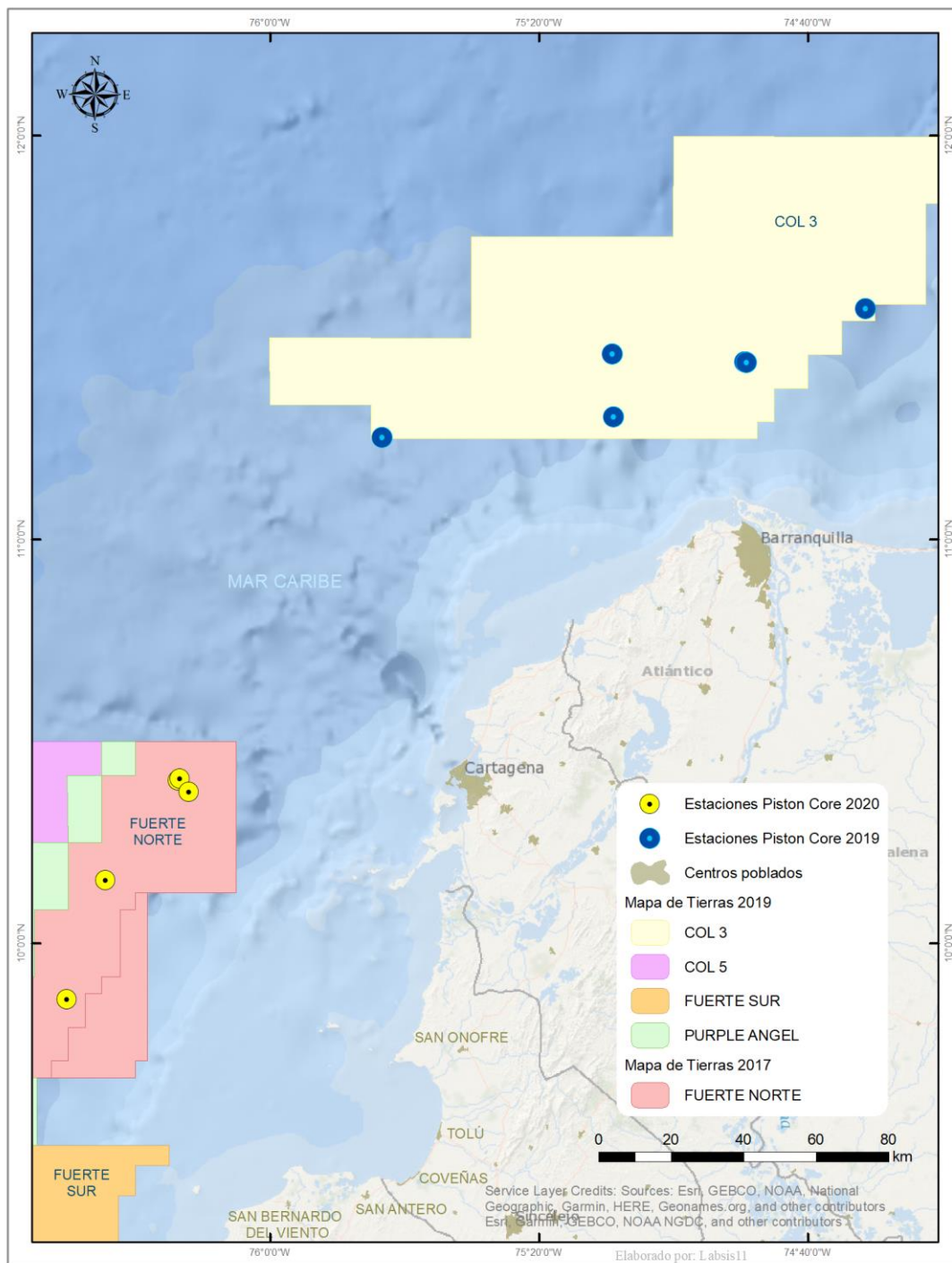


Figura 23. Mapa con las estaciones de "Piston corer" analizadas en 2019 y 2020.

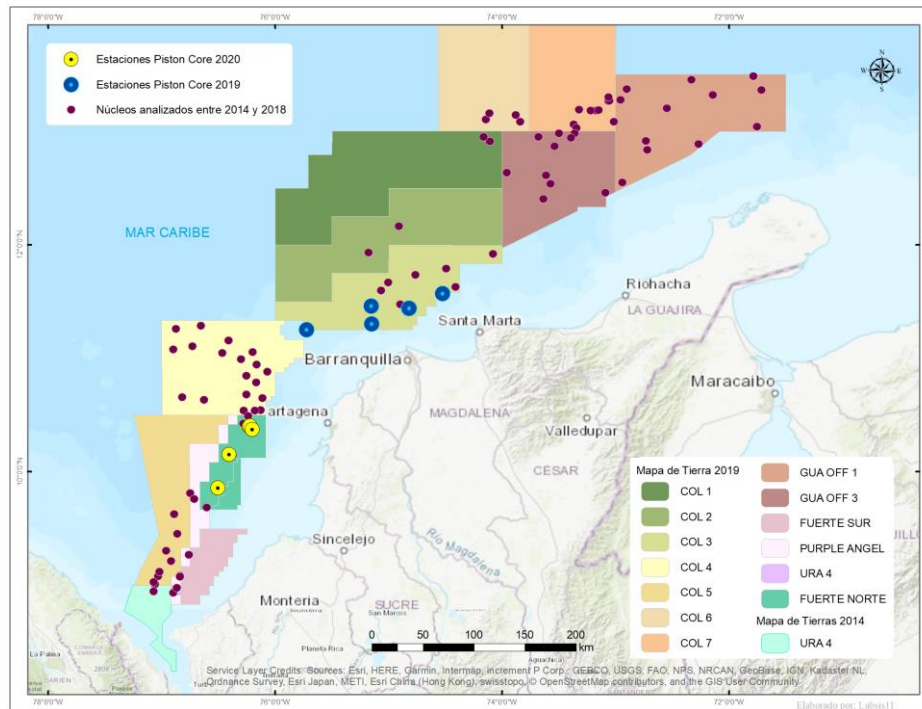


Figura 24. Mapa con las estaciones de núcleos recolectados con "Piston corer" custodiados por el INVEVAR.

### 1.3.1.1 Procesamiento de las muestras de cinco núcleos de "Piston corer" del bloque Fuerte Norte

En la Tabla 13 se presentan las imágenes de las muestras de cada uno de los núcleos de "Piston Corer" del bloque Fuerte Norte secadas y procesadas en el LABCAM del INVEVAR. Se destaca que las muestras presentaron diferencias de color y tipo de grano a nivel horizontal (entre estaciones: 047, 048A, 052A, 055A, 056A) y vertical (entre profundidades u horizontes 1, 2, 3, 4, 5).

### 1.3.1.2 Isótopos radiactivos emisores gamma de la cadena del $^{238}\text{U}$ , en un núcleo de "Piston corer" del bloque Fuerte Norte

Para determinar cualitativamente y a nivel exploratorio los radioisótopos presentes en cada una de los horizontes del "Piston corer" 055A fueron medidos. En la Figura 25, a la Figura 29 y entre la Tabla 14 y la Tabla 18 se presentan los resultados obtenidos. En los dos primeros horizontes se identificó la presencia de isótopos radiactivos emisores gamma de la cadena del  $^{238}\text{U}$  como el  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ , así como el isótopo  $^{40}\text{K}$  que se encuentra de forma natural en la corteza terrestre.

Tabla 13. Muestras de "Piston Corer" del bloque Fuerte Norte secadas y procesadas en el LABCAM del INVEMAR.

Piston Core	Muestras				
047					
048A					
052A					
055A					

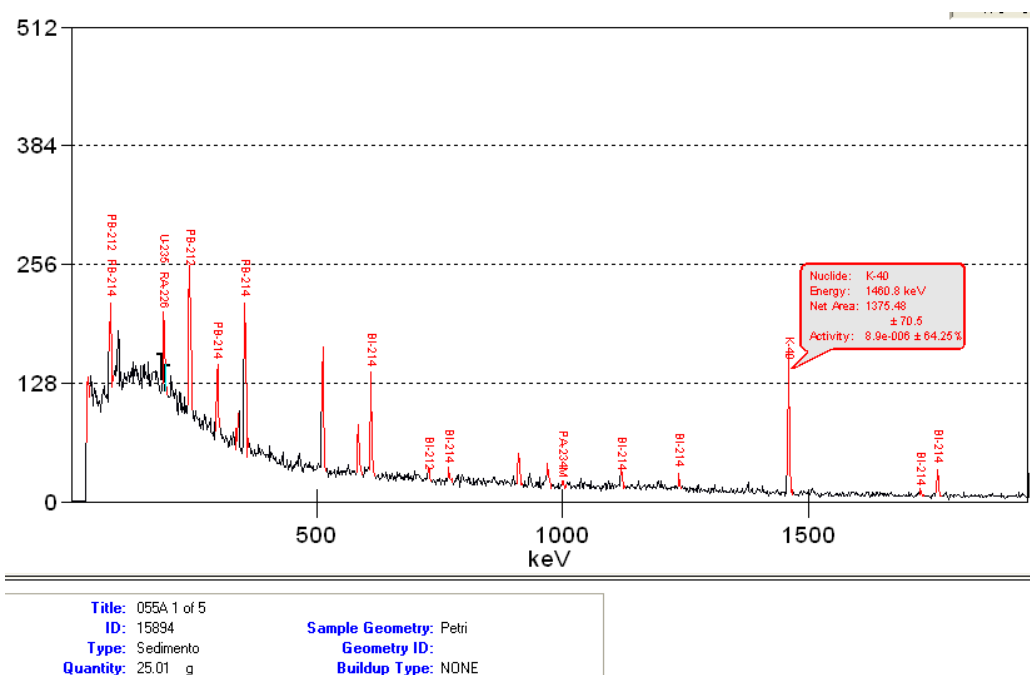


Figura 25. Espectro gamma para la muestra de "Piston corer" 055A, horizonte 1, 24 h de medición.

Tabla 14. Reporte cualitativo de las líneas de emisión del espectro gamma para la muestra de "Piston core" 055ª, horizonte 1

#	ROIi-ROI <sub>f</sub>	Centroide	Energia (keV)	FHWM (keV)	Área neta	Cuentas continua	Radionúclido
1	121-131	124,86	29,94	0,99	464,00	581	
2	313-334	323,92	77,26	0,57	661,00	2670	
3	770-793	782,04	186,17	2,02	1080,00	2460	<sup>226</sup> Ra/ <sup>235</sup> U
4	991-1012	1002,99	238,7	2,09	1200,00	2600	

5	1229-1251	1241,26	295,35	2,56	883,00	1500	<sup>214</sup> Pb
6	1399-1408	1403,76	333,98	0,24	64,30	487	
7	1467-1492	1479,79	352,06	2,34	1700,00	1200	<sup>214</sup> Pb
8	2134-2161	2147,86	510,88	3,1	1780,00	1010	Aniquilacion electrón positrón (Fondo)
9	2438-2465	2452,09	583,21	2,12	611,00	610	<sup>208</sup> Tl
10	2547-2574	2560,98	609,1	2,62	1250,00	683	<sup>214</sup> Bi
11	3049-3063	3056,26	726,84	0,46	107,00	278	
12	3225-3243	3231,04	768,39	0,6	74,60	352	
13	3816-3844	3830,52	910,91	1,12	356,00	442	
14	4065-4090	4074,71	968,97	0,38	191,00	374	
15	4202-4215	4208,02	1000,66	1,2	50,70	158	
16	4699-4725	4711,1	1120,26	2,34	255,00	260	<sup>214</sup> Bi
17	5199-5212	5205,64	1237,83	0,72	44,80	203	
18	6127-6161	6144,81	1461,11	2,86	2030,00	158	<sup>40</sup> K
19	7270-7286	7278,27	1730,58	0,62	46,20	54,8	
20	7407-7439	7422,29	1764,81	1,43	324,00	82,5	<sup>214</sup> Bi

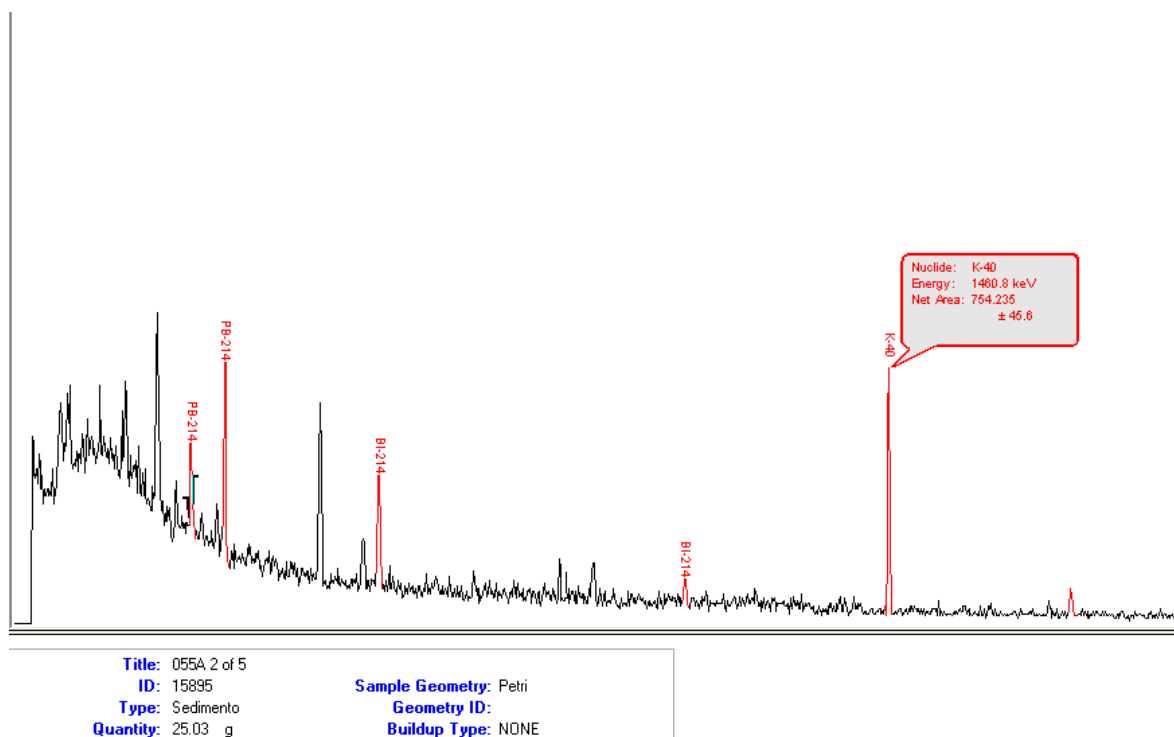


Figura 26. Espectro gamma para la muestra de "Piston corer" 055A, horizonte 2, 12h de medición.

Tabla 15. Reporte cualitativo de las líneas de emisión del espectro gamma para la muestra de "Piston core" 055A, horizonte 2

No	ROI-ROIr	Centroid e	Energia (keV)	FHW M (keV)	Área neta	Incertidumbre	Cuentas continua	Radionúclido
1	121-130	124,5	29,85	0,83	236	30,94	258	
2	512-523	518,87	123,61	0,37	76,4	40,42	622	
3	599-611	603,73	143,78	0,26	54,7	45,02	746	
4	991-1011	1003,46	238,81	2,39	534	67,91	1120	
5	1229-1253	1241,26	295,35	1,84	430	60,72	788	<sup>214</sup> Pb
6	1466-1491	1479,41	351,96	2,37	822	60,1	656	<sup>214</sup> Pb
7	2135-2162	2148,79	511,1	2,48	909	53,42	434	Fondo electrón positrón
8	2548-2576	2562,33	609,42	2,9	658	43,23	262	<sup>214</sup> Bi
9	2889-2900	2894,86	688,47	0,49	7,13	17,22	115	
10	4699-4724	4710,44	1120,11	2,08	147	27,69	146	<sup>214</sup> Bi
11	6127-6162	6144,86	1461,12	2,1	1050	40	99,2	<sup>40</sup> K

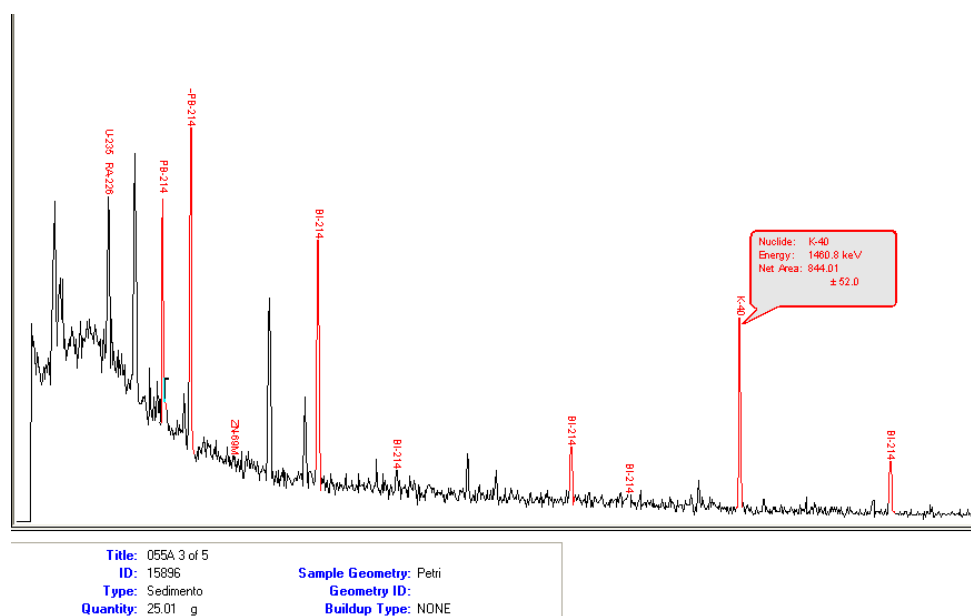


Figura 27. Espectro gamma para la muestra de "Piston corer" 055A, horizonte 3, 14 h de medición.

Tabla 16. Reporte cualitativo de las líneas de emisión del espectro gamma para la muestra de "Piston core" 055A, horizonte 3.

#	ROI-ROI <sub>r</sub>	Centroide	Energía (keV)	FHWM (keV)	Área neta	Cuentas continuas	Radionúclido
1	121-128	124,69	29,9	0,88	223	281	
2	771-793	782,35	186,25	2,19	916	1590	Ra-226/U-235
3	991-1013	1003,21	238,76	2,11	733	1920	Pb -212
4	1230-1254	1242,2	295,57	2,22	1100	972	Pb -214
5	1466-1491	1479,42	351,97	2,76	2040	829	Pb -214
6	1784-1796	1789,68	425,73	0,66	39,6	286	
7	1841-1852	1846,78	439,3	0,48	6,18	268	
8	2134-2161	2147,78	510,86	3,31	1090	707	Fondo electrón positrón
9	2439-2463	2451,13	582,98	2,07	353	413	208Tl
10	2547-2575	2561,65	609,26	2,85	1560	381	Bi-214
11	3221-3242	3231,21	768,43	1,47	113	235	
12	3818-3841	3831,03	911,04	2,99	286	192	
13	4698-4726	4710,91	1120,22	1,39	329	227	Bi-214
14	5194-5220	5204,54	1237,57	0,51	169	134	
15	5329-5342	5335,43	1268,69	0,92	20,9	54,1	
16	6127-6161	6144,69	1461,08	2,85	1230	140	K-40
17	7409-7440	7423,36	1765,07	0,92	326	50,4	Bi-214

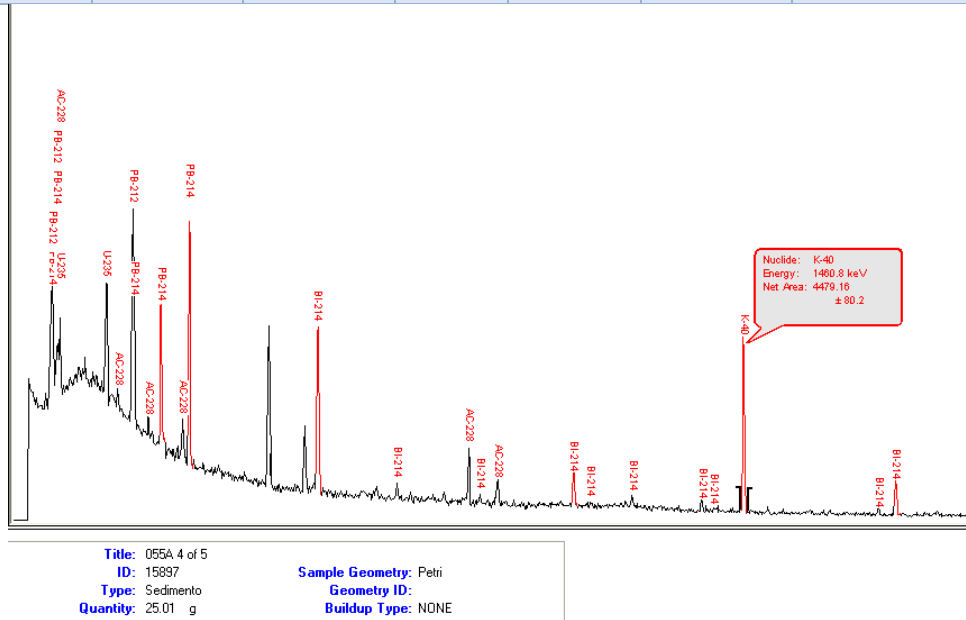


Figura 28. Espectro gamma para la muestra de "Piston corer" 055A, horizonte 4, 48 h de medición.

*Tabla 17. Reporte cualitativo de las líneas de emisión del espectro gamma para la muestra de "Piston core" 055A, horizonte 4.*

No	ROI <sub>i</sub> -ROI <sub>f</sub>	Centroide	Energía (keV)	FHWM (keV)	Área neta	Cuentas continuas	Radionúclido
1	121-132	124,51	29,85	1,01	1,09E+03	1,38E+03	
2	314-334	324,16	77,32	2,31	2,12E+03	5,68E+03	
3	361-401	368,23	87,8	2,68	4,42E+02	6,55E+03	
4	361-401	390,2	93,02	2,67	1,32E+03	7,35E+03	
5	771-793	782,56	186,3	2,53	2,64E+03	4,99E+03	Ra-226/U-235
6	874-891	880,29	209,53	1,11	3,13E+02	3,55E+03	
7	991-1028	1003	238,7	2,52	4,69E+03	4,90E+03	
8	991-1028	1015,98	241,79	2,53	1,65E+03	5,03E+03	
9	1129-1146	1135,02	270,09	0,81	3,63E+02	2,60E+03	
10	1228-1253	1240,94	295,27	2,42	3,12E+03	3,28E+03	Pb-214
11	1410-1433	1421,39	338,17	1,78	8,60E+02	2,48E+03	
12	1466-1491	1479,43	351,97	2,53	5,34E+03	2,44E+03	Pb-214
13	2134-2161	2147,81	510,87	3,1	3,85E+03	2,02E+03	Fondo electrón positrón
14	2437-2464	2450,92	582,93	2,35	1,37E+03	1,41E+03	Tl-208
15	2547-2574	2561,07	609,12	2,71	3,85E+03	1,37E+03	Bi-214
16	3215-3242	3228,23	767,73	1,08	3,38E+02	9,94E+02	
17	3816-3845	3830,47	910,9	2,06	1,08E+03	7,72E+02	
18	3919-3936	3926,72	933,78	1,21	1,42E+02	4,70E+02	
19	4062-4089	4073,85	968,76	1,98	4,46E+02	8,04E+02	
20	4694-4726	4710,29	1120,07	1,97	8,78E+02	6,97E+02	Bi-214
21	4846-4860	4853,96	1154,23	0,78	4,14E+01	3,34E+02	
22	5190-5219	5206,87	1238,12	1,73	3,37E+02	6,37E+02	
23	5781-5809	5792,6	1377,37	0,97	2,78E+02	3,05E+02	
24	5886-5903	5893,17	1401,28	0,64	7,09E+01	2,12E+02	
25	6126-6160	6143,51	1460,8	3,15	4,48E+03	3,63E+02	K-40
26	7258-7287	7276,09	1730,06	0,56	1,98E+02	1,86E+02	
27	7404-7440	7422,17	1764,79	2,77	8,68E+02	2,37E+02	Bi-214

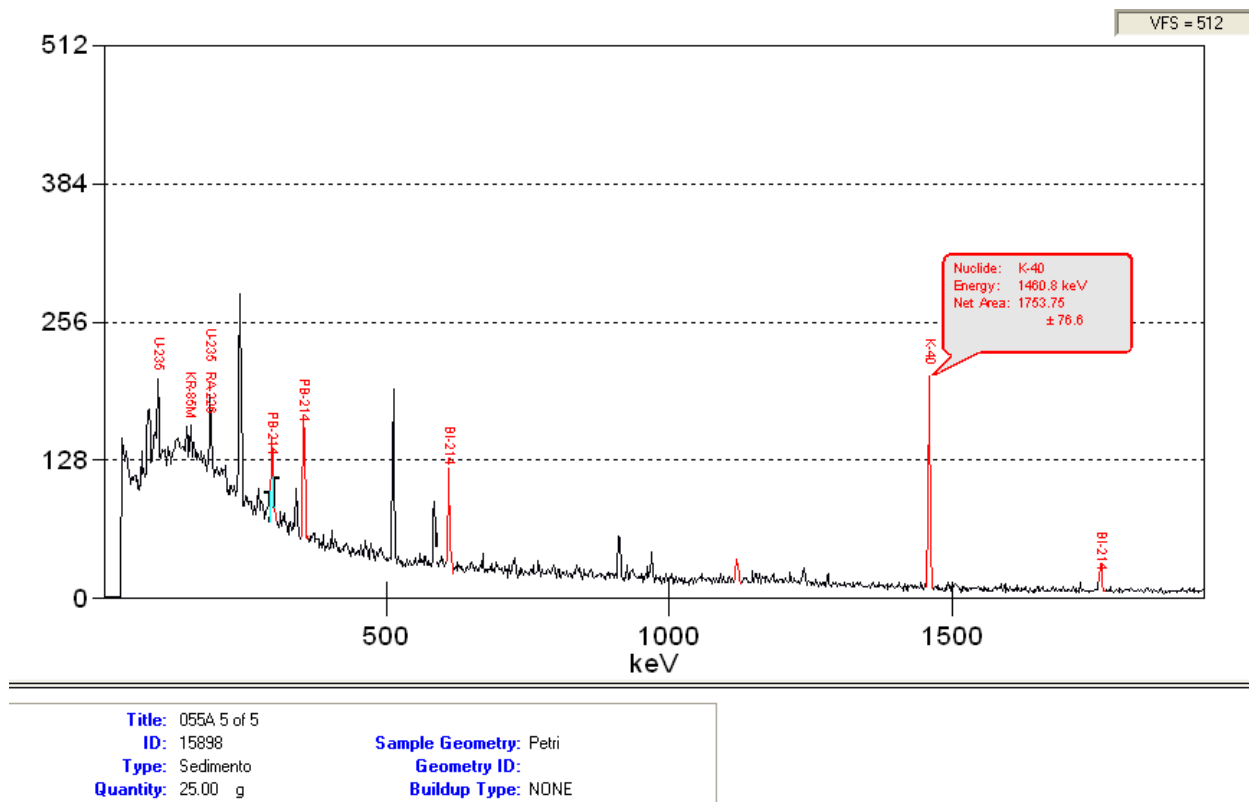


Figura 29. Espectro gamma para la muestra de "Piston corer" 055A, horizonte 5, 25 h de medición.

Tabla 18. Reporte cualitativo de las líneas de emisión del espectro gamma para la muestra de "Piston core" 055A, horizonte 5.

No	ROI-ROI <sub>f</sub>	Centroide	Energía (keV)	FHWM (keV)	Área neta	Cuentas continuas	Radionúclido
1	121-130	125,33	30,05	1.37	4,63E+02	5,27E+02	
2	381-401	391,53	93,34	1.09	6,55E+02	2,59E+03	
3	629-638	633,07	150,76	0.27	2,35E+01	1,21E+03	
4	769-792	780,86	185,89	2.44	9,02E+02	2,54E+03	U-235/Ra-226
5	991-1015	1003,52	238,83	1.93	1,74E+03	2,52E+03	
6	1228-1252	1240,76	295,23	2.40	7,36E+02	1,59E+03	Pb-214
7	1410-1431	1421,62	338,23	0.78	2,58E+02	1,23E+03	
8	1465-1490	1478,06	351,65	2.17	1,29E+03	1,30E+03	Pb-214
9	2133-2160	2147,33	510,75	2.87	1,98E+03	9,10E+02	Fondo Electrón positrón
10	2438-2463	2451,87	583,16	2.36	5,84E+02	6,82E+02	Tl-208
11	2548-2575	2561,08	609,12	2.64	1,07E+03	6,67E+02	Bi-214

12	2804-2816	2810,18	668,34	0.29	3,53E+01	2,36E+02	
13	3816-3847	3831,85	911,23	1.94	4,89E+02	3,83E+02	Ac-228
14	4063-4088	4073,34	968,64	1.27	2,20E+02	3,74E+02	
15	6126-6161	6143,94	1460,9	2.65	2,45E+03	2,03E+02	
16	7407-7435	7423,04	1764,99	2.21	2,88E+02	9,01E+01	Bi-214

### 1.3.1.3 Metales en cinco núcleos de sedimento recolectados con “Piston corer” en el bloque Fuerte Norte

Los resultados de los metales cobre, cromo, zinc, mercurio, plomo, manganeso y hierro analizados en cada uno de los cinco horizontes de los sedimentos de “Piston corer” del bloque Fuerte Norte, se presentan en la Tabla 19. En los cinco núcleos las concentraciones de plomo estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método analítico empleado por el LABCAM (15,0 µg Pb/g).

*Tabla 19. Resultados de los metales analizados en cinco núcleos de sedimento recolectados con “Piston corer” en el bloque Fuerte Norte.*

Núcleo	Horizonte	Cu (µg Cu/g)	Cr (µg Cr/g)	Zn (µg Zn/g)	Hg (ng Hg/g)	Pb (µg Pb/g)	Mn (µg Mn/g)	Fe (µg Fe/g)
FGC 047	1	30,4	<25,0	91,8	56,8	<15,0	303	30019
FGC 047	2	36,2	114	111	60,9	<15,0	372	33352
FGC 047	3	34	73,2	94,7	45,3	<15,0	301	26722
FGC 047	4	21,4	<25,0	52,4	28,3	<15,0	231	11952
FGC 047	5	27,1	26,1	66,6	36,0	<15,0	266	15125
FGC 048A	1	48,3	105	76,8	74,7	<15,0	286	40056
FGC 048A	2	46,3	146	80,5	72,9	<15,0	379	35402
FGC 048A	3	43,5	156	76,4	66,8	<15,0	430	43500
FGC 048A	4	34,3	127	370	50,8	<15,0	507	35548
FGC 048A	5	32,6	82,1	64,4	43,4	<15,0	583	26723
FGC 052A	1	40	43,9	73,4	67,1	<15,0	243	20564
FGC 052A	2	35,5	66,3	100	55,8	<15,0	236	26042
FGC 052A	3	36	203	106	53,8	<15,0	261	25844
FGC 052A	4	37,5	135	114	52,7	<15,0	278	26847
FGC 052A	5	40,6	156	116	66,6	<15,0	313	35199
FGC 055A	1	35,2	28,7	89,2	49,0	<15,0	8749	27163
FGC 055A	2	36,5	30,3	94,0	76,9	<15,0	6434	22827
FGC 055A	3	38,1	19,9	82,6	51,4	<15,0	3382	27875
FGC 055A	4	41,8	24,4	103	101	<15,0	4007	32201
FGC 055A	5	34,3	22,6	79,2	50,0	<15,0	663	32357

Núcleo	Horizonte	Cu ( $\mu\text{g Cu/g}$ )	Cr ( $\mu\text{g Cr/g}$ )	Zn ( $\mu\text{g Zn/g}$ )	Hg (ng Hg/g)	Pb ( $\mu\text{g Pb/g}$ )	Mn ( $\mu\text{g Mn/g}$ )	Fe ( $\mu\text{g Fe/g}$ )
FGC 056A	1	36,4	132	73,8	49,6	<15,0	287	25288
FGC 056A	2	39,9	131	78,7	50,6	<15,0	270	27402
FGC 056A	3	34,4	121	74,8	50,2	<15,0	275	19866
FGC 056A	4	35,6	108	75,2	46,4	<15,0	285	18765
FGC 056A	5	32,4	116,7	68,7	41,9	<15,0	258	19223
<b>Valor TEL (Buchman, 2008)</b>		18,7	52,3	124	130	30,2	-	-
<b>Valor PEL (Buchman, 2008)</b>		108	160	271	700	112	-	-

Cada metal fue graficado respecto a la profundidad de la muestra en cada núcleo (Figura 30), en el caso de la concentración de cromo en los horizontes 1 y 4 del núcleo 047 que fue menor al límite de cuantificación (LC= 25,0  $\mu\text{g Cr/g}$ ) de la técnica analítica, se empleó un valor igual a la mitad del LC para elaborar la gráfica.

Teniendo en cuenta que Colombia no tiene definidos límites permisibles de metales pesados en sedimentos marinos, los resultados fueron comparados con valores de referencia que pueden implicar efectos adversos para la biota (Buchman, 2008). Cada metal se comparó con el valor TEL (Threshold Effect Level, valor de referencia que indica que raramente se podrían presentar efectos adversos para la biota); en caso de sobrepasar este valor, se realizó una comparación adicional con el valor PEL (Probably Effect Level, valor de referencia que indica que frecuentemente se podrían presentar efectos adversos para la biota). Las tablas de referencia de Buchman (2008), no tienen definidos valores de referencia para hierro ni manganeso.

De la Figura 30 se destaca que:

- De forma general, los metales Cu, Hg, y Fe, presentaron tendencia de disminución con el aumento de la profundidad.
- Cobre: Las concentraciones fluctuaron entre 21,4  $\mu\text{g Cu/g}$  y 48,3  $\mu\text{g Cu/g}$ . Las muestras de los núcleos de las cinco estaciones superaron el valor de referencia TEL (18,7  $\mu\text{g Cu/g}$ ), no obstante, fueron inferiores al valor PEL (108  $\mu\text{g Cu/g}$ ), lo que indica que ocasionalmente se podrían presentar efectos adversos en la biota en los niveles encontrados de este metal.
- Cromo: Las concentraciones fluctuaron entre <25,0  $\mu\text{g Cr/g}$  y 203  $\mu\text{g Cr/g}$ . Las muestras de la estación FGC 055A presentaron las concentraciones más bajas (19,9  $\mu\text{g Cr/g}$  – 30,3  $\mu\text{g Cr/g}$ ), y tres de la estación 047 (<25,0  $\mu\text{g Cr/g}$  a 26,1  $\mu\text{g Cr/g}$ ), las cuales fueron inferiores al valor TEL (52,3  $\mu\text{g Cr/g}$ ) para este metal. En las estaciones 048A, 056A, y 052A, las concentraciones de cromo fueron superiores al valor TEL, pero inferiores al valor PEL (160  $\mu\text{g Cr/g}$ ), excepto el horizonte 3 de la estación 052A, cuya concentración fue 1,2 veces superior a este valor (203  $\mu\text{g Cr/g}$ ), presentando probables efectos adversos para la biota.

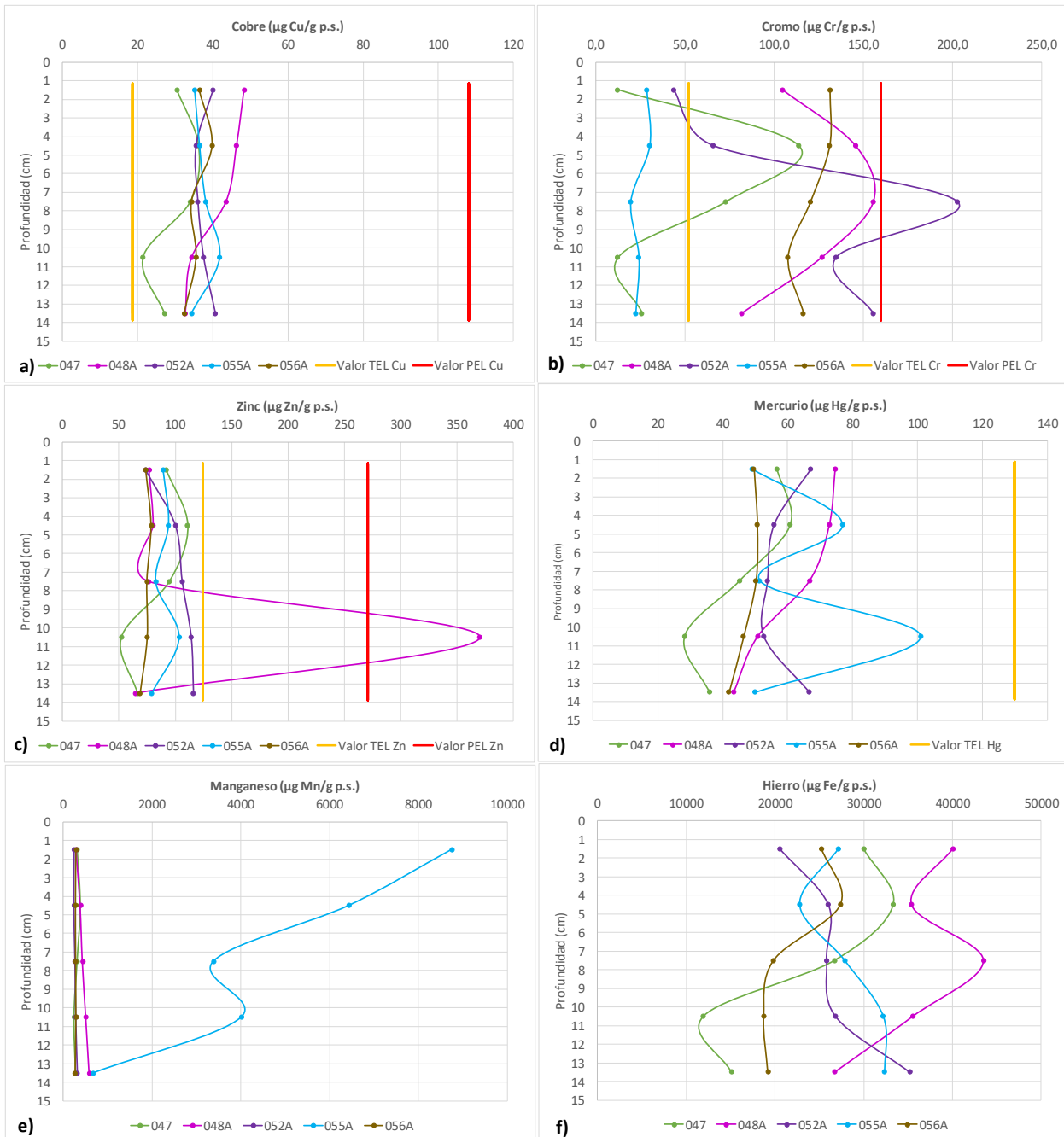


Figura 30. Concentraciones de: a) cobre (Cu), b) cromo (Cr), c) zinc (Zn), d) mercurio (Hg), e) manganeso (Mn), y f) hierro (Fe) Vs. profundidad, en cinco núcleos de sedimento recolectados con "Piston corer" en el bloque Fuerte Norte.

- Zinc: La estación 048A fue la única que presentó una concentración 1,3 veces superior al valor PEL (271  $\mu\text{g Zn/g}$ ), lo que representa un riesgo mayor de efectos adversos para la biota. En las demás estaciones se encontraron concentraciones que fluctuaron entre 52,4  $\mu\text{g Zn/g}$  y 116  $\mu\text{g Zn/g}$ , valores que no representan riesgo para la biota ya que fueron inferiores al valor TEL (124  $\mu\text{g Zn/g}$ ).
- Mercurio: Se presentó una tendencia generalizada de disminución a medida que aumentó la profundidad y las concentraciones fluctuaron entre 28,3  $\mu\text{g Hg/g}$  y 101  $\mu\text{g Hg/g}$ , valores entre 1,3 y 5 veces inferiores al valor de referencia TEL (130  $\mu\text{g Hg/g}$ ).
- Manganeso: En la estación 055A el metal manganeso presentó un comportamiento notoriamente diferente al de las demás estaciones, las concentraciones disminuyeron con relación a la profundidad en valores que fluctuaron entre 663  $\mu\text{g Mn/g}$  y 8749  $\mu\text{g Mn/g}$ , los cuales fueron entre 3 y 40 veces superiores a los encontrados en las demás estaciones (231 – 583  $\mu\text{g Mn/g}$ ).
- Hierro: Las concentraciones de hierro fluctuaron entre 11952  $\mu\text{g Fe/g}$  y 43500  $\mu\text{g Fe/g}$ . En las estaciones 047, 048A y 056A se presentó tendencia de disminución con la profundidad, en las estaciones 052A y 055A, el comportamiento fue contrario.

La variabilidad en la concentración de los metales se atribuye a diferencias espaciales de las estaciones al interior del bloque Fuerte Norte, las cuales se encuentran separadas entre sí a distancias entre 10 y 30 km, y a profundidades entre 1000 y 16000 m.

#### 1.3.1.4 Hidrocarburos en cinco núcleos de “Piston corer” del bloque Fuerte Norte

Los resultados de los hidrocarburos de petróleo equivalentes de criseno e hidrocarburos alifáticos C8-C40 se presentan en la Tabla 20 y en la Figura 31. Los 16 hidrocarburos aromáticos policíclicos evaluados son los que representan mayor riesgo para los organismos, ninguno de ellos fue detectado en los cinco núcleos de sedimento de “Piston corer” del bloque Fuerte Norte.

Las concentraciones de hidrocarburos de petróleo en las estaciones 048A, 052A y 056A, presentaron concentraciones similares que fluctuaron entre 0,17 y 1,23  $\mu\text{g/g}$ , con una tendencia de aumento a medida que incrementó la profundidad. Caso contrario presentaron las estaciones 047 y 055A, cuyas concentraciones presentaron una leve tendencia de aumento y variaron entre 1,04 y 1,62  $\mu\text{g/g}$ . Las concentraciones de hidrocarburos de petróleo fueron inferiores al valor de referencia sugerido por Massoud *et al.* (1998) para sedimentos no contaminados (15,0  $\mu\text{g/g}$ ). Las concentraciones de hidrocarburos alifáticos fluctuaron entre (3,91 y 23,7  $\mu\text{g/g}$ ) y presentaron un incremento hacia la parte intermedia de cada núcleo y disminución en la parte final (Figura 31).

*Tabla 20. Resultados de hidrocarburos de petróleo equivalentes de criseno e hidrocarburos alifáticos analizados en cinco núcleos de sedimento recolectados con "Piston corer" en el bloque Fuerte Norte.*

Núcleo	Hidrocarburos de petróleo equivalentes de criseno (µg/g)	Hidrocarburos alifáticos C8-C40 (µg/g)
FGC 047	1,15	13,9
FGC 047	1,45	13,1
FGC 047	1,44	21,7
FGC 047	1,04	23,7
FGC 047	1,06	7,34
FGC 048A	0,63	5,47
FGC 048A	0,17	6,8
FGC 048A	0,46	14,9
FGC 048A	0,9	6,53
FGC 048A	1,23	4,23
FGC 052A	0,46	14,7
FGC 052A	0,74	4,60
FGC 052A	0,34	6,72
FGC 052A	0,83	13,3
FGC 052A	1,09	6,49
FGC 055A	1,18	9,48
FGC 055A	1,11	8,64
FGC 055A	1,49	6,23
FGC 055A	1,25	14,5
FGC 055A	1,62	4,86
FGC 056A	0,89	14,5
FGC 056A	0,33	7,79
FGC 056A	0,82	7,35
FGC 056A	0,84	3,91
FGC 056A	0,91	10,4

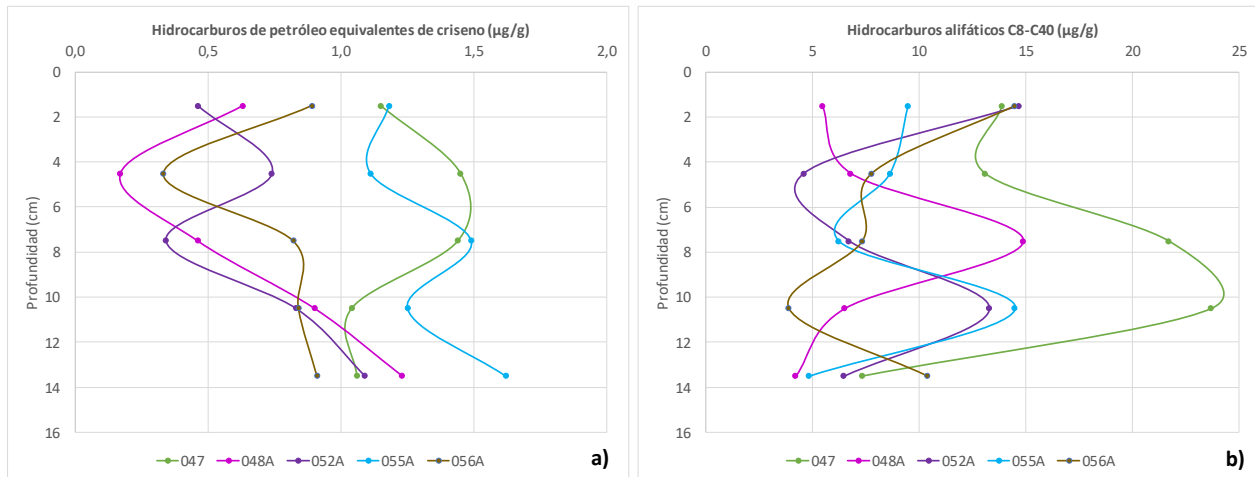


Figura 31. Concentraciones de a) hidrocarburos de petróleo equivalentes de criseno y b) hidrocarburos alifáticos, Vs. profundidad, en núcleos de sedimento recolectados con "Piston corer" en el bloque Fuerte Norte.

### 1.3.2 Fechado y reconstrucción histórica de metales en un núcleo de sedimento recolectado en 2019 por el INVEMAR en el marco del proyecto financiado por FUCOLDE-ANH en la bahía de Cispata, Caribe colombiano

Los valores de actividades del  $^{210}\text{Pb}$  medidos en el núcleo P01-BDC recolectado en la bahía de Cispata (Figura 32) se presentan en Tabla 21. En la Figura 33, Figura 34 y Figura 35 se representaron los resultados del modelo de edad aproximado para los primeros 15 cm del núcleo, las tasas de acumulación y las tasas de sedimentación. Los valores de actividad se graficaron tanto en profundidad lineal (cm) como con profundidad másica ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) para detectar cambios y diferencias asociadas a la compactación y diferencia en las densidades de cada una de las capas.

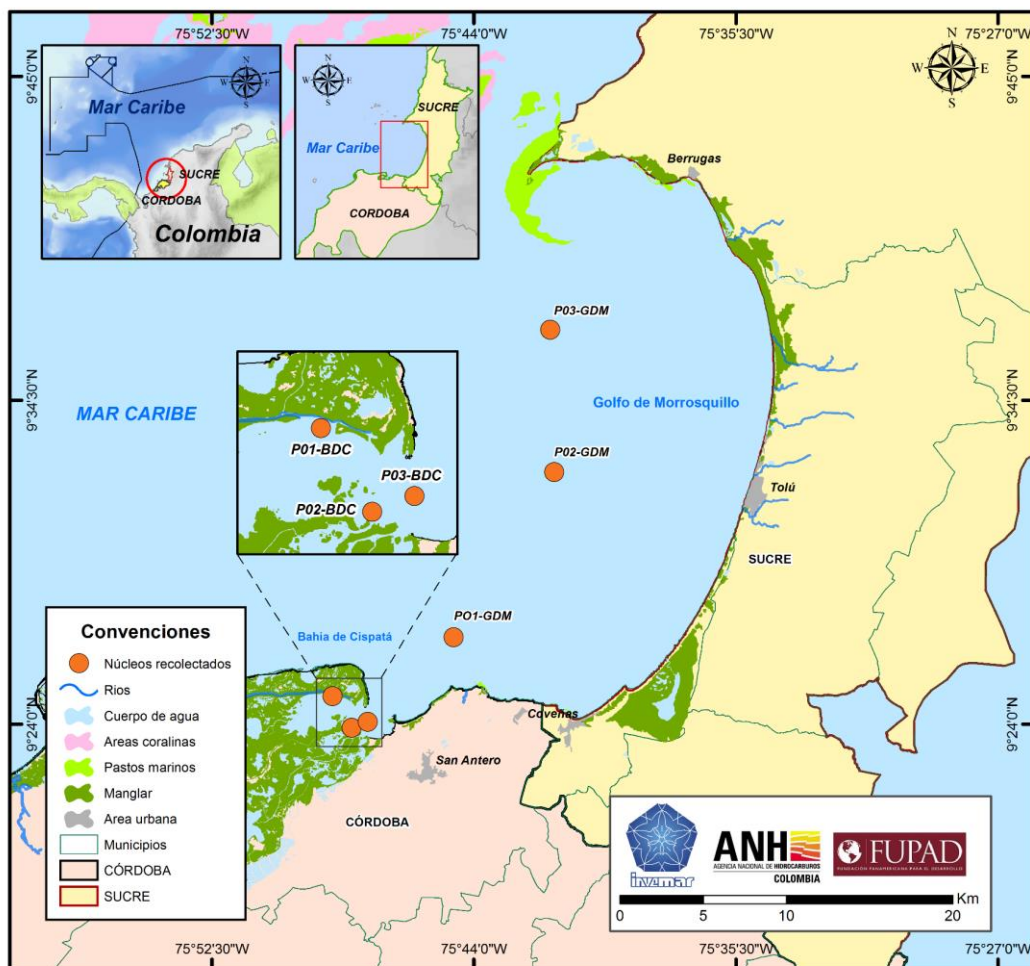


Figura 32. Mapa de los núcleos de sedimento recolectados en 2019 con corer de gravedad en la bahía de Cispata y el golfo de Morrosquillo. Producto cartográfico elaborado por el Laboratorio de Servicios de Información – LABSIS del INVIAMAR.

Tabla 21. Geocronología núcleo P01-BDC

Código	Actividad <sup>210</sup> Pb total (Bq/kg)	Actividad <sup>210</sup> Pb exceso (Bq/kg)	Edad (año)	Año	Tasa acumulación (g/cm <sup>2</sup> año <sup>1</sup> )	Tasa sedimentación (cm/año)
P01-BDC2 0-1	37,07	16,14	0,00	2020	0,06	0,07
P01-BDC2 1-2	43,67	22,74	1,63	2018	0,28	0,45
P01-BDC2 2-3	41,35	20,42	4,63	2015	0,23	0,26
P01-BDC2 3-4	36,88	15,95	9,34	2010	0,24	0,22
P01-BDC2 4-5	42,66	21,73	13,78	2006	0,20	0,19
P01-BDC2 5-6	36,39	15,46	19,67	2000	0,17	0,18
P01-BDC2 6-7	34,70	13,77	24,65	1995	0,18	0,19
P01-BDC2 7-8	36,56	15,63	30,20	1989	0,15	0,16
P01-BDC2 8-9	29,68	8,75	37,12	1983	0,15	0,16

Código	Actividad <sup>210</sup> Pb total (Bq/kg)	Actividad <sup>210</sup> Pb exceso (Bq/kg)	Edad (año)	Año	Tasa acumulación (g/cm <sup>2</sup> año <sup>1</sup> )	Tasa sedimentación (cm/año)
P01-BDC2 9-10	35,84	14,91	41,88	1978	0,13	0,15
P01-BDC2 10-11	32,04	11,11	51,69	1968	0,09	0,10
P01-BDC2 11-12	28,80	7,87	61,69	1958	0,09	0,10
P01-BDC2 12-13	34,25	13,32	71,28	1948	0,06	0,07
P01-BDC2 13-14	26,51	5,58	100,10	1920	0,03	0,03
P01-BDC2 14-15	25,27	4,34	131,83	1888	0,02	0,02
Promedio <sup>210</sup> Pb soportado	20,93	NA	NA	NA	NA	NA

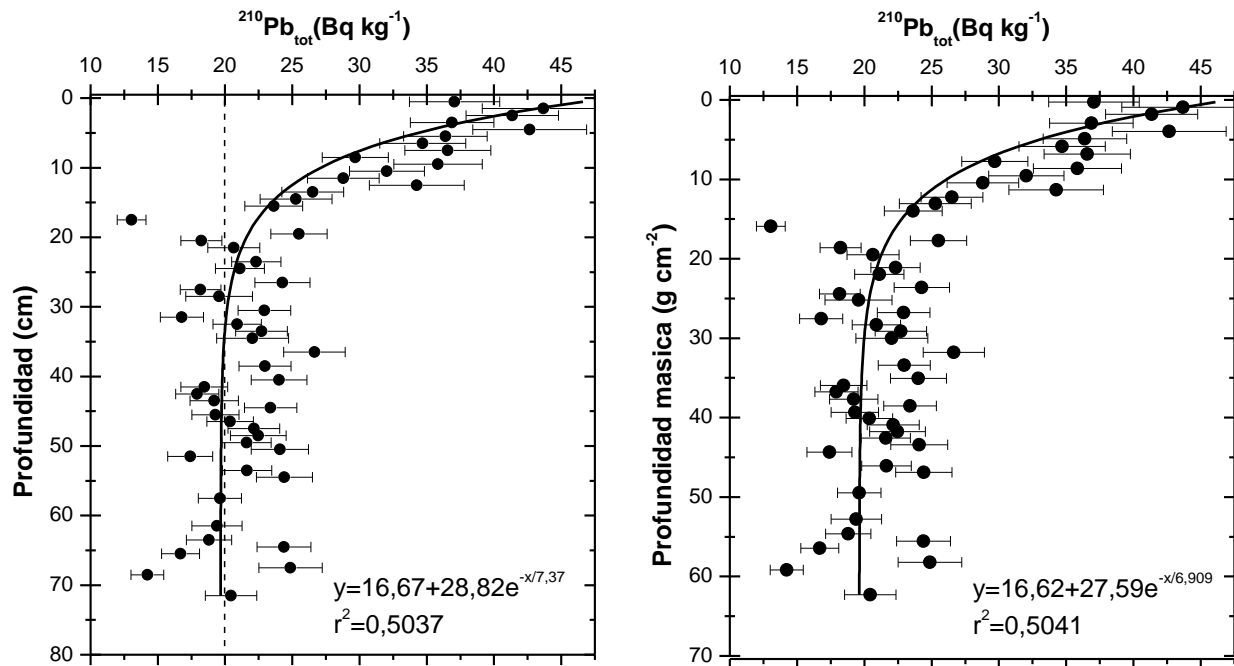


Figura 33. Actividad total <sup>210</sup>Pb para el núcleo sedimentario P01-BDC.

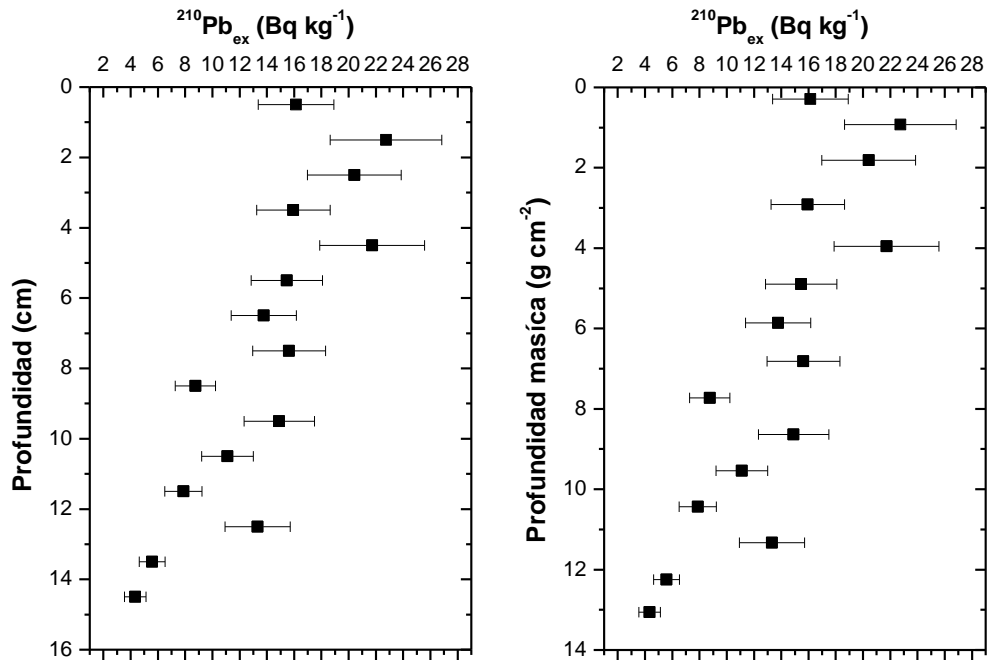


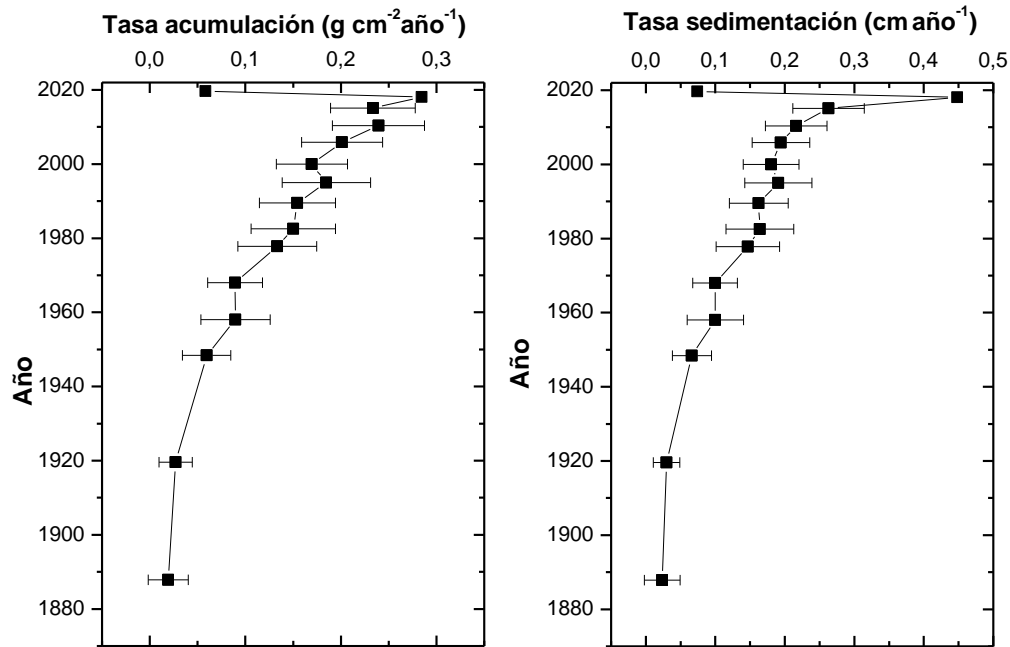
Figura 34. Actividad <sup>210</sup>Pb en exceso para el núcleo sedimentario P01-BDC.

Finalmente, con el modelo de edad y las concentraciones de metales Cu, Cr, Hg, Mn, Pb y Zn, se muestra cómo se dieron las variaciones tanto en profundidad como en tiempo (Tabla 22 y Figura 36).

De los resultados del fechado se resalta que:

- El perfil de actividad total de <sup>210</sup>Pb muestra un decrecimiento exponencial con valores de actividad entre 13,05 Bq/kg y 46,67 Bq/kg. El perfil muestra un decaimiento hasta el centímetro 17-18 donde alcanza el valor más bajo de actividad y después se observa un incremento de la actividad la cual varía aumentando y disminuyendo hasta el fondo del núcleo (cm 71-72) con una actividad de 20,44 Bq/kg. Las variaciones en la actividad son explicadas por los cambios ocurridos en el sistema, al pasar de un sistema estuarino a un sistema más marino (Arrieta y Velásquez, 2005)
- Dadas las variaciones observadas entre las profundidades 17-18 y la base (71-72) se utiliza el método Bindford para determinar la actividad promedio del <sup>210</sup>Pb soportado y así aplicar el modelo de fechado. La actividad del plomo soportado debe ser confirmada por espectrometría gamma en 2021 para confirmar el fechado.
- No se observan diferencias significativas debidas a la compactación y densidades de las secciones del núcleo sedimentario.

Figura 35. Tasas de acumulación y sedimentación para el núcleo sedimentario P01-BDC



Respecto a las tasas de acumulación y sedimentación (Figura 35) se resalta que:

- Las tasas de acumulación y sedimentación han aumentado históricamente desde 1920 cuando se tiene el reporte del cambio de desembocadura del río Sinú. Este aumento puede ser relacionado con el aumento de la salinidad y cambios en la densidad del agua, así como el crecimiento de la cobertura de manglar que se observa en imágenes satelitales de Google Earth.
- Entre el año 2015 y 2018 se observa un cambio importante en las tasas de sedimentación que podría ser relacionados con eventos El Niño (2015 - 2016) y la Niña (2018). Se presentó una disminución hasta el año 2019, dado que el muestreo fue realizado a finales de ese año, el modelo hace una aproximación hacia el año 2020.

Tabla 22. Concentración de metales para el núcleo sedimentario P01-BDC

Código	Cu (µg/g)	Cr (µg/g)	Mn (µg/g)	Hg (ng/g)	Pb (µg/g)	Zn (µg/g)
P01-BDC2_0-1	46,9	37,5	415	175	<15,0	71,6
P01-BDC2_3-4	46,2	40,7	383	120	<15,0	74,1
P01-BDC2_6-7	48,2	34,8	366	118	<15,0	100
P01-BDC2_9-10	53,3	<25,0	67,3	121	<15,0	102
P01-BDC2_11-12	57,7	43,5	363	131	<15,0	113
P01-BDC2_15-16	66,8	41,4	338	143	<15,0	119
P01-BDC2_17-18	68,8	41,5	324	136	<15,0	146
P01-BDC2_21-22	71,9	41,2	361	150	<15,0	125

P01-BDC2_26-27	71,7	177	219	131	<15,0	115
P01-BDC2_27-28	75,3	62,5	333	129	<15,0	121
P01-BDC2_30-31	75,0	66,3	361	154	<15,0	134
P01-BDC2_42-43	76,0	54,5	308	126	<15,0	126
P01-BDC2_44-45	74,3	52,2	296	123	<15,0	126
P01-BDC2_54-55	67,7	51,2	340	141	<15,0	139
P01-BDC2_64-65	67,2	278	348	135	<15,0	137
P01-BDC2_71-72	71,5	53,7	427	140	<15,0	135

Dado que la concentración de plomo es menor que el límite de cuantificación, esta variable no se graficó. La sección 9-10 presentó una concentración de Cr menor que el límite de cuantificación.

De la Figura 36 y Figura 37 se resalta:

- El Cu y el Zn mostraron un aumento de la concentración con la profundidad hasta la sección 17-18, a partir del cual se dio un comportamiento constante con una leve disminución en la concentración. Este comportamiento es inverso al del perfil del <sup>210</sup>Pb, lo que indica que el cambio en la hidrología y régimen sedimentológico del sistema hace que al disminuir las tasas de sedimentación aumenten la concentración de Cu y Zn, en profundidad.
- La concentración de Cr presentó dos picos importantes en el aumento de la concentración de este metal con la profundidad. También se observa un pico de disminución con una concentración de Cr menor al límite de cuantificación de la técnica analítica empleada en LABCAM, esto ocurre según el modelo de edad, entre las décadas de 1960 y 1980 con un aumento hasta el 2019.
- El Hg presentó un perfil muy variable con picos de aumento y disminución de la concentración entre el centímetro 21-22 y el fondo (cm 71-72). La sección más superficial muestra la concentración más alta del perfil. La parte del núcleo que pudo ser fechada evidencia que desde 1960 hasta el 2010 la concentración disminuía y desde el 2010 empieza a aumentar hasta alcanzar el valor de concentración más alto en 2019.
- El perfil de Mn evidenció dos secciones en las cuales la concentración del metal disminuyó notablemente, la primera reducción se registró entre 1960 y 1980, periodo en el cual se observó la disminución en las concentraciones de Cr. Y la segunda disminución se registró en la sección 26-27, la cual ocurrió antes de 1888, según el modelo de edad obtenido.

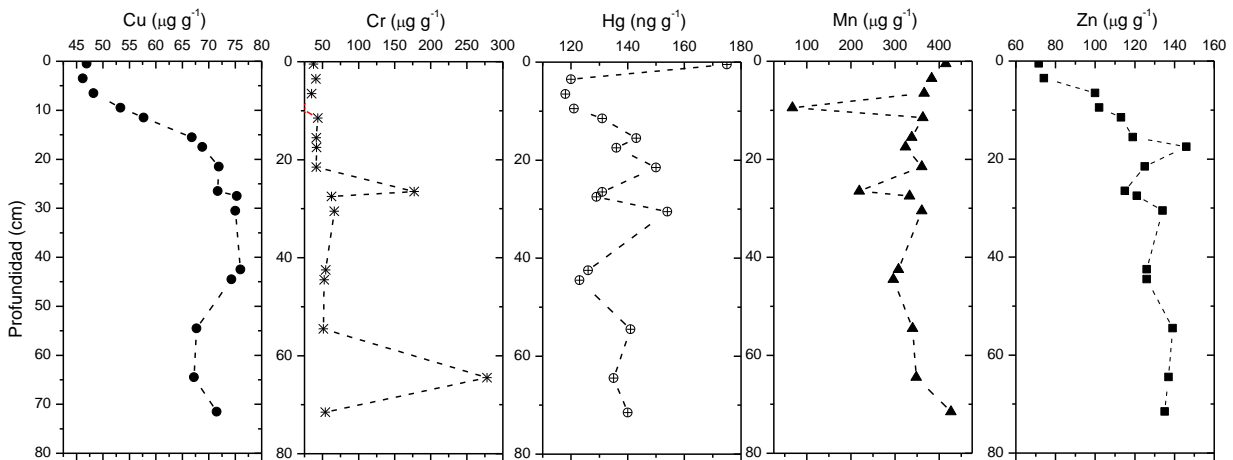


Figura 36. Variaciones temporales de la concentración de Cu, Cr, Hg, Mn y Zn en el núcleo sedimentario P01-BDC2 con respecto al perfil de profundidad

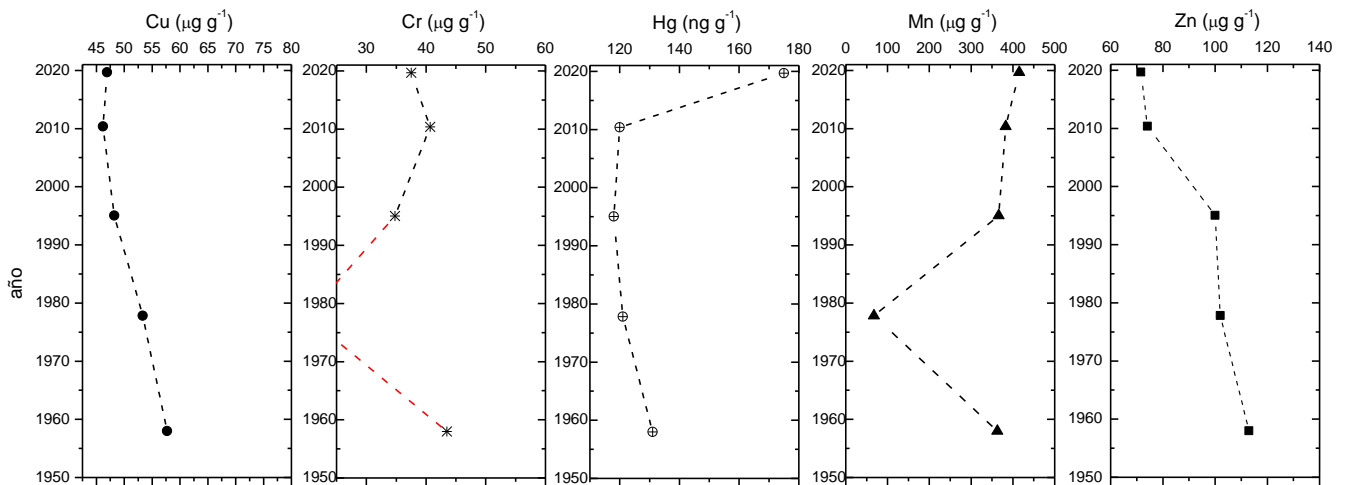


Figura 37. Variaciones temporales de la concentración de Cu, Cr, Hg, Mn y Zn en el núcleo sedimentario P01-BDC con respecto al perfil de edad.

## 2 Conclusiones

Los resultados de metales e hidrocarburos en núcleos de sedimento recolectados con “Piston core” en estaciones del bloque Fuerte Norte, confirmaron que es viable realizar su análisis en muestras previamente preservadas con formaldehído, y se convierten en una oportunidad de país para continuar construyendo una línea base de variables químicas de interés en los bloques de exploración offshore en Colombia.

En las estaciones 047, 048A, 052A, 055A, y 056A, se cuantificaron los metales cobre, cromo, zinc, mercurio, manganeso y hierro. De manera general, el zinc y el mercurio se encontraron en

concentraciones que no representan riesgos para la biota, mientras que el cobre y el cromo pueden representar un riesgo ocasional. En el caso de los hidrocarburos, en ninguna de las estaciones se detectó alguno de los 16 hidrocarburos aromáticos policíclicos que representan riesgo para los organismos. Los hidrocarburos de petróleo equivalentes de criseno y los hidrocarburos alifáticos presentaron bajas concentraciones. El comportamiento de estas variables en las estaciones 047 y 055A fue similar.

El análisis gamma de las muestras “Pistón corer” mostró líneas de emisión de isótopos de la cadena del  $^{238}\text{U}$ , representadas por productos de desintegración del  $^{226}\text{Ra}$ , principalmente el  $^{214}\text{Pb}$  y  $^{214}\text{Bi}$ , así como la línea del  $^{40}\text{K}$ , radionúclidos de origen natural que cuando sean cuantificados pueden dar información relevante acerca del tipo de sedimento, de las emisiones radiactivas naturales propias de cada lugar y de materiales radiactivos de origen natural NORM (por sus siglas en inglés) presentes en sedimentos offshore.

El núcleo sedimentario de la bahía de Cispatá seleccionado para fechar con  $^{210}\text{Pb}$ , fue un registro útil para conocer cambios en las concentraciones de metales en esta zona del Caribe colombiano. Entre la información proporcionada por el núcleo se encontró que las variaciones en las actividades del  $^{210}\text{Pb}$  total en la base del núcleo indican que el sistema de la Bahía de Cispatá, históricamente ha presentado cambios importantes en su régimen sedimentario, cambiando de un sistema estuarino con aportes de sedimentos provenientes de la cuenca del río Sinú, a un sistema de características más marinas. Estos cambios se ven representados por el aumento y disminución de las actividades en la del núcleo base que dificultaron la determinación del Plomo soportado.

Las concentraciones de los metales Cu y Zn mostraron perfiles con comportamientos inversos a los del  $^{210}\text{Pb}$ , con una disminución temporal de la concentración a medida que las tasas de sedimentación aumentaron. Esto se podría explicar con el cambio de tipo de sedimento que se está depositando recientemente después del cambio de la bahía al pasar de un sistema estuarino a un sistema marino.

## 2.1 Bibliografía

Arrieta E. Y. y B. A. Velásquez. 2005. Proceso de ocupación espacial y transformaciones socioeconómicas y ambientales en los municipios de San Bernardo del Viento y San Antero debido al cambio de la desembocadura del río Sinú. Trabajo de grado. Programa de geografía, Universidad de Córdoba. Montería. 81 p.

APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association) y WEF (Water Environment Federation). 2017. Standard methods for the examination of water and wastewater. 23 ed. Washington D.C. 1325 p.

- Buchman, M. 2008. NOAA Screening Quick Reference Tables, NOAA OR&R Report 08-1. Office of Response and Restoration Division, National Oceanic and Atmospheric Administration. Seattle, 34 p.
- EPA - Environmental Protection Agency. 1996. Método 3052 Digestión ácida asistida por microondas de matrices sílices y orgánicas. Washington, DC, U.S. 20 p. <http://www.epa.gov.co>
- EPA - Environmental Protection Agency. 1996 a. Método 3540 C Extracción Soxhlet. Washington, DC, U.S. 8 p. <http://www.epa.gov.co>
- EPA - Environmental Protection Agency. 1996 b. Método 3630C Limpieza con sílica gel. Washington, DC, U.S. 15 p. <http://www.epa.gov.co>
- EPA - Environmental Protection Agency. 2007. Método 7473 Mercurio en sólidos y solución por descomposición térmica, amalgamación y espectrometría de absorción atómica. Washington, DC, U.S. 15 p. <http://www.epa.gov.co>
- EPA - Environmental Protection Agency. 2017. Método 8270E Compuestos orgánicos semivolátiles por cromatografía de gases/espectrometría de masas. Washington, DC, U.S. 63 p. <http://www.epa.gov.co>
- INVEMAR. 2019. Análisis de la calidad de sedimentos de núcleos de “Piston corer” custodiados por el INVEMAR, que han sido recolectados en el marco de investigaciones de hidrocarburos offshore e integrarlas al sistema de información de línea base asociada a cada uno de los bloques. Contrato FUCOLDE TDSE-SCTO-46-454-08-19 - INVEMAR. Santa Marta. Informe Técnico Final - ITF PRY-CAM-015-19. 37 p. + Anexos.
- INVEMAR – Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés”. 2019 b. Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras en el Caribe y Pacífico colombianos. Luisa F. Espinosa y Ostin Garcés (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 2018. Serie de Publicaciones Periódicas No. 4 del INVEMAR, Santa Marta. 212 p.
- Massoud, M., F. Al-Abdali and A. Al-Ghadban. 1998. The status of oil pollution in the Arabian Gulf by the end of 1993. Environment International. 24(1/2): 11-22. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(97\)00117-7](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(97)00117-7)
- Quirós, J.A. y J. E. Arias. 2013. Taxocenosis de moluscos y crustáceos en raíces de Rhizophora mangle (Rhizophoraceae) en la bahía de Cispatá, Córdoba, Colombia. Acta Biológica Colombiana. Vol. 18 (2), 329 – 340 p.

Sanchez-Cabeza, J.A. y A.C. Ruiz-Fernández. 2012.  $^{210}\text{Pb}$  sediment radiochronology: An Integrated formulation and classification of dating models. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 82, 183–200 p.

### **III. TEMATICA 3. APOYO A LA REESTRUCTURACIÓN DE PROCESOS DE LICENCIAMIENTO AMBIENTAL COSTA AFUERA**

#### **1 Apoyo a la reestructuración de los Términos de Referencia, para la actividad de perforación exploratoria costa afuera**

*Maryela Paola Bolaño Lara, Maria Isabel Aguilar y Martha Patricia Vides*

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el desarrollo de esta temática a saber:

Brindar apoyo a la reestructuración de los Términos de Referencia, para la actividad de perforación exploratoria costa afuera, desde la perspectiva de la pertinencia de las variables e insumos de información ambiental requerida para la caracterización del área de influencia, en lo que se refiere a los medios abiótico, biótico y socioeconómico (pesquero) y de servicios ecosistémicos.

- Taller virtual de socialización de resultados de la Síntesis Diagnóstica del Proyecto INTEGRACIÓN, ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE INFORMACIÓN DE LÍNEA BASE AMBIENTAL DE LA CUENCA CARIBE COMO APOYO A NUEVAS A FRONTERAS DEL DESARROLLO DEL SECTOR DE HIDROCARBUROS COSTA AFUERA. Convenio Interadministrativo No. 399 de 2019 INVEMAR – ANH, con funcionarios y profesionales de las diferentes dependencias del ANLA, el MADS y la ANH con inherencia en el tema.
- Mesas técnicas de trabajo virtuales, abordando los componentes de caracterización establecidos en el TdR (abiótico, biótico y socioeconómico (pesquero) y de servicios ecosistémicos)

#### **1.1 Problema y su justificación**

En el año 2016 fueron emitidos por parte del Ministerio de ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente) en función de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), los “Términos de referencia para la elaboración del estudio de Impacto ambiental – EIA en proyectos de perforación exploratoria de hidrocarburos Costa afuera” (en adelante TdR), para los proyectos en el espacio marítimo del estado colombiano, que requieran de licencia ambiental de acuerdo con el Decreto 1076 de 2015 o aquel que lo modifique, sustituya o derogue.

Como allí se indica, estos términos son de carácter genérico y en consecuencia deben ser adaptados a la magnitud y particularidades de la actividad, así como a las características

ambientales regionales y locales en donde se pretende desarrollar<sup>1</sup>. Es así como, a partir de los mismos, se han elaborado los TdR particulares para las empresas interesadas en dicha actividad en el espacio oceánico colombiano.

Por su parte en el 2018, el MinAmbiente y la ANLA publicaron la actualización de la “Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales” (en adelante MGEPEA). Dicha metodología, pretende constituirse, como se indica textualmente en la misma, en “un conjunto de instrucciones ordenadas y jerarquizadas que facilitan a quien está interesado en desarrollar un proyecto, obra o actividad sujeto de licenciamiento ambiental, el proceso elaboración y presentación de los estudios ambientales que exige la normativa colombiana; estas instrucciones, que se complementan con las indicadas en los TdR, aseguran que los estudios ambientales contengan la información suficiente y necesaria para que las autoridades ambientales tomen decisiones frente al desarrollo de los proyectos con total transparencia, eficiencia y objetividad”<sup>2</sup>. Los estudios ambientales que deben presentarse bajo esta metodología son el Diagnóstico Ambiental de Alternativas (DAA), el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) y el Plan de Manejo Ambiental (PMA).

En la última década se ha incrementado el interés en la prospección gasífera y petrolífera costa afuera, creando expectativas para el aprovechamiento de nuevos yacimientos minerales situados en zonas poco accesibles del mar Caribe colombiano, comprendidas entre el Mar Territorial (12 millas náuticas) y la Zona Económica Exclusiva (200 millas náuticas). Hoy en día, bajo el nuevo esquema de Proceso Permanente de Asignación de Áreas (PPAA) en el mapa de áreas, se identifican 14 bloques costa afuera, cinco en clasificación reservada, cuatro bajo evaluación técnica y cinco en clasificación disponible, de los cuales dos son considerados como estratégicos a futuro (GUA OFF 10 y SIN OFF 9) (ANH, 2019). En dicho mapa, se publican las áreas disponibles sobre las cuales las compañías interesadas podrán realizar solicitudes de incorporación de áreas para el próximo proceso de selección de contratistas de actividades de exploración y producción de hidrocarburos (ANH, 2019). En la actualidad, algunas de las principales empresas del mercado *offshore*, como REPSOL, SHELL, ANADARKO, PETROBRAS, NOBLE, entre otras, hacen parte de las interesadas en este nuevo intento por explorar el mar abierto en Colombia.

Bajo este panorama y teniendo en consideración que la información juega un papel fundamental en el proceso de licenciamiento ambiental pues ella soporta la toma de decisiones, y por lo tanto, constituye uno de los elementos centrales que se abordan en los estudios ambientales (MGEPEA, 2018), la Agencia Nacional de Hidrocarburos en alianza con el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andreis” – INVEMAR han venido realizando un levantamiento de información ambiental a lo largo del territorio marino a través

---

<sup>1</sup> Términos de referencia para la elaboración del estudio de Impacto ambiental – EIA en proyectos de perforación exploratoria de hidrocarburos Costa afuera. MADS-ANLA. 2016.

<sup>2</sup> Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales. MADS-ANLA. 2018.

del Programa para el levantamiento de línea base ambiental de nuevas fronteras de desarrollo del sector de hidrocarburos. A la fecha, se han adelantado 16 Convenios de Cooperación interinstitucional, 15 de los cuales se han realizado sobre 12 áreas a lo largo del Caribe (2007-2018) y el ejecutado en el año 2019 (Convenio 399-19).

Este último proyecto, empleando la información levantada a lo largo de la Cuenca caribe por ANH-INVEMAR y en articulación con estudios ambientales realizados en el marco del licenciamiento ambiental costa afuera por empresas privadas (disponibles en la ANLA), se enfocó en aunar esfuerzos técnicos, financieros, jurídicos y administrativos para la realización de un diagnóstico ambiental regional, como insumo para la planeación de actividades y la revisión de los instrumentos de gestión del licenciamiento ambiental, con miras a fortalecer su marco de desempeño ambiental (Vides y Alonso, 2019).

Como resultado de este primer ejercicio de revisión, se hizo evidente la necesidad de realizar ajustes a los instrumentos de gestión del licenciamiento ambiental para proyectos costa afuera, como apoyo técnico a la ANLA, que es la autoridad a cargo de dicha revisión. Con este propósito se desarrolló la presente temática, enfocando inicialmente el interés en lo que concierne a lo requerido para la caracterización ambiental del área de influencia en los TdR y MGEPEA. Esto de manera que la información solicitada para las variables o aspectos relacionados con los medios abiótico, biótico y socioeconómico (pesquero) y de servicios ecosistémicos, sea lo más pertinente posible y ajustada a esta fase. El proceso de licenciamiento ambiental, fundamentado en la mejor información disponible, constituye una herramienta para asegurar buenas inversiones y la productividad de las mismas<sup>3</sup>.

## 1.2 Metodología utilizada

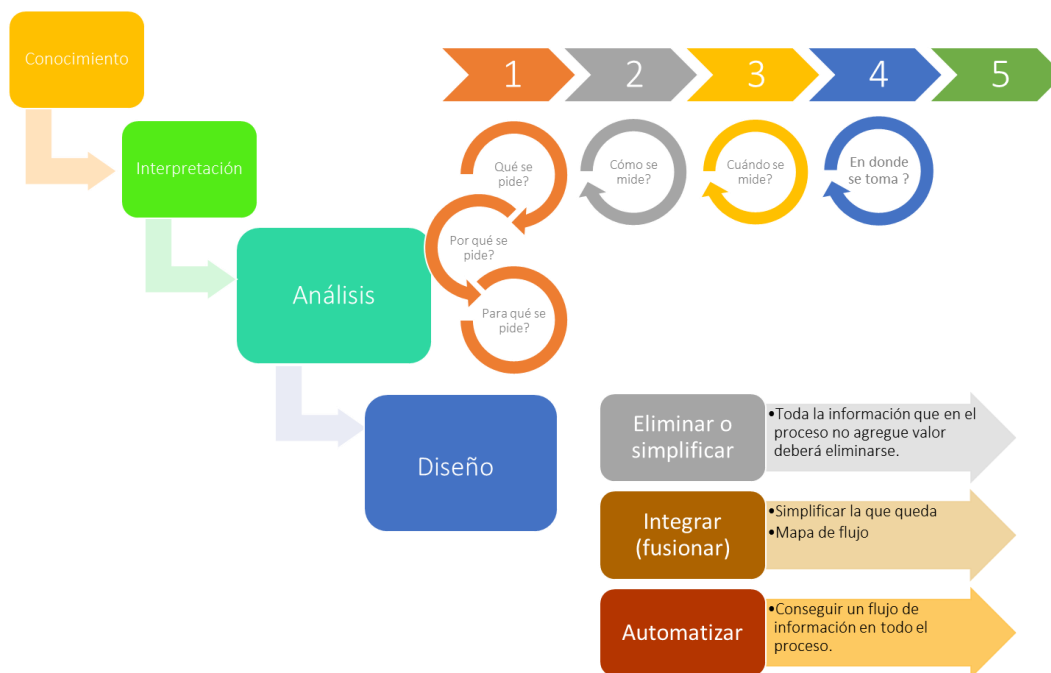
El análisis del TdR de la actividad de perforación costa afuera, se enfocó en establecer la pertinencia de las variables que tradicionalmente se han solicitado en la fase de Caracterización del área de influencia en lo que se refiere a los medios abiótico, biótico y socioeconómico (pesquero) y de servicios ecosistémicos. La Figura 38 resume los pasos seguidos para llevar a cabo esta revisión, usando una modificación de la Metodología para evaluación, diagnóstico y diseño de procesos (Herrera Monterroso, 2007). Sus objetivos específicos representan básicamente los fundamentos de la *Reingeniería* y por medio de ella se pretendía determinar, si las variables e insumos de información ambiental requeridos hasta el momento en los TdR:

- a) Son necesarias
- b) Agregan valor a la EIA.
- c) Pueden solicitarse o adquirirse de otra manera
- d) Están disponibles o su adquisición está al alcance de los tiempos y procesos
- e) Ayudan al logro y consecución de los objetivos del EIA.

---

<sup>3</sup> Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales. MADS-ANLA. 2018.

La metodología se desarrolla en cuatro etapas, las cuales son: Conocimiento, Interpretación, Análisis y Diseño. Las primeras tres etapas fueron abordadas por el equipo de investigadores de INVEMAR a través del desarrollo del Proyecto “INTEGRACIÓN, ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE INFORMACIÓN DE LÍNEA BASE AMBIENTAL DE LA CUENCA CARIBE COMO APOYO A NUEVAS A FRONTERAS DEL DESARROLLO DEL SECTOR DE HIDROCARBUROS COSTA AFUERA” y cuyo informe técnico puede ser descargado a través del Portal Ambiental Offshore para el Sector de hidrocarburos / Proyectos / INVEMAR-ANH Diagnostico offshore 2019 <http://anh.invemar.org.co/proyectos>. La cuarta etapa, el diseño, puede adecuarse a algunas de las siguientes soluciones: Eliminar o simplificar, integrar (fusionar) y automatizar.



*Figura 38. Metodología para evaluación, diagnóstico y diseño de procesos (Modificado de Herrera Monterroso, 2007)*

La evaluación y diagnóstico de procesos, permite hacer una revisión de las variables e insumos de información agrupándola de la siguiente manera:

1. Información que actualmente se solicita y se debe seguir incorporando.
2. Información que actualmente se solicita y no se debe seguir solicitando.
3. Información que actualmente no se solicita y se deberían incorporar.

Toda información que no agregue valor deberá eliminarse. Una vez eliminadas tantas variables innecesarias como sea posible, es importante simplificar las que quedan. Los mapas de flujo, se utilizan en esta etapa como oportunidades de integración. La fase de automatización, implica readecuar la estructura de la caracterización del área de influencia, incorporando las características y objetivos de los cambios que se vayan a implementar en los nuevos documentos

de metodología o de TdR frente a la actividad de perforación exploratoria. Esta última etapa no hace parte del desarrollo de esta revisión y solo compete a las autoridades a cargo de elaboración.

Para facilitar esta revisión se preparó una matriz con la información ambiental solicitada por componente y subcomponente, teniendo en consideración los TdR expedidos en los últimos 6 años al igual que la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales” (MGEPEA). En dicha matriz se contrasta la información solicitada para el numeral correspondiente a la Caracterización ambiental, revisando lo requerido en cada uno de los aspectos que se solicitan, e identificando vacíos, similitudes o diferencias entre los mismos. Teniendo en cuenta todos los aspectos requeridos en la caracterización, la información se dividió en la matriz en cuatro componentes generales:

- Abiótico-físico (geología, geomorfología, climatología, oceanografía, entre otros).
- Abiótico-Calidad de aguas y sedimentos (variables fisicoquímicas medidas en aguas y sedimentos marinos).
- Biótico (ecosistemas marino-costeros, ecosistemas estratégicos, sensibles y/o áreas protegidas).
- Aspecto socio-económico (componentes sociales, económicos y culturales, recursos y actividad pesquera artesanal e industrial).

A partir de dicho contraste se realizaron observaciones, comentarios y/o recomendaciones a los instrumentos de gestión, teniendo en cuenta, además, las consideraciones para cada uno de los aspectos mencionados en el Informe Técnico Final ANH-INVEMAR (Vides y Alonso, 2019). Esta matriz fue la base de discusión de la mesa de trabajo virtual desarrollada entre el 9 y el 11 de diciembre del presente año.

Así mismo, se realizó la búsqueda y revisión de información en lo que concierne a los aspectos tenidos en cuenta en la Fase de Caracterización ambiental (Abiótico-Físico, Abiótico-Calidad de aguas y sedimentos y Biótico), en otros países con experiencia en el tema de perforación exploratoria costa afuera. Esto con la finalidad de contrastar lo requerido en estos aspectos en el país con lo solicitado a nivel internacional, de manera que se pudiesen identificar similitudes, diferencias entre éstos o vacíos de información y tener otros referentes que puedan servir de base para la reestructuración a futuro de los instrumentos de gestión en Colombia. Esta información se condensa en una Matriz de Referentes internacionales, e incluye información tenida en cuenta para los EIA en países como: Perú, Ecuador, México, Argentina, Egipto, India, Nueva Zelanda, Guyana, Birmania y Australia y los países signatarios del Convenio Oslo Paris - OSPAR, firmado en el año 1992 , entre los que se encuentran: Bélgica, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Irlanda, Islandia, Luxemburgo, Holanda, Noruega, Portugal, España, Suecia, Suiza, Reino Unido y la Comunidad Europea.

Adicionalmente, se realizó la búsqueda y revisión de la Normativa ambiental referente a la actividad de perforación exploratoria de hidrocarburos en Colombia. La información encontrada se incluye en una Matriz de Normativa ambiental, en la cual se realiza una descripción de 79 herramientas legales entre Acuerdos, Decretos, Artículos de la Constitución Nacional Política de Colombia, Documentos del Consejo Nacional de Política Económica y Social - CONPES, Leyes y Resoluciones.

Finalmente el INVEMAR, en el marco del presente convenio y dentro de su competencia, y respuesta a dar cumplimiento a la generación de *un documento con la propuesta consolidada con el ANLA, para la modificación de los Términos de referencia para la elaboración del EIA de actividades de perforación exploratoria de hidrocarburos costa afuera*, emitió una respuesta a la consulta realizada por la Subdirección de instrumentos, permisos y trámites ambientales de la ANLA – SIPT, sobre el documento borrador del “MANUAL DE LINEAMIENTOS PARA LA ELABORACIÓN DE TÉRMINOS DE REFERENCIA EN ACTIVIDADES DE PERFORACIÓN EXPLORATORIA DE HIDROCARBUROS COSTA AFUERA EN COLOMBIA”. La respuesta de INVEMAR a esta consulta se dividió en dos secciones:

- En la primera se incluyeron recomendaciones referentes a escalas acordes con el área de intervención de la actividad por parte de un proyecto de desarrollo, la cual amplía las bases sobre algunas consideraciones preliminares en todo el contexto de aproximación marino.
- La segunda sección se enfocó en la revisión del documento borrador como tal, en lo que corresponde específicamente al *Numeral 6.2 Caracterización del área de influencia* y resume de forma general el análisis realizado en la matriz de análisis, revisada en la Mesa de trabajo virtual.

## 1.3 Presentación de hallazgos y resultados

### 1.3.1 Taller de Socialización

Mediante el acompañamiento de la Agencia Nacional de Hidrocarburos, se llevó a cabo tanto la preparación como la ejecución del Taller el día 30 de octubre del año en curso, el cual contó con la participación de 38 funcionarios invitados tanto del ANLA, el MADS como del INVEMAR.

En el taller se llevó a cabo la presentación de los hallazgos y resultados del Proyecto. Dicha presentación fue enviada luego a todos los participantes y personas interesadas. Durante el taller se llevaron a cabo tres encuestas de información, percepción e interés, cuyos resultados se resumen a continuación.

Con el fin de conocer el público asistente (32 respuestas), se llevó a cabo la encuesta de la Figura 39, resultando un público variado en conocimiento frente a las temáticas; sin embargo, se observa que la mayoría estaba bien familiarizado o se consideraba experto en la mayoría de los

temas. Un menor porcentaje de conocimiento se presenta frente a temas de gestión socio-ambiental.

1. En relación al sector de hidrocarburos en áreas mar afuera ¿Cual considera usted es su dominio frente a los siguientes temas?

[Más detalles](#)

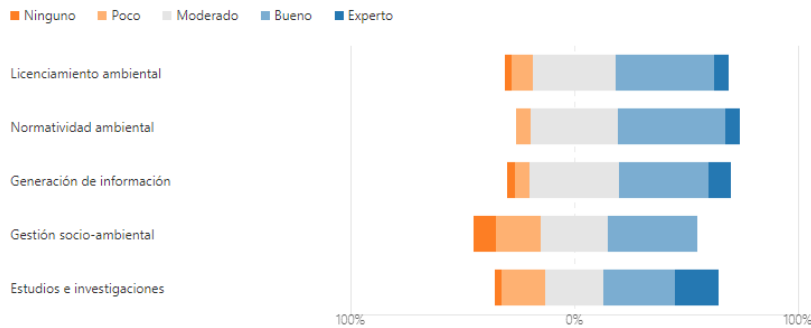


Figura 39. Primera pregunta del formulario GENERALIDADES

Frente al conocimiento de la labor del INVEMAR frente al sector de hidrocarburos costa afuera, un 53% del público participante, manifestó usar o leer de sus servicios al menos una vez al mes. Sin embargo, al menos un 10%, no se encuentra familiarizado con esta función.

2. ¿Qué tan familiarizado está con la función que realiza el INVEMAR frente al sector de hidrocarburos en áreas mar afuera?

[Más detalles](#)



Figura 40. Segunda pregunta del formulario GENERALIDADES

Así mismo, frente a la pregunta de haber accedido al Portal Ambiental Offshore albergado en el dominio de INVEMAR, solo un 34% manifestó haber visitado el sitio, aunque esta instrucción fue dada al momento de la invitación (Figura 41). Basados en esta pregunta, es importante reflexionar para futuros procesos sobre la necesidad de dar a conocer de mejor forma esta herramienta, para que pueda irse fortaleciendo y mejorando para fines de apoyo al sector.

3. ¿Tuvo usted oportunidad de acceder y navegar por el Portal Ambiental Offshore para el Sector de Hidrocarburos previamente a este taller?

[Más detalles](#)

● No.	21
● Si.	11



Figura 41. Tercera pregunta del formulario GENERALIDADES

En la segunda encuesta, realizada justo después de la presentación de información diagnóstica del Proyecto, se obtuvieron los siguientes resultados frente a un total de 25 respuestas obtenidas.

1. Considera usted que los lineamientos para la caracterización en la "Metodología para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales", requieren de ajustes que apoyen el desarrollo del EIA para proyectos, obras o actividades del sector de hidrocarburos bajo licenciamiento costa afuera

[Más detalles](#)

● Si.	24
● No.	1



2. Califique de 1 a 5 (menos a más) las necesidades de información ambiental para la elaboración o evaluación de TdR específicos de EIA costa afuera frente a los siguientes aspectos.

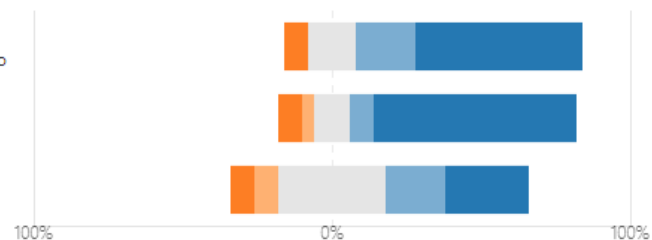
[Más detalles](#)

■ 1 ■ 2 ■ 3 ■ 4 ■ 5

Información de línea base relacionada con las características de los componentes del medio abiótico

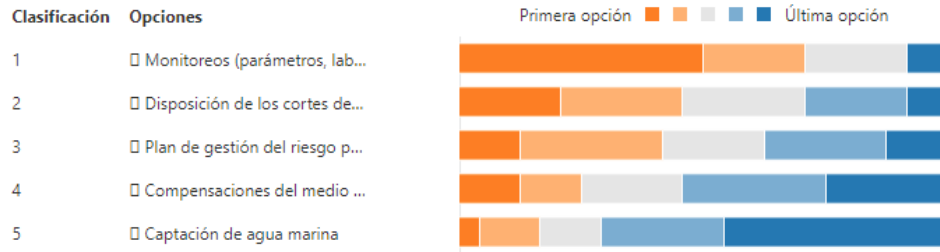
Información de línea base relacionada con las características de los componentes del medio biótico

Información de línea base relacionada con las características de los componentes del medio socio...



3. Ordene en forma descendente (primero al último) las prioridades de información necesarias para suplir los vacíos regulatorios para la elaboración o evaluación de TdR específicos de EIA costa afuera, frente a:

[Más detalles](#)



*Figura 42. Resultados obtenidos frente al formulario INFORMACIÓN AMBIENTAL*

Basados en los resultados (Figura 42), se observa que un 96% de los participantes, considera se deben hacer ajustes a la Metodología para la elaboración y ajustes de EIA costa afuera. Así mismo, se considera que las necesidades de información son prioritarias (valoradas con 5/5) para los componentes abiótico (56%) y biótico (68%), frente a las características del componente socioeconómico (28%).

Frente a las prioridades de información requeridas para suplir los vacíos regulatorios para la elaboración o evaluación de TdR específicos costa afuera, se evidenció mediante las respuestas que dicha prioridad se encuentra frente los monitoreos, en especial frente a los parámetros de laboratorios certificados. En segunda medida, se percibe una prioridad de información para suplir los requerimientos frente a la disposición de cortes de perforación, seguidos por planes de gestión de riesgos.

Finalmente, en el último cuestionario se manifestó un interés por parte de 19 personas de ser partícipes de las mesas de trabajo subsiguientes. Estas serán convocadas y harán parte del trabajo de análisis y depuración de la información colectada frente a este tema, la cual se resume a continuación.

### *1.3.2 Información disponible relacionada con el licenciamiento ambiental.*

Inicialmente, se realizó la recopilación y verificación de información disponible relacionada con el licenciamiento ambiental para la perforación exploratoria costa afuera en Colombia. Con este fin se realizó la consulta en las páginas oficiales de la ANLA y el MinAmbiente. Los documentos revisados para este Informe de avance incluyeron:

- Los TdR generales emitidos en el 2016.
- TdR específicos para los proyectos de perforación exploratoria de hidrocarburos costa afuera bloques COL-1, COL-2, COL-6 Y COL-7, emitidos en 2016.

- TdR específicos para el proyecto de perforación exploratoria de hidrocarburos costa afuera bloque-RC-12, emitidos en 2019.
- Actualización de la MGEPEA, emitida en 2018.

A partir del estudio de estos documentos, se realizó una matriz en Excel contrastando la información solicitada para el numeral correspondiente a la Caracterización ambiental, revisando lo requerido en cada uno de los aspectos que se solicitan, e identificando vacíos, similitudes o diferencias entre los mismos (ANEXO 1). A partir de esta primera aproximación se realizaron observaciones, comentarios y/o recomendaciones a dichos instrumentos de gestión.

Teniendo en cuenta todos los aspectos requeridos en la caracterización, para realizar la matriz se consideró dividir la información en tres componentes generales:

- ✓ Abiótico-físico (geología, geomorfología, climatología, oceanografía, entre otros).
- ✓ Abiótico-Calidad de aguas y sedimentos (variables fisicoquímicas medidas en aguas y sedimentos marinos).
- ✓ Biótico (ecosistemas marino-costeros, ecosistemas estratégicos, sensibles y/o áreas protegidas).

Adicionalmente, se tuvo en consideración para la construcción de la matriz, lo incluido en cada uno de estos aspectos, en el Informe Técnico Final del Convenio Interadministrativo No. 399 de 2019 ANH-INVEMAR (Vides y Alonso, 2019), para el cual se realizó un primer ejercicio de revisión de los TdR y la MGEPEA, en el marco del licenciamiento ambiental de los proyectos de perforación exploratoria de hidrocarburos costa afuera.

### *1.3.3 Mesa de trabajo virtual*

Dando continuidad a la revisión de los instrumentos de gestión como apoyo al MinAmbiente y a la ANLA, para la reestructuración de los TdR para la actividad de perforación exploratoria costa afuera, el equipo de investigación del Programa de Biodiversidad y Ecosistemas Marinos del INVEMAR, llevó a cabo la preparación y ejecución de una *Mesa de Trabajo virtual TDR PERFORACIÓN EXPLORATORIA COSTA AFUERA / INVEMAR-ANH*, entre el 9 y 11 de diciembre del presente año, la cual contó con la participación de 22 funcionarios invitados del ANLA, el MinAmbiente, el Ministerio de Minas y Energía – MinEnergía y del INVEMAR

Los dos primeros días (9 y 10 de diciembre), la mesa se trabajó de forma asincrónica mediante la revisión de material de análisis e insumo colectado por el equipo de trabajo del INVEMAR en la evaluación retrospectiva del *Programa para el levantamiento de línea base ambiental de nuevas fronteras de desarrollo del sector de hidrocarburos (2007-2018)*. El material enviado a los participantes, consistió en la Matriz de análisis resultado de la revisión de los instrumentos de gestión (ANEXO 2 - Análisis), y una Nota conceptual donde se incluyó la metodología de la mesa y se explicó el contenido de la matriz. El último día (11 de diciembre), se llevó a cabo una

reunión de trabajo de forma simultánea, con el fin de discutir los aspectos que se consideraran relevantes frente a las propuestas presentadas en la misma.

La información se dividió en la matriz, considerando las primeras fases del ciclo de vida de la actividad, en cuatro componentes generales:

- Estudio ambiental estratégico (Línea base ambiental).
- Sísmica marina.
- Estudio de impacto ambiental (Línea base de un proyecto, obra o actividad y Monitoreo antes, durante y después de la perforación exploratoria).

Si bien el análisis se centró en la pertinencia de variables e insumos de información ambiental requerida para la caracterización del área de estudio del medio abiótico, medio biótico, medio socioeconómico, se incorporan elementos de análisis en el ciclo de vida de la actividad de hidrocarburos costa afuera, que incluye de forma general cuatro periodos: un periodo de exploración, un periodo de desarrollo, un periodo de producción y un período de cierre. Cada uno de estos periodos cuenta con escalas tanto espaciales de intervención como temporales de ejecución.

La Figura 43 muestra los diferentes tiempos que la nueva minuta contractual de la ANH contempla para cada uno de estos periodos<sup>4</sup>.

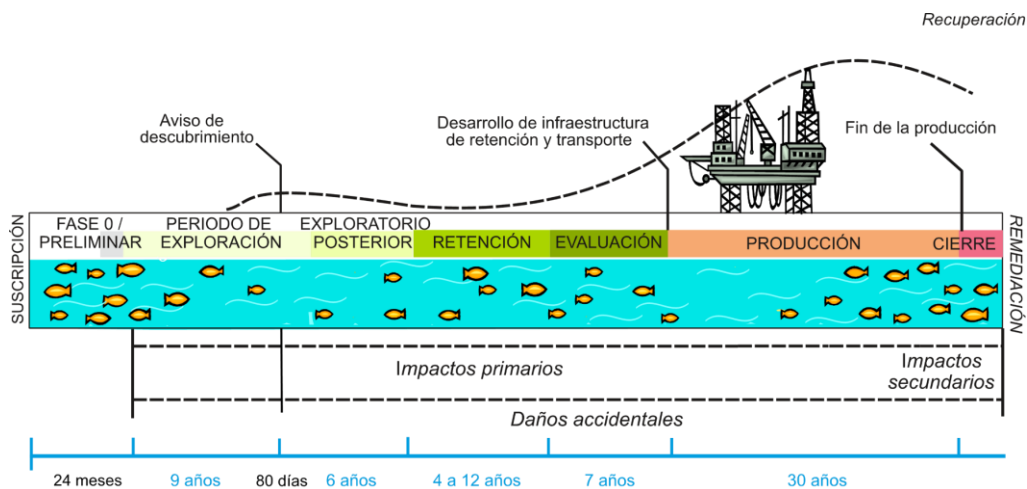


Figura 43. Periodos del ciclo de vida de la actividad de hidrocarburos costa afuera dados por la minuta contractual.

Cada uno de estos periodos contempla problemas ambientales clave, los cuales deben ser abordados a partir de datos, información e indicadores apropiados para ser medidos y poder ser manejados. En el primer periodo del ciclo de vida, se lleva a cabo la adquisición sísmica, la perforación exploratoria, las pruebas de pozo y el cierre del mismo. En este periodo se deben

<sup>4</sup> Fuente: Vicepresidencia de contratos de hidrocarburos - Gerencia a seguimiento de contratos de exploración -ANH. Presentación ppt desarrollo contractual contratos costa afuera, 13 de junio de 2019

contemplar elementos ambientales clave como la sensibilidad del área, la vulnerabilidad de los recursos, periodos de vida sensibles para algunas comunidades, el manejo de los cortes de perforación, las emisiones al aire y la prevención de derrames y la planeación de contingencias.







La operación en cada periodo del ciclo de vida, se rige bajo principios internacionalmente reconocidos de implementación de mejores técnicas disponibles o BAT (Best Available Techniques) orientados hacia mejorar el desempeño ambiental de la actividad bajo cuatro aspectos claves: la reducción de emisiones en el aire, la reducción de descargas al mar, un incremento en la eficiencia energética de los procesos y en una reducción de riesgos ambientales. Estos aspectos determinan las necesidades de variables e insumos de información ambiental requerida para la caracterización, posterior análisis de riesgos, zonificación ambiental e identificación de impactos.

Los insumos de información que aportan a cada periodo del ciclo de vida de la actividad de hidrocarburos costa afuera se analizan en dependencia de la escala espacial a la cual hacen referencia y de los impactos ambientales que requieren ser analizados. La Tabla 23 condensa de forma general las escalas utilizadas como referente, donde se determinan 6 diferentes escalas predefinidas y de uso de las cartas náuticas, su equivalencia de un milímetro lineal y un milímetro cuadrado en la representación (mapa), las características de hábitat marino representadas en cada una, los procesos que esta representación describe, su propósito, precisión y resolución, al igual que métodos de campo generales posibles para la recolección de la información ambiental en cada una de estas escalas.

La operación de perforación puede impactar áreas particularmente sensibles o periodos de vida de comunidades bentónicas sensibles, a través de la reducción de la calidad del agua, la sedimentación y efectos sofocantes en la fauna inmóvil. Durante la prueba de pozo se puede ver afectada la calidad del aire, aportar a la generación de lluvia ácida, presentarse posibles derrames por hidrocarburos no quemados. Un buen cierre de pozo es necesario para disminuir las filtraciones a corto y a largo plazo de químicos utilizados durante la perforación (Steinar & Covarrubias, 2019).

En forma particular, el área expuesta a los efectos potenciales de la actividad exploratoria sobre el fondo marino dependerá en principio del tipo de plataforma utilizada (plataforma, Jack-up, plataforma sumergible, semi-sumergible, barco de perforación) dada la forma en que estas estructuras se estabilizan sobre el área de perforación, ya sean permanentes, de anclaje por cadenas, de columnas sumergibles (Jack-up) o de posicionamiento dinámico, entre otras. Cada uno de estos sistemas podrá abarcar áreas de afectación de acuerdo al contacto que dichas estructuras tengan con el fondo marino.

Tabla 23. Escalas de aproximación en el levantamiento de información ambiental marina.

ESCALA	CLASE/RANGO 1 mm =(m); 1 mm <sup>2</sup> = (ha o m <sup>2</sup> )	CARACTERÍSTICAS	PROCESOS	PROPÓSITO	PRECISIÓN Y RESOLUCIÓN	ESCALA DE MUESTREO
 1:300.000	>1:250.000 Subregional 250 m: 6.25 ha	Paisajes marinos, áreas de pesca de recursos pelágicos mapas geológicos, grandes accidentes geográficos marinos, deltas, estuarios, mega hábitats.	Modelación con factores físicos que se derivan de múltiples fuentes de información; frecuentemente provienen de diferentes épocas y generalizaciones de los datos originales	Recopilación de información sobre la distribución de hábitats para dar idea de un contexto regional.	Baja resolución y precisión pero con un alto poder explicativo para responder a la toma de decisiones.	Sensores satelitales,
 1:100.000	Local 100 m: 1.0 ha	Meso hábitats, límites de AMP, pequeñas islas, accidentes costeros, clases de hábitats.	Modelos de datos y coberturas de una campaña planificada.	Predicciones a gran escala de la distribución de los diferentes tipos de hábitat.	Predicciones estadísticas derivadas que necesitan de comprobación en campo.	Sensores aéreos
 1:50.000	Local 50 m: 0.25 ha	Meso hábitat, hábitats de fondos sedimentarios, riscales, praderas de fanerógamas, tipo de sustrato.	Interpretación de coberturas incompletas dependientes de la interpolación.	Descripciones indicativas de la distribución de algunos hábitats principales.	Mapas con suficiente precisión espacial para hacer inventarios de línea base para nuevas campañas.	Planeadores submarinos (GLIDERS)
 1:25.000	Local 25 m: 584 m <sup>2</sup>	Meso hábitat, mapeo de hábitats de alta resolución, textura del fondo marino.	Modelación y clasificación de muestreos específicos con una única cobertura.	Descripción detallada de la distribución de hábitats en un rango particular.	Mapas con precisión entre moderada y alta con un buen poder de predicción.	Ecosondas Sonar de barrido lateral Vehículos de operación remota - ROV- Cámaras deriva
 1:15.000	Sitio 10 m: 100 m <sup>2</sup>	Meso hábitat, mapeo de hábitats de alta resolución, textura del fondo marino.	Muestreos intensivos con técnicas de colecta seleccionadas a partir de la detección de un hábitat específico.	Mapas estadísticamente robustos que definen los límites del hábitat.	Muestreos diseñados para ser repetidos mediante comparaciones estadísticas	Muestreos en el sitio mediante buceo o ROV
 1:5.000	Sitio 5 m: 25 m <sup>2</sup>	Micro hábitats- biotopos, comunidades bénticas y mapeo de sitios.				Métodos de muestreo remoto al azar o fijo (núcleos)

Los impactos asociados a cada etapa del desarrollo de la actividad de hidrocarburos costa afuera se resumen en forma general en el siguiente esquema (Figura 44).

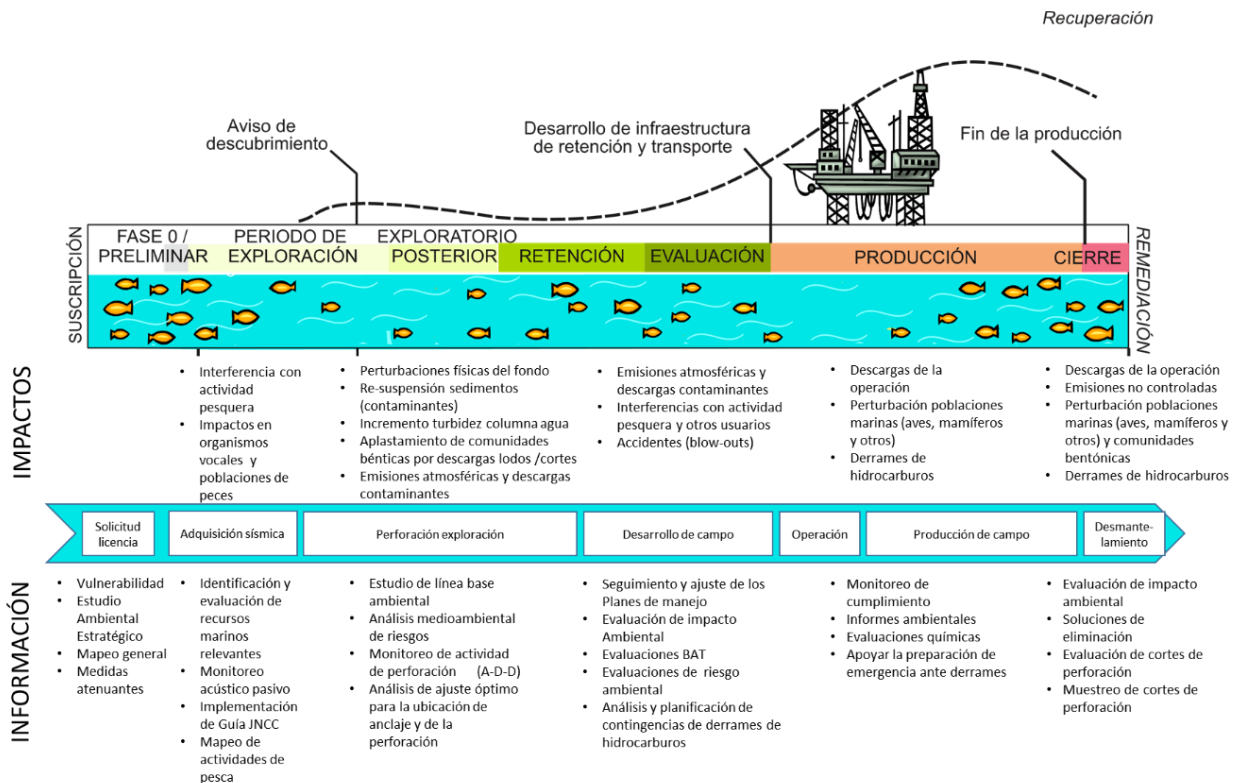


Figura 44. Periodos del ciclo de vida de la actividad de hidrocarburos costa afuera relacionando los impactos y la información requerida.

En la capacidad tecnológica de cada una de estas plataformas de alcanzar cierta profundidad de columna de agua donde iniciar la perforación, se plantea una división inicial de áreas que en la industria de hidrocarburos sigue suscitando mucha ambigüedad en cuanto a su definición, sin embargo, en términos convencionales esta diferenciación hace referencia a las actividades de perforación de pozos exploratorios en mar abierto, considerándose aguas someras a aquellas cuya profundidad es menor a los 500 metros, aguas profundas a profundidades entre 500 y 1 500 metros, y aguas ultraprofundas a aquellas que tengan profundidades mayores a los 1500 metros (Quispe, 2016), estas últimas en su mayoría desconocidas, son un verdadero desafío técnico y científico.

### 1.3.4 Observaciones y consideraciones generales de los TdR para la perforación exploratoria costa afuera.

En el ANEXO 1 de este informe, se presenta la matriz de contraste resultado de la revisión inicial de la información requerida para los tres aspectos considerados en la Caracterización ambiental: Abiótico-Físico, Abiótico Calidad de aguas y sedimentos y Biótico.

Después de realizar esta revisión inicial, contrastando los documentos para el licenciamiento ambiental referenciados, se hace evidente la necesidad de ajustar los requerimientos incluidos en los aspectos involucrados para la caracterización ambiental. Hay aspectos relacionados en los TdR generales y específicos, que no se incluyen en la MGEPEA o viceversa, por lo cual se hace necesario unificar criterios entre los instrumentos de gestión para el licenciamiento, teniendo siempre en consideración la pertinencia de la información solicitada.

A manera general, en el aspecto Abiótico-físico, hay que considerar la unificación en la denominación de los componentes (geológico, geomorfológico, climatológico, etc.) y la información que se solicita para cada uno de ellos, de manera que no dé lugar a confusiones o duplicación de la información. Igualmente, si las escalas requeridas para los mapas o representaciones gráficas, es la adecuada para el ambiente oceánico y el tipo de información que se solicita.

En el aspecto Abiótico-Calidad de aguas y sedimentos, definir con claridad la periodicidad del muestreo. Para agua marina, se requiere evaluar la pertinencia para la medición de los parámetros solicitados y definir cuáles analizar según la ubicación del área de influencia (somera, profunda o ultraprofunda). Con relación a Calidad de sedimentos, teniendo en consideración la importancia de este componente, se hizo evidente durante el contraste entre los documentos, que en la MGEPEA, no hay un aparte específico que haga referencia al mismo y los parámetros a tener en cuenta para su caracterización, especificando las unidades adecuadas a las cuales deben expresarse los resultados de las mediciones, en los sedimentos marinos. Además, para aguas y sedimentos, se debe estandarizar la forma en la que se va a reportar la información de los parámetros medidos (respecto a límites de detección LD, límites de cuantificación LC, puntos no medidos, unidades de medición, profundidades de muestreo, entre otros aspectos).

En el aspecto Biótico, es necesario igualmente definir si la escala solicitada es la adecuada para el tipo de información requerida. Además, tener en consideración la escasa o nula información de línea base de las comunidades biológicas, particularmente en lo que hace referencia a rutas de migración, la inclusión de muchos grupos biológicos en categorías de conservación, etc. Considerando que la MGEPEA se constituye como un instrumento para la definición de los métodos a emplear en el muestreo de las comunidades, definir y describir ampliamente los más apropiados para su representatividad, haciendo las excepciones según la ubicación del área de influencia del proyecto. Determinar la periodicidad del muestreo para las comunidades biológicas y en qué fases de la actividad se requieren.

Teniendo en cuenta estas observaciones y las incluidas en el Informe Técnico Final del Convenio Interadministrativo No. 399 de 2019 ANH-INVEMAR (<http://anh.invemar.org.co/proyectos>; Vides y Alonso, 2019), sobre lo requerido en los TdR para los aspectos: Abiótico-físico (geología, geomorfología, climatología, oceanografía, entre otros); Abiótico-Calidad de aguas y sedimentos (variables fisicoquímicas medidas en aguas y sedimentos marinos); Biótico (ecosistemas marino-costeros, ecosistemas estratégicos, sensibles y/o áreas protegidas) y Aspecto socio-económico

(componentes sociales, económicos y culturales, recursos y actividad pesquera artesanal e industrial), en el ANEXO 2 – Análisis, se encuentra listada la información que se sugiere por parte de INVERMAR sea considerada para cada uno de estos aspectos.

Es importante mencionar que, para llegar a la identificación de lo referido en el Anexo 2-Análisis, se tuvo en cuenta la pertinencia de los parámetros de acuerdo a las profundidades definidas, mencionadas anteriormente: Aguas someras (< 500 metros), Aguas profundas (500 y 1 500 metros) y Aguas ultraprofundas (>1500 metros; ver Numeral), además del levantamiento de información previo a la caracterización.

Con relación a esto último, los estudios de línea base ambiental, constituyen muchas veces el punto de partida para reducir la incertidumbre frente a las decisiones de gestión y administración que las zonas sujetas a intervención requieren. Los estudios de línea base ambiental, pueden surgir también de la necesidad de reducir la incertidumbre frente a las decisiones de gestión y administración integral de áreas de reserva o recursos de propiedad de la Nación. Este tipo de estudios en dependencia de la información ambiental a que haga referencia, pueden establecerse como una Evaluación ambiental estratégica (Strategic environmental assessment - SEA), las cuales se realizan previa a cualquier actividad, siguiendo las mejores prácticas ambientales, bajo un buen conocimiento del entorno natural local y regional y en particular, buscando identificar áreas sensibles que pudieran verse afectadas por un nuevo desarrollo de la industria. Se elaboran teniendo como referente políticas basadas en la sostenibilidad, los planes de desarrollo, un enfoque ecosistémico, bajo decisiones basadas en el conocimiento y con un componente de previsibilidad y por ende de incertidumbre, que obliga a tomar un principio precautorio frente a las recomendaciones dadas en el mismo. Es en este nivel donde se sugiere se realice un levantamiento de información lo suficientemente robusto a escala regional (ANEXO 2 - Análisis).

Igualmente, la información referida a incluirse en la fase de Sísmica marina, se tiene en cuenta a escala regional y se incluyeron los parámetros bajo la premisa de los impactos reconocidos para dicha actividad (ANEXO 2 - Análisis).

Por su parte para lo sugerido en la fase del Estudio de impacto ambiental (Línea base de un proyecto, obra o actividad y Monitoreo antes, durante y después de la perforación exploratoria) (ANEXO 2 - Análisis), se consideró que la línea base de un proyecto suele tener un carácter cuantitativo y concierne a un escenario específico en el espacio y en el tiempo (escala local, en sitio), requiriéndose conocer el valor de los indicadores seleccionados al momento de iniciarse las acciones planificadas, es decir, establece el 'punto de partida' del proyecto o intervención.

Finalmente, es importante mencionar que se tuvo en consideración para la pertinencia de los parámetros requeridos, que mucha de la información requerida en los TdR principalmente para el Aspecto Abiótico-físico ya ha sido levantada a nivel regional por entidades como ECOPETROL, DIMAR, CIOH; por tanto ya existe información secundaria de base, que puede ser empleada

como referencia en el marco del licenciamiento ambiental por las empresas interesadas en la actividad de perforación de hidrocarburos costa afuera.

### *1.3.5 Referentes internacionales para el levantamiento de información ambiental en el marco de la perforación exploratoria de hidrocarburos costa afuera*

El contraste entre la información requerida en el país para los aspectos abióticos (físico y calidad de aguas y sedimentos) y bióticos se encuentra en el ANEXO 3. Los países contrastados con Colombia incluyeron Ecuador, Perú, México, Guyana, Irlanda, Birmania, India, Egipto, Australia y los países signatarios del Convenio OSPAR (ANEXO 3). Esto último hace referencia al mecanismo mediante el cual 15 gobiernos y la Unión Europea (UE) cooperan para proteger el medio marino del Atlántico nororiental. Este convenio comenzó en 1972 con la Convención de Oslo contra el vertimiento y se amplió para cubrir las fuentes terrestres de contaminación marina y la industria costa afuera por el Convenio de París de 1974. Estos dos convenios fueron unificados, actualizados y extendidos por el Convenio OSPAR de 1992, OSPAR se llama así debido a las Convenciones originales de Oslo y París ("OS" para Oslo y "PAR" para París). El nuevo anexo sobre biodiversidad y ecosistemas fue adoptado en 1998 para cubrir las actividades humanas no contaminantes que pueden afectar negativamente al mar. Los quince países signatarios son: Bélgica, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Islandia, Irlanda, Luxemburgo, Países Bajos, Noruega, Portugal, España, Suecia, Suiza y Reino Unido.

En la revisión de la información, se identificaron 84 parámetros tenidos en cuenta para la determinación de la calidad de agua, en el marco de la actividad de perforación exploratoria de hidrocarburos costa afuera, los cuales fueron clasificados en: Biológicos (1), Contaminantes Orgánicos (11), Físicoquímicos (22), Gases Contaminantes (1), Indicadores Biológicos (4), Metales Pesados (22), Nutrientes Inorgánicos (11), Orgánicos (4), Organoclorados (3) y Radionucleidos (5). Colombia, es el país donde se requieren la mayoría de estos parámetros, solicitándose la medición de 44 en total.

Para este aspecto, se denota que hay variación entre los parámetros requeridos para los países consultados. Sin embargo, en la mayoría de éstos (sin contar los países OSPAR), incluyendo Colombia, se requiere la medición de los metales pesados, principalmente Plomo (Pb) y Zinc (Zn), Cadmio (Cd), Mercurio (Mg), Níquel (Ni) y Cromo (Cr). Igualmente, la medición de algunos parámetros físicoquímicos como Oxígeno Disuelto (OD), pH, Temperatura y Sólidos Suspendidos Totales (SST) y los nutrientes inorgánicos Fosfatos y Nitratos (ANEXO 3).

Particularmente, los países OSPAR utilizan información secundaria obtenida de estudios previos científicos, académicos y estatales. A su vez, los programas de monitoreo de la columna de agua se dividen en dos partes, ambas utilizando biomarcadores de Estudios ecotoxicológicos. La primera parte incluye mediciones de hidrocarburos seleccionados en especies de peces de importancia comercial (peces silvestres) cada tres años. El muestreo se realiza en un área contaminada y no contaminada. La otra parte estudia el destino y el efecto de las descargas de

agua producidas y utiliza grandes jaulas con mejillón azul y bacalao como organismos de prueba (Series Offshore Industry, 2009).

Por su parte, en la revisión de la información para el análisis de la calidad del sedimento se contaron en total 41 parámetros requeridos entre países, los cuales se clasificaron como: Contaminantes Orgánicos (2), Físicos (6), Metales Pesados (22), Nutrientes Inorgánicos (3) y Orgánicos (8) (ANEXO 3). Colombia (20), después de México (24), es el país donde más se requiere la medición de variables en este aspecto. La categoría de Metales pesados es requerida para todos los países consultados, excepto los pertenecientes al OSPAR. Además, para la mayoría, se solicita el análisis de la Granulometría (Gr), los Hidrocarburos aromáticos polinucleares o policíclicos (HAP) y el Carbono orgánico total (COT). En general, se mantienen en su mayoría, con algunas excepciones, el análisis de los mismos parámetros para el sedimento.

Considerando lo anterior, con relación a la cantidad de parámetros requeridos en Colombia, recobra importancia la revisión en la inclusión de los mismos, como se ha venido realizando en el marco del Convenio Interadministrativo No. 399 de 2019 ANH-INVEMAR (Vides y Alonso, 2019) y el presente convenio, haciéndose referencia a cuáles parámetros es pertinente requerir en los instrumentos para el licenciamiento ambiental y cuáles deben ser excluidos del levantamiento de información, para este aspecto en particular (ANEXO 2- Análisis).

En referencia al contraste entre países para los componentes analizados en los Aspectos Físicos se consideró la Geología, Geomorfología, Geotecnia, Paisaje, Suelos y usos de la tierra, Climatología, Oceanografía, Hidrodinámica, Acústica Marina, Geoamenazas, Atmosférico y Sismicidad (ANEXO 3). Todos los países, incluyendo los países OSPAR convergieron en el parámetro Atmosférico, destacándose la Calidad del aire y el Ruido como los factores más examinados. Por lo general en el Ruido se evalúa la Magnitud del Impacto (M) y dentro de éste: Signo, Intensidad, Extensión, Momento, Persistencia, Reversibilidad, Sinergia, Acumulación, Efecto, Periodicidad y Recuperabilidad. En cuanto a la Calidad del aire los aspectos meteorológicos como velocidad y dirección del viento, lluvia o radiación solar, entre otros son los más evaluados al igual que contaminantes como Arsénico (As), CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, Plomo (Pb) o Mercurio (Hg). Los componentes requeridos, coinciden en su mayoría para Colombia y Perú. Sin embargo, en el país se solicitan muchos más subcomponentes y/o parámetros en este aspecto para la caracterización. Para el resto de componentes no fue posible encontrar información para la mayoría de países (ANEXO 3).

Por su parte, en lo que se refiere al Aspecto Biótico, para los países consultados se incluyen en la mayoría el estudio del Zooplancton, Fitoplancton, Macrofauna, Especies Protegidas (aves, mamíferos) y Recursos Pesqueros. Específicamente en Nueva Zelanda, se solicita el levantamiento de información para la Fauna mesopelágica: Peces Ensamblajes / Especies pelágicas / Especies demersales, Calamares y macrozooplancton. De acuerdo a la información revisada, en casi todos los países solicitan que se debe realizar la evaluación considerando el factor estacional, además de proporcionar notas sobre las características particulares de las

especies, especialmente si pueden ser endémicas (restringidas en su distribución al sitio, sustrato de recursos o región localizada) o si se sabe que son raras o están en peligro de extinción. Particularmente, el contraste entre Colombia y Perú, para los cuales se especifican en los instrumentos de licenciamiento revisados los métodos y análisis a emplear para el estudio de las comunidades, la información requerida es muy similar para las comunidades mencionadas. En este último país, particularmente se mide el impacto en comunidades bentónicas, según resultados del índice de Shannon (compatible, medio, severo, crítico).

Específicamente para los países OSPAR, con relación a las comunidades bentónicas, no se llevan a cabo amplios programas de seguimiento para evaluar los impactos físicos de la colocación de estructuras en el lecho marino. El seguimiento histórico ha demostrado que los impactos son en gran parte transitorios, y que la recolonización de los hábitats de los fondos marinos perturbados se produce en escalas de tiempo relativamente cortas. Las comunidades bentónicas se ven afectadas durante un período de tiempo variable. En áreas de sedimentos blandos, donde la mayoría de las tuberías están excavadas y enterradas, la fauna de fondos blandos vuelve a colonizar en uno o dos años (Series Offshore Industry, 2009).

Los países signatarios de OSPAR, cuentan con una línea base ambiental lo suficientemente robusta, la cual ha sido levantada durante varios años, en lo que hace referencia a las comunidades biológicas mencionadas, por lo cual no se incluye la caracterización de las mismas previa a las actividades de perforación exploratoria y solamente se incluyen en las fases de perforación (durante y después) si se presentara alguna modificación en la planeación realizada en cuanto a la disposición de cortes o si hubiese algún tipo de derrame o vertimiento durante la realización de la actividad.

### *1.3.6 Marco normativo referente a la actividad de hidrocarburos en Colombia*

Ante el creciente interés por la expansión de la industria de hidrocarburos más allá de los suelos firmes introduciéndose al ecosistema marino, las organizaciones internacionales y los países desarrollados y en vía de desarrollo han establecido una serie de normativas y reglamentaciones que establecen con claridad la pertenencia de estas riquezas para su explotación (Moreno, 2017). Además, la creación y/o adopción de herramientas legales para el desarrollo de la actividad de perforación exploratoria de hidrocarburos, incluyendo la parte terrestre y costa afuera. En lo que hace referencia a la legislación marítima en Colombia, el Gobierno nacional ha incorporado algunos instrumentos/herramientas jurídicas consecuentes con principios y conceptos de convenios y acuerdos internacionales, para regular la soberanía de sus mares.

En la revisión de estas herramientas a nivel del país, se encontraron Normas de Rango Constitucional (2), Normas de Rango Legal (15), Desarrollos Reglamentarios a través de Decretos (44), Resoluciones (15), Documentos de Política Pública CONPES (2) y Acuerdos de Cooperación (1); para un total de 79 herramientas legales centradas en todo lo concerniente al ámbito de los hidrocarburos (ANEXO 4).

Básicamente la constitución colombiana exhorta a "*fortalecer la unidad de la Nación y asegurar a sus integrantes la vida, la convivencia, el trabajo, la justicia, la igualdad, el conocimiento, la libertad y la paz, dentro de un marco jurídico, democrático y participativo que garantice un orden político, económico y social justo*". Expresa también, como todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano, donde la ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Además, es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines. Esta misma constitución define que los límites de Colombia son los establecidos en los tratados internacionales aprobados por el Congreso y que el Mar territorial, la Plataforma continental y el Subsuelo, entre otros, son parte de esta Nación.

En cuanto al rango legal se dictan normas sobre Mar territorial, Zona Económica exclusiva y Plataforma continental, expresa los derechos con los que cuenta el estado para la exploración, explotación, conservación y administración de los recursos naturales vivos y no vivos, jurisdicción exclusiva para la investigación científica marina y la preservación del medio marino en la Zona económica Exclusiva, y de explotación y exploración en su Plataforma continental. Se aprueba el "Convenio para la Protección y el Desarrollo del Medio Marino en la Región del Gran Caribe" y el "Protocolo relativo a la cooperación para combatir los derrames de hidrocarburos en la región del Gran Caribe", firmado en Cartagena de Indias el 24 de marzo de 1983.

Es en este rango, es donde se establecen las funciones del MinAmbiente correspondientes a la exigencia de la Licencia ambiental respecto a la explotación, transporte, conducción y depósito de hidrocarburos, a su capacidad de evaluar los estudios ambientales y expedir, negar o suspender la licencia ambiental correspondiente, en los casos que se señalan en la Ley, además de procesos sancionatorios. Así mismo, se aprueba el Convenio Internacional sobre Responsabilidad civil por daños causados por la contaminación de las aguas del mar por hidrocarburos de 1969 y su protocolo de 1976.

Por su parte, en los Desarrollos Reglamentarios a través de Decretos, se crea la ANLA, se reorganiza la Dirección General Marítima - DIMAR y se dictan las medidas del Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, por el cual se disponen normas sobre exploración y explotación de petróleo y gas. Estas actividades de exploración y explotación de hidrocarburos en yacimientos convencionales continentales y costa afuera deberán incluir los estándares y normas técnicas nacionales e internacionales y especialmente las recomendadas por el AGA, API, ASTM, NFPA, NTCICONTEC, RETIE o aquellas que las modifiquen o sustituyan. Son establecidos también, criterios y procedimientos correspondientes a la protección del ambiente marino constituido por las aguas, por el suelo, el subsuelo y el espacio aéreo del Mar territorial y el de la Zona Económica; y por las playas y recursos naturales renovables de la zona.

En esta parte la Legislación colombiana también establece normativas sobre la prevención de la contaminación del medio marino y especifica cómo cualquier actividad que tenga por objeto

explotar recursos marinos, deberá llevarse a cabo en forma que no cause perjuicio o deterioro sobre los demás recursos, ya fuese por agotamiento, degradación o contaminación.

Surge también la figura de la “Licencia Ambiental Global” que sirve para el desarrollo de obras y actividades relacionadas con los proyectos de explotación minera y de hidrocarburos. En este caso, será necesario presentar un Plan de Manejo Ambiental, conforme a los términos, condiciones y obligaciones establecidas en esta licencia. Dicho Plan de Manejo Ambiental no estará sujeto a evaluación previa por parte de la autoridad ambiental competente; por lo que una vez presentado, el interesado podrá iniciar la ejecución de las obras y actividades, que serán objeto de control y seguimiento ambiental. A su vez, nace el Estudio de Impacto Ambiental – EIA, que es el instrumento básico para la toma de decisiones sobre los proyectos, obras o actividades que requieren Licencia ambiental y se exigirá en todos los casos en que de acuerdo con la ley y el presente reglamento se requiera. Este estudio deberá ser elaborado de conformidad con la MGEPEA y con los TdR expedidos para el efecto.

Con esta herramienta legal también se consideran las Contingencias ambientales, incendios, derrames, escapes, parámetros de emisión y/o vertimientos por fuera de los límites permitidos, en donde el titular deberá ejecutar todas las acciones necesarias con el fin de hacer cesar esta contingencia e informar a la autoridad ambiental. Se establece, cómo por ningún motivo, se podrá autorizar el vertimiento al mar de sustancias como Mercurio o compuestos de Mercurio, Cadmio o compuestos de Cadmio, Compuestos químicos halogenados, Materiales en cualquiera de los estados sólidos, líquidos, gaseosos o seres vivientes, producidos para la guerra química y/o biológica y cualquier otra sustancia o forma de energía que a juicio de la DIMAR no se deba verter al mar por su alto poder contaminante.

Por su parte, en las Resoluciones se adopta la MGEPEA, así como se establecen los criterios técnicos para proyectos de perforación exploratoria de hidrocarburos costa afuera en Colombia y los TdR para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental. En éstas también se modifica y actualiza el modelo de almacenamiento geográfico (Geodatabase) contenido en la MGEPEA, adoptada mediante la Resolución 1503 del 4 de agosto de 2010 y se acoge el Manual para la Asignación de Compensaciones por Pérdida de Biodiversidad.

En referencia a los Documentos CONPES, solamente dos se relacionan con herramientas que contribuyen en los procesos de hidrocarburos del país. El 3164 que abarca “El desarrollo sostenible de los Espacios oceánicos y las Zonas costeras e insulares de Colombia - Plan De Acción 2002 – 2004” y el 3762, el cual somete los lineamientos de política para la identificación y priorización de proyectos en infraestructura, hidrocarburos, minería y energía considerados como de interés nacional y estratégicos - PINES, y define aspectos relevantes a resolver relacionados con los trámites y procedimientos requeridos para formular y ejecutar dichos proyectos.

Finalmente, sólo se encontró un Acuerdo de Cooperación gestionado con la ANH (Agencia Nacional de Hidrocarburos), por el cual se adiciona el Acuerdo 4 de 2012, con el objeto de incorporar al Reglamento de contratación para exploración y explotación de hidrocarburos parámetros y normas aplicables al desarrollo de yacimientos no convencionales y se dictan disposiciones complementarias.

En cuanto a la definición de Políticas Nacionales Ambientales específicamente para los proyectos de perforación exploratoria costa afuera, la ANLA está fortaleciendo equipos de trabajo con perfiles específicos para atender los procesos de evaluación y seguimiento de este tipo de proyectos.

### *1.3.7 Documento con la propuesta consolidada con el ANLA, para la modificación de los Términos de referencia para la elaboración del EIA de actividades de perforación exploratoria de hidrocarburos costa afuera,*

El INVEMAR emitió una respuesta a la consulta realizada por la Subdirección de instrumentos, permisos y trámites ambientales de la ANLA – SIPT, sobre el documento borrador del “MANUAL DE LINEAMIENTOS PARA LA ELABORACIÓN DE TÉRMINOS DE REFERENCIA EN ACTIVIDADES DE PERFORACIÓN EXPLORATORIA DE HIDROCARBUROS COSTA AFUERA EN COLOMBIA”. La respuesta de INVEMAR a esta consulta se dividió en dos secciones:

- En la primera se incluyeron recomendaciones referentes a escalas acordes con el área de intervención de la actividad por parte de un proyecto de desarrollo, la cual amplía las bases sobre algunas consideraciones preliminares en todo el contexto de aproximación marina.
- La segunda sección, se enfocó en la revisión del documento borrador como tal, en lo que corresponde específicamente al *Numeral 6.2 Caracterización del área de influencia* y resume de forma general el análisis realizado en la matriz de análisis, revisada en la Mesa de trabajo virtual.

El documento se anexa al presente informe técnico y fue remitido de igual forma al DAMCRA, con el fin de tener la trazabilidad del proceso que se viene realizando en el marco de los Convenios que el INVEMAR sostiene con la ANH (ANEXO 5). La respuesta ya fue recibida por parte de la SIPT, indicando que se revisará la pertinencia para la inclusión de los ajustes (ANEXO 6).

Si bien la construcción de este marco de referencia aún está en proceso, ya se han otorgado licencias ambientales para áreas de perforación exploratoria marina de hidrocarburos, para lo cual son expedidos los términos específicos para cada caso. El INVEMAR igualmente ha sido requerido por la ANLA, para emitir conceptos sobre los mismos. Además, en el marco del Convenio Interadministrativo No. 399 de 2019 y como objeto también del presente convenio, se incluyó la revisión de los instrumentos de gestión ambiental (TdR y MGEPEA), sobre los cuales se hacen sugerencias para la inclusión de las variables e insumos de información ambiental

requerida para la Caracterización del área de influencia, de manera que la información solicitada para aspectos relacionados con los medios abiótico, biótico y socioeconómico (pesquero) y de servicios ecosistémicos, sea lo más pertinente posible y ajustada a esta fase (ANEXO 2 - Análisis).

## 1.4 Conclusiones

La revisión de los instrumentos de gestión para el licenciamiento ambiental en Colombia (TdR generales y específicos y MGEPEA), permitió identificar que se deben unificar criterios entre éstos y ajustar los requerimientos incluidos en los aspectos involucrados (Abiótico-físico; Abiótico-Calidad de aguas y sedimentos, Biótico y Socioeconómico), teniendo siempre en consideración la pertinencia de la información solicitada.

El estudio ambiental estratégico (Línea base ambiental) debe constituirse en el punto de partida para la toma de decisiones de gestión y administración de las autoridades ambientales. A este nivel el levantamiento de información debe ser lo suficientemente robusto a nivel físico, químico y biológico, de manera que pueda reducirse la incertidumbre en lo que respecta a los posibles impactos que pueda generar la perforación exploratoria de hidrocarburos en Colombia y a las áreas sensibles que pudieran ser afectadas por esta actividad.

El contraste de la información requerida para el licenciamiento en Colombia con la de otros países con experiencia en la actividad de perforación exploratoria, evidenció que el país supera en número la cantidad de parámetros para Calidad de aguas y está en segundo lugar, después de México, para los parámetros de Calidad de sedimentos, lo que apoya el hecho de que es necesario revisar la pertinencia de la inclusión de dichas variables y realizar los ajustes necesarios en los TdR. Con relación al componente biológico coincide con la mayoría de países en las comunidades estudiadas. No se encontró información en lo que respecta al Aspecto físico a nivel de los países consultados, que permitiera hacer un contraste con lo requerido a nivel nacional, excepto Perú, encontrándose similitudes en los componentes solicitados, pero en Colombia se incluyen muchos más parámetros a considerar para la descripción de éstos.

La búsqueda y revisión de la Normativa ambiental en Colombia para el desarrollo de la actividad de perforación exploratoria de hidrocarburos incluyendo la parte terrestre y costa afuera, arrojó como resultado un total de 79 herramientas legales distribuidas así: Normas de Rango Constitucional (2), Normas de Rango Legal (15), Desarrollos Reglamentarios a través de Decretos (44), Resoluciones (15), Documentos de Política Pública CONPES (2) y Acuerdos de Cooperación (1).

En el marco del presente convenio INVEMAR emitió una respuesta a la consulta sobre el documento borrador del "MANUAL DE LINEAMIENTOS PARA LA ELABORACIÓN DE TÉRMINOS DE REFERENCIA EN ACTIVIDADES DE PERFORACIÓN EXPLORATORIA DE HIDROCARBUROS COSTA AFUERA EN COLOMBIA", incluyendo recomendaciones con relación a escalas acordes con el área de intervención de la actividad por parte de un proyecto de desarrollo y por otro,

sugerencias a lo considerado en el Numeral 6.2 Caracterización del área de influencia del borrador del manual.

## 1.5 Recomendaciones

Basados en la revisión de los instrumentos para el licenciamiento ambiental en Colombia, se sugiere:

- Considerar los requerimientos incluidos en los aspectos Abiótico-físico; Abiótico-Calidad de aguas y sedimentos, Biótico y Socioeconómico, según lo incluido en el ANEXO 2 – análisis, del presente informe.
- Unificar criterios entre los TdR y la MGEPEA, teniendo siempre en consideración la pertinencia de la información solicitada.
- Revisar si las escalas requeridas para los mapas o representaciones gráficas, es la adecuada para el ambiente oceánico y el tipo de información que se solicita.
- Incluir en la MGEPEA un aparte de Calidad de sedimentos, donde se haga referencia a los parámetros a tener en cuenta para su caracterización, especificando las unidades adecuadas a las cuales deben expresarse los resultados de las mediciones en los sedimentos marinos.
- Considerando que la MGEPEA se constituye como un instrumento para la definición de los métodos a emplear en el muestreo de las comunidades, definir y describir ampliamente los más apropiados para su representatividad, haciendo las consideraciones necesarias según la ubicación del área de influencia del proyecto.
- Se requiere hacer una revisión frente a la suficiencia de la Normativa ambiental referente a la actividad de hidrocarburos costa afuera específicamente.

## 1.6 Bibliografía

Bakke T., J. Klungsøyr y S. Sanni. 2013. Environmental impacts of produced water and drilling waste discharges from the Norwegian offshore petroleum industry. *Marine Environmental Research*. 92:(154-169).

Clark, M.R.; Rouse, H.L; Lamarche, G.; Ellis, J.; Hickey, C. 2014. Preparing Environmental Impact Assessments: provisional guidelines for offshore mining and drilling in New Zealand. NIWA Client Report WLG2014-67, prepared for the Ministry of Business, Innovation and Employment, Wellington: 86p.

Cristiano Vilardo & Emilio Lèbre La Rovere. 2018. Multi-project environmental impact assessment: insights from offshore oil and gas development in Brazil, *Impact Assessment and Project Appraisal*, DOI: 10.1080/14615517.2018.1475615.

- Elbisy, M. S. 2016. Environmental management of offshore gas platforms in Abu Qir Bay, Egypt. KSCCE Journal of Civil Engineering, 20(4), 1228-1241.
- Ezurra & Schmidt S.A. Marina, B. C. G. S. J. 2012. Estudio De Impacto Ambiental y Social previo a la Prospección Sísmica Costa Afuera. Capítulo VIII - Evaluación de Impactos. Pan American Energy Llc.
- Herrera Monterroso H. E. (2007, febrero 22). Metodología para evaluación, diagnóstico y diseño de procesos. Recuperado de <https://www.gestiopolis.com/metodologia-para-evaluacion-diagnostico-y-diseno-de-procesos/>.
- L&Fs Ecosmart Limited Hyderabad. 2010. The Ministry of Environment and Forests Government of India. 259p.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-Autoridad Nacional De Licencias Ambientales. 2016. Términos de Referencia para la Elaboración del Estudio De Impacto Ambiental - EIA En Proyectos De Perforación Exploratoria De Hidrocarburos Costa Afuera. 109 p.
- \_\_\_\_\_. 2016. Términos de Referencia para la Elaboración del Estudio De Impacto Ambiental - EIA para los proyectos de perforación exploratoria de hidrocarburos costa afuera Cloques COL-1, COL-2, COL-6 Y COL-7. 94 p.
- \_\_\_\_\_. 2018. Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales. 228 p.
- \_\_\_\_\_. 2019. Términos de Referencia para la Elaboración del Estudio De Impacto Ambiental - EIA del proyecto de perforación exploratoria de hidrocarburos costa afuera Bloque-RC-12. REPSOL. 109 p.
- Ministerio de Energía y Minas (Sin fecha). Términos de referencia Sub-sector Hidrocarburos. Estudio de Impacto Ambiental semidetallado (EIA-sd). Proyectos de Exploración de Hidrocarburos (Perforación de Pozos Exploratorios) TdR – HC-07. Lima, Perú. 254 p.
- Moreno Yépez, C. E. 2017. Propuesta de términos de referencia para la elaboración de estudios de impacto ambiental (EIA) Para construcción de plataformas de exploración y explotación de hidrocarburos en aguas marinas en Colombia. Universidad Libre. Especialización en Gerencia Ambiental. Bogotá D.C., Colombia.
- Norwegian Oil And Gas Association. 2016. Guidance document for characterization of offshore drill cuttings piles. Version 4, 21. October.
- \_\_\_\_\_. 2019. Species and Habitats of Environmental Concern. Mapping, Risk Assessment, Mitigation and Monitoring. - In Relation to Oil and Gas Activities. Handbook. 63p.

- Quispe A. 2016. Estudios de Exploración en Aguas Profundas: Caso Peruano. Universidad Nacional de Ingeniería. DOI: 10.13140/RG.2.2.23451.67369
- Series, Offshore Industry. 2009. "Assessment of impacts of offshore oil and gas activities in the North-East Atlantic." OSPAR Commission.
- Steinar Nesse & Elfride Covarrubias. 2019. Oil for Development –Colombia. Holistic Environmental Management / Strategic Environmental Assessment, Environmental Impact Assessment and Environmental Data Management. Workshop DNV.GL 12 al 15 de noviembre de 2019. Bogotá.
- Vides M. y D. Alonso (Eds.). 2019. Integración, análisis y diagnóstico de información de línea base ambiental de la cuenca Caribe como apoyo a nuevas a fronteras del desarrollo del sector de hidrocarburos costa afuera. Informe Técnico Final. Convenio 399 -19. Agencia Nacional de Hidrocarburos ANH e Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés – INVEMAR. Santa Marta. 497 p.
- Worleyparsons. 2010. Environmental Impact Assessment (EIA) Offshore Exploratory Drilling Well Kiwi A-1x, El Dabaa Offshore Concession, Egypt. Statoil. Egypt. 241p.
- Herrera Monterroso H. E. (2007, febrero 22). Metodología para evaluación, diagnóstico y diseño de procesos. Recuperado de <https://www.gestiopolis.com/metodologia-para-evaluacion-diagnostico-y-diseno-de-procesos/>

## IV. TEMÁTICA 4. MAPAS DE SENSIBILIDAD AMBIENTAL A HIDROCARBUROS

### 1 Información de base para mapas de sensibilidad ambiental a hidrocarburos (MSA-HC)

*José Manuel Gutiérrez-Salcedo, Venus Lorena Rocha y Luis Chasqui Velasco*

Este último capítulo resume las actividades e información obtenidos de la recopilación y análisis de información secundaria sobre recursos biológicos y elementos socioeconómicos de la zona costera del área de influencia de los bloques marítimos de exploración y explotación de hidrocarburos en los departamentos de Antioquia y Córdoba, como elementos esenciales para la elaboración de mapas de sensibilidad ambiental a hidrocarburos. Los insumos de información secundaria serán presentados en Mapas de ubicación de los recursos biológicos y de los sitios de importancia socioeconómica sensibles a derrame de hidrocarburos a escala 1:100.000, para las costas de los departamentos de Córdoba y Antioquia en el Caribe colombiano.

- Base de datos sobre información secundaria temática y cartográfica consultada.
- Bases de datos con información de recursos biológicos sensibles en las áreas de interés.
- Mapas con la ubicación de recursos bióticos y socioeconómicos sensibles a derrames de hidrocarburos en las áreas de interés.

#### 1.1 Problema y su justificación

Debido a la dificultad de eliminar totalmente la posibilidad de ocurrencia de un derrame de hidrocarburos en zonas costeras y continentales donde se extrae, transporta o almacenan esos productos, se requiere establecer estrategias para prevenir, controlar y mitigar los efectos adversos que puedan ocasionar ese tipo de emergencias. En muchas áreas alrededor del mundo donde se realiza explotación y movimiento de hidrocarburos, los Mapas de Sensibilidad Ambiental a Hidrocarburos (MSA-HC) son un elemento importante de los planes de contingencia para atender derrames. Los MSA-HC son entonces una herramienta de información fundamental, que usada con otras herramientas permiten a las entidades y equipos a cargo de la atención de derrames, tomar las mejores decisiones para actuar de forma eficiente y rápida en el control de la contingencia. En Colombia existen zonas costeras que están frecuentemente expuestas al peligro de un derrame, particularmente en relación con el almacenamiento y transporte de hidrocarburos, pero no cuenta a la fecha con MSA-HC entre sus insumos de información para atender una emergencia por derrame. El INVEMAR viene trabajando desde 2013 de la mano de entidades como el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) y el MINAMBIENTE para satisfacer esta necesidad, logrando hasta ahora elaborar los MSA-HC de los departamentos de Bolívar y

Sucre, y los MSA-HC para los puertos de Ecopetrol en el Caribe y Pacífico colombiano; sin embargo, se requiere que el Índice de Sensibilidad Ambiental (ISA) cubra toda la línea costera nacional, por lo que este trabajo en los departamentos de Córdoba y Antioquia se suma al avance en este tema para la costa Caribe colombiana. Mediante las actividades realizadas para la temática 4 del convenio ANH-INVEMAR No. 474-2020, se realizó una etapa inicial en la cual se recopiló, estructuró y analizó la información secundaria de los componentes de recursos biológicos y socioeconómicos de los departamentos de Córdoba y Antioquia y se generaron los primeros mapas en donde se visualiza la ubicación los recursos biológicos sensibles y los sitios de importancia socioeconómica.

## 1.2 Proceso mapas de sensibilidad ambiental a hidrocarburos (MSA-HC)

El proceso que se lleva a cabo en la generación de los mapas del índice de sensibilidad ambiental ante derrame de hidrocarburos está conformado por varios pasos en donde se reúne, estructura y analiza la información de los recursos biológicos, físicos y socioeconómicos de un área de interés para la definición del Índice de Sensibilidad Ambiental (ISA) con el cual se generan los MSA-HC (NOAA, 2020; Wotherspoon et al., 1997).

Para el desarrollo de los MSA-HC de los departamentos de Córdoba y Antioquia, se siguieron los pasos de la Figura 45, este proceso se dividió en dos etapas, la primera llevada a cabo en el 2020 como parte del convenio ANH-INVEMAR No. 474-2020 y la segunda para realizarse en el 2021. En la primera etapa se llevaron a cabo las actividades de (1) identificación, (2) recopilación, (3) estructuración (4) Análisis de datos y (5) creación de mapas preliminares para los componentes de recursos biológicos sensibles y de importancia socioeconómica.



Figura 45. Proceso para la creación de los Mapas ISA de Córdoba y Antioquia.

En la segunda etapa, se recopilará la información física de la línea de costa, y se realizará la estructuración de los datos para que sea compatible con la información del proceso llevado a cabo en la primera etapa; posteriormente, se realizará el análisis con la totalidad de la información de los componentes de recursos biológicos sensibles, de importancia socioeconómica y física de la línea de costa, para la definición del Índice de Sensibilidad Ambiental (ISA) de los departamentos de Córdoba y Antioquia.

El proceso finalizará con el diseño y construcción de los MSA-HC de Córdoba y Antioquia, que serán revisados y evaluados para verificar que cumplan con los requerimientos de este tipo de mapas para que puedan ser insumo en procesos de planificación de respuesta a contingencias por derrames de hidrocarburos.

### *1.2.1 Identificación*

En esta primera parte del proceso se definió el área de estudio para la cual se debe enfocar tanto la recopilación de información como la generación del índice ISA, además, se determinó quienes son los usuarios finales de los MSA-HC, se identificaron las fuentes de información para realizar la recopilación de información bibliográfica y cartográfica, se estableció la escala gráfica de los mapas, y se recopiló la representación cartográfica utilizada en trabajos anteriores para los MSA-HC.

### *1.2.2 Recopilación*

#### **1.2.2.1 Información bibliográfica**

La búsqueda de la información biológica se realizó a partir de cuatro estrategias con el fin de abarcar la mayoría de la información existente y verificable. La primera se hizo con los gestores de información especializada en ciencias naturales como Google Academic, Web, Scopus of Science y Latindex. En cada uno de los gestores se utilizó una combinación de palabras claves organizadas de la siguiente forma: los términos “marino” o “costero” + termino de lugar (p.ej. Golfo de Urabá, Turbo, Necoclí, Cispatá, Puerto Escondido, etc.) + los términos referentes a biodiversidad (p.ej. grupo taxonómico, registros, pesquería, investigadores reconocidos, etc.).

La segunda estrategia de búsqueda fue la utilización de las bases de datos de las bibliotecas de las corporaciones de los departamentos, así como de las principales universidades del país que han realizado estudios en el sector marino y costero del país (p.ej. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Universidad de Antioquia, Universidad Pontificia Javeriana, Universidad Nacional de Colombia, EAFIT, etc.). Se utilizó la misma estructura de búsqueda que con los gestores de información en ciencias naturales. La tercera estrategia fue la de pedir información directamente a investigadores reconocidos del país que tuviesen documentos o bases de datos que hayan recopilado en el área de estudio y se puedan compartir.

Por último, la cuarta estrategia de búsqueda fue la utilización de las bases de datos nacionales e internacionales sobre biodiversidad. Entre ellas se encuentran las de los museos con

colecciones biológicas (p.ej. Smithsonian, INVEMAR), entidades estatales (p.ej. ANLA) y el Servicio de Información sobre Biodiversidad Mundial – GBIF (sigla en inglés). En esta estrategia, la búsqueda se limitó únicamente con el atributo geográfico (e.d. límites de los departamentos estudiados).

### *1.2.3 Información cartográfica*

Se revisaron las bases de datos del Sistema de Información Ambiental Marina (SIAM), Sistema Ambiental de Colombia (SIAC), de Parques Nacionales Naturales (PNN), del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), y el Sistema de Información para la Gestión de los Manglares en Colombia (SIGMA) en donde se verificó para el área de estudio marina y costera de los departamentos de Córdoba y Antioquia que información era relevante y necesaria dentro del proceso de los MSA-HC. La información seleccionada fue descargada y puesta en un mapa interactivo para ser evaluada nuevamente y determinar su pertenencia dentro del proceso.

### *1.2.4 Estructuración*

#### **1.2.4.1 La información bibliográfica**

Todos los documentos encontrados con las cuatro estrategias se organizaron en el gestor bibliográfico gratuito Zotero, creando una carpeta principal y dos carpetas secundarias asociadas a cada departamento (e.d. Antioquia y Córdoba). La organización en Zotero admite extraer toda la información bibliográfica de los documentos, permitiendo estandarizarla a cualquier formato bibliográfico requerido.

Una vez obtenido y organizado todas las referencias posibles, se comenzó el proceso de extracción de la información en biodiversidad bajo un formato de base de datos en hojas de cálculo digital. Las filas de la base de datos corresponden a ocurrencias independientes, no se hizo por especie. Las columnas corresponden a los atributos de cada ocurrencia. Los atributos escogidos fueron el código de la referencia bibliográfica, el tipo de referencia (e.d. Documento, base de datos, museo), el departamento (e.d. Antioquia, Córdoba), el sector (e.d. área geográfica amplia), la localidad (e.d. área geográfica específica), las coordenadas geográficas (e.d. longitud y latitud), la especie (e.d. nombre científico) y el grupo biológico. Solo se tuvo en cuenta la información de especies con nombre completo, se descartaron identificaciones en grupos superiores o dadas por nombres vernaculares. En el caso de las coordenadas, se obtuvieron de tres formas diferentes, cuando estaban explícitas en el documento o base de datos, a partir de un mapa o cuando se mencionaba la localidad (p.ej. desembocadura de un río), para ello se adicionó una nueva columna con esta información. Las coordenadas extraídas de mapas o localidades se calcularon con la aplicación online de Google Maps.

Para depurar la base de datos, se creó un segundo documento tipo lista de chequeo con las especies registradas en los documentos analizados. Se actualizaron los nombres a noviembre del 2020 con la ayuda de varias bases de datos internacionales (Tabla 24). Debido a que con este

trabajo se pretende ampliar el portafolio de Mapas de Sensibilidad Ambiental a Hidrocarburos para las costas colombianas, no se tuvieron en cuenta los grupos biológicos de virus, bacterias, hongos, plantas e insectos para su actualización, ya que estos no se utilizaron en los mapas anteriores. Adicionalmente, solo se tuvieron en cuenta las subespecies cuando éstas tuviesen algún atributo ecológico único.

*Tabla 24. Bases de datos utilizadas para la actualización de los nombres científicos de las especies registradas en los departamentos de Antioquia y Córdoba.*

<b>GRUPO BIOLÓGICO</b>	<b>BASE DE DATOS</b>	<b>PÁGINA WEB</b>
Virus	NA	
Hongo	NA	
Bacteria	NA	
Cianobacteria	WoRMS	<a href="http://www.marinespecies.org/">http://www.marinespecies.org/</a>
Diatomea	WoRMS	<a href="http://www.marinespecies.org/">http://www.marinespecies.org/</a>
Dinoflagelado	AlgaBase	<a href="https://www.algaebase.org/">https://www.algaebase.org/</a>
	WoRMS	<a href="http://www.marinespecies.org/">http://www.marinespecies.org/</a>
Foraminífero	AlgaBase	<a href="https://www.algaebase.org/">https://www.algaebase.org/</a>
	WoRMS	<a href="http://www.marinespecies.org/">http://www.marinespecies.org/</a>
Alga	WoRMS	<a href="http://www.marinespecies.org/">http://www.marinespecies.org/</a>
	AlgaBase	<a href="https://www.algaebase.org/">https://www.algaebase.org/</a>
Planta	NA	
Esponja	WoRMS	<a href="http://www.marinespecies.org/">http://www.marinespecies.org/</a>
Cnidario	WoRMS	<a href="http://www.marinespecies.org/">http://www.marinespecies.org/</a>
Anélido	WoRMS	<a href="http://www.marinespecies.org/">http://www.marinespecies.org/</a>
Equinodermo	WoRMS	<a href="http://www.marinespecies.org/">http://www.marinespecies.org/</a>
Molusco	WoRMS	<a href="http://www.marinespecies.org/">http://www.marinespecies.org/</a>
Crustáceo	WoRMS	<a href="http://www.marinespecies.org/">http://www.marinespecies.org/</a>
Insecto	NA	
Cartilaginoso	WoRMS	<a href="http://www.marinespecies.org/">http://www.marinespecies.org/</a>
Pez	WoRMS	<a href="http://www.marinespecies.org/">http://www.marinespecies.org/</a>
	ITIS	<a href="https://www.itis.gov/">https://www.itis.gov/</a>
	FISHBASE	<a href="https://www.fishbase.de">https://www.fishbase.de</a>
Anfibio	ASW6.0	<a href="https://amphibiansoftheworld.amnh.org/">https://amphibiansoftheworld.amnh.org/</a>
Reptil	Reptil Database	<a href="http://www.reptile-database.org/">http://www.reptile-database.org/</a>
Ave	Avibase	<a href="https://avibase.bsc-eoc.org/avibase.jsp?lang=EN">https://avibase.bsc-eoc.org/avibase.jsp?lang=EN</a>
Mamífero	ASM	<a href="https://www.mammaldiversity.org/">https://www.mammaldiversity.org/</a>

#### 1.2.4.2 Información cartográfica

La información recopilada de fuentes bibliográficas pasó por un proceso de mapeo, en donde se verificó su posición geográfica y se delimitó al área de estudio definida. Además, tanto la información secundaria de fuentes bibliográficas como de fuentes cartográficas fue

georreferenciada en el sistema de referencia oficial para Colombia, y posteriormente almacenada en una geodatabase (Formato de almacenamiento de la compañía ESRI) que permitió de forma organizada comprimir la información cartográfica recopilada en esta primera etapa.

### 1.2.5 *Análisis*

El análisis de esta primera etapa se realizó para organizar y cartografiar los datos almacenados en la base de datos final de especies, que hacen parte del componente de recursos biológicos. De este análisis se obtuvo el shapefile preliminar de las especies para los departamentos de Córdoba y Antioquia, bajo el estándar requerido para este tipo de mapas de sensibilidad, este es uno de los insumos que serán utilizados en la generación final de los MSA-HC en la segunda etapa del proceso.

#### 1.2.5.1 **Definición de la base de datos final de especies (componente recursos biológicos)**

La base de datos depurada taxonómicamente se amplió con los siguientes atributos: (1) autor del nombre científico; (2) taxonomía de la especie (e.d. reino, filo, clase, orden, familia, género, subgénero, especie, subespecie); (3) grupo biológico; (4) nombre común o vernacular; (5) clasificación de las aves; (6) ambiente en el que habita comúnmente; (7) registro de especie amenazada nacional e internacionalmente; (8) tipo de uso como recurso hidrobiológico; (9) registro de migración; (10) meses de mayor abundancia; y (11) meses de presencia de la especie.

En el caso de la clasificación de las aves, se siguió el mismo criterio utilizado en los mapas anteriores, clasificándolas en palmípedas (p.ej. pato); buceadoras (p.ej. pelícano); rapaces (p.ej. águila); gaviotas, vadeadoras (p.ej. garzas); playeras (p.ej. chorlitos); pelágicas (p.ej. fragata), pescadoras (p.ej. Martín pescador) y pájaros (incluye aves pequeñas principalmente asociadas con hábitats terrestres, como bosques y pastizales). El registro de las especies amenazadas a nivel nacional se hizo basado en la Resolución 1912 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; mientras que a nivel internacional se utilizó la lista roja actualizada a noviembre del 2020 de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza – UICN.

La definición de las especies como recurso hidrobiológico se hizo a partir de la Resolución 418 de 2019 de la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca y del informe técnico de los recursos hidrobiológicos producido por el INVEMAR (Cárdenas-Aguilar et al., 2013). Las especies fueron clasificadas en cuatro categorías según su uso: alimento (uso comestible a nivel artesanal o industrial), cultural (se incluye aspectos de salud, recreación, artesanías, turismo, etc.), industrial (se incluyen usos en la construcción, energía, biotecnología, etc.) y ecológica (especies claves en el funcionamiento de los ecosistemas). Tanto el listado de especies amenazadas nacional como las de los recursos hidrobiológicos fueron actualizados a noviembre de 2020 para permitir la comparación. La migración se determinó a partir de la información de los mapas anteriores, así como de las “Guías de las especies migratorias de la biodiversidad en Colombia” (Naranjo et al.,

2012; Zapata y Usma, 2013; Amaya-Espinel y Zapata, 2014). Por último, la información sobre los meses de mayor abundancia y presencia de las especies se obtuvo a partir de los mapas previos.

Finalmente, la selección de las especies que harán parte del mapa de sensibilidad ambiental a hidrocarburos se realizó a partir de los atributos mencionados anteriormente de recursos hidrobiológicos, especies amenazadas y especies migratorias; así como de la experiencia de los investigadores. La selección de especies no indica en ningún momento que sean las únicas especies para tener en cuenta en los posibles casos de derrames, simplemente son especies que tienen una mayor relevancia para el hombre y que por facilidad de uso del mapa fueron preseleccionadas.

#### 1.2.5.2 Codificación base de datos recursos biológicos sensibles (Especies)

La determinación de la codificación de grupos de especies (e.d. ensamblajes) para los mapas de esta primera etapa, se realizó a partir de las diferentes agrupaciones de especies que se conformaron según polígonos establecidos. El tamaño y ubicación de cada uno de estos polígonos se determinó según opinión de experto al evaluar la similitud de los aspectos ambientales y espaciales de la información de especies a escala 1:100.000.

La codificación de grupos de especies se realizó independientemente por cada grupo biológico identificado. Al final se obtuvo un listado ordenado por la codificación del total de las especies sin repetir. Este listado se complementa con los atributos que se obtuvieron en la base de datos (e.d. nombre común, lista de amenaza, presencia mensual, picos mensuales de abundancia y migración), y será utilizado para que el usuario entienda la información de especies que está representada en los mapas.

Una vez obtenida la codificación se procedió a la generación del shapefile preliminar de las especies sensibles para los departamentos de Córdoba y Antioquia, bajo el estándar requerido para cartografiar este tipo de información dentro de los MSA-HC. El resultado fue utilizado en el paso de producción en la generación de los “mapas de la ubicación de recursos biológicos sensibles a derrame de hidrocarburos” en el que se visualiza la información de especies.

#### 1.2.6 Producción

El diseño y producción cartográfica se basó en la información definida previamente en la que se aclara el tipo de mapa de sensibilidad, los usuarios finales de estos mapas, el área de estudio, la escala gráfica y el tipo de información recopilada a representar. Además, de trabajos previos realizados en el tema de mapas de sensibilidad ambiental por el INVERMAR se retomó la información relacionada a la representación de cada uno de los componentes, la cual se utilizó en la generación de los mapas de ubicación de los componentes de recursos biológicos y de importancia socioeconómica.

### 1.3 Presentación de hallazgos y resultados

A continuación, se presentan los resultados de la primera etapa del proceso MSA-HC, realizada en el convenio ANH-INVEMAR No. 474-2020, compuesta por los pasos de (1) identificación, (2) recopilación, (3) estructuración (4) Análisis de datos de los componentes de recursos biológicos sensibles y de importancia socioeconómica, y (5) producción cartográfica de los mapas preliminares de los recursos biológicos sensibles a derrame de hidrocarburos y de los sitios de importancia socioeconómica.

#### 1.3.1 Identificación

##### 1.3.1.1 Área de estudio.

Para la elaboración de los Mapas de Sensibilidad Ambiental a Hidrocarburos (MSA-HC), se seleccionó como área de estudio la zona costera del área de influencia de los bloques marítimos de exploración y explotación de hidrocarburos FUERTE SUR, PURPLE ANGEL, COL5 que se encuentran ubicados frente a los departamentos de Córdoba y Antioquia, Figura 46.

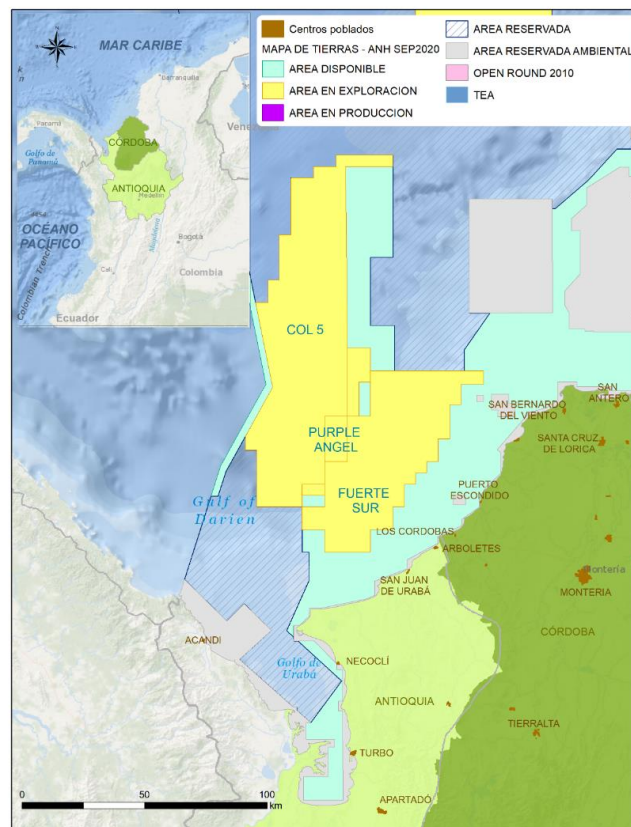


Figura 46. Localización área de estudio.

En esta área de estudio se encuentran las Islas Fuerte y Tortuguilla que, aunque hacen parte del departamento de Bolívar, se tuvieron en cuenta por encontrarse frente a las costas de Córdoba

### 1.3.1.2 Definición de los usuarios.

Estos mapas MSA-HC, se crearon para usuarios del sector de hidrocarburos que necesitan realizar la identificación de las áreas críticas sensibles ambientalmente ante un posible derrame de hidrocarburos previo al desarrollo de proyectos hidrocarburíferos. Esto para dar cumplimiento al Decreto 321 de 1999 “Por el cual se adopta el Plan Nacional de Contingencia contra derrames de Hidrocarburos, Derivados y Sustancias Nocivas” en el numeral 11 del artículo 5, que establece que para el Análisis de riesgos y capacidad de respuesta, se debe realizar la evaluación de riesgos como base fundamental para la formulación de los planes de contingencia y establecer la identificación y conocimiento de las áreas críticas, entendidas como los sitios donde los recursos naturales son de alto valor ecológico, comercial o turístico, sensibles a la presencia masiva de un derrame y susceptibles en alto grado a la ocurrencia de dicho evento. Factor determinante para la capacidad de respuesta del PNC” (Vides y Alonso, 2019).

### 1.3.1.3 Definición de la escala

La escala de los MSA-HC para los departamentos de Córdoba y Antioquia continuará siendo 1:100.000, para darle continuidad al trabajo realizado en el 2017 en los departamentos de Bolívar y Sucre del Caribe colombiano.

### 1.3.2 Representación

Cuando se habla de representación se refiere a la simbología estandarizada que se utilizará para representar los diferentes componentes en los MSA-HC, la cual se ha desarrollado y enriquecido en la medida que se ha avanzado en la generación de los mapas en Colombia. Estas simbologías corresponden a los recursos biológicos dividido en especies (Figura 47 izq.), y ecosistemas sumergidos y emergidos (Figura 47 der.); y recursos de uso humano o socioeconómico (Figura 48). Estas representaciones fueron utilizadas en el año 2013 para los MSA-HC de los puertos de Ecopetrol S.A., ubicados en las áreas de influencia marina y costera de Magdalena, Bolívar, Sucre en el Caribe y de Nariño en el Pacífico (INVEMAR-ICP, 2013). Y en el año 2017, para los MSA-HC de los departamentos de Bolívar y Sucre en el Caribe colombiano (INVEMAR, 2017).

A continuación, se muestran las simbologías *recopiladas* de los trabajos anteriormente mencionados que son la base utilizada para la generación de los mapas preliminares de ubicación de los recursos biológicos sensibles y sitios de importancia socioeconómica de Córdoba y Antioquia.



Figura 47. Simbología de especies, recursos biológicos proyecto MSA-HC 2017 (izq.) Simbología para los ecosistemas sumergidos y emergidos, recursos biológicos proyecto MSA-HC 2017 (der.).



Figura 48. Simbología de los recursos de uso humano- socioeconómico, proyecto MSA-HC 2017.

### 1.3.3 Fuentes de información

En cuanto a la información cartográfica referente a los recursos biológicos sensibles y sitios de importancia socioeconómica, fue recopilada de bases de datos de distintas entidades nacionales, las cuales almacenan y comparten información oficial de Colombia (Tabla 25).

Tabla 25. Bases de datos consultadas para la recopilación

BASE DE DATOS	URL	TEMA	ENTIDAD
SIAM	<a href="https://siam.invemar.org.co/">https://siam.invemar.org.co/</a>	Ambiental Marino	INVEMAR
SIAC	<a href="http://www.siac.gov.co/geovisorconsultas">http://www.siac.gov.co/geovisorconsultas</a>	Ambiental	MinAmbiente
PNN	<a href="https://mapas.parquesnacionales.gov.co/">https://mapas.parquesnacionales.gov.co/</a>	Protección	Parques Nacionales Naturales

BASE DE DATOS	URL	TEMA	ENTIDAD
IGAC	<a href="https://geoportal.igac.gov.co/">https://geoportal.igac.gov.co/</a>	Topografía	Instituto Geográfico IGAC -
SIGMA	<a href="http://sigma.invemar.org.co/">http://sigma.invemar.org.co/</a>	Ecosistema de Manglar	INVEMAR

### 1.3.4 Recopilación

De la consulta en las bases de datos documental y cartográfica anteriormente definidas, se recopiló la información relacionada a los recursos biológicos sensibles y de los recursos de importancia socioeconómica de los departamentos de Córdoba y Antioquia.

A continuación, se relaciona la información recopilada para cada uno de los componentes.

#### 1.3.4.1 Información bibliográfica

En términos bibliográficos, en total se recopilaron 167 referencias entre documentos científicos, académicos, técnicos y bases de datos. De éstos, solo 145 presentaron información relevante para la construcción del mapa MSA-HC de los departamentos de Antioquia y Córdoba. La cronología de los estudios comienza en 1964 y se obtuvieron documentos hasta el presente año (2020), siendo el periodo entre 2008 y 2015 el que presentó un mayor número de publicaciones anuales, sobrepasando la decena de documentos por año. Para el departamento de Antioquia se obtuvieron 72 referencias, mientras que para Córdoba se encontraron 103 referencias. En ambos casos, la mayoría de la documentación perteneció al área científica y académica y muy pocos fueron informes técnicos y bases de datos.

#### 1.3.4.2 Información cartográfica

De las fuentes antes mencionadas, se recopiló la información que está relacionada en la Tabla 26, para el área de estudio marina y costera de los dos departamentos se encontró la presencia de los ecosistemas de pastos marinos, manglar, formaciones coralinas, humedales costeros, para el área marina costa afuera se recopiló información de Observación de Fauna Marina. Esta información se complementó con la información cartográfica de los objetos de conservación del Caribe y con las áreas protegidas RUNAP y AICAS (Figura 49).

*Tabla 26. Información cartográfica recopilada para el componente de recursos biológicos.*

Recursos biológicos sensibles	
Tema	Cartografía
Ecosistema de Manglar	Manglares
Pastos Marinos	Pastos Marinos
Formaciones coralinas	Mapa de ecosistemas marinos

<b>Recursos biológicos sensibles</b>	
<b>Tema</b>	<b>Cartografía</b>
Objetos de conservación Caribe	AlimentaciónTortugas_Caribe
	AnidacionTortugas_Caribe
	CongregaPeces_Caribe
	PresenciaCrocodylus_Caribe
	CongregaAves_Caribe
	Diapiros_Caribe
	FcoralinasProfundidad_Caribe
	LagunasEstuarios_Caribe
	MamiferosMarinos_Caribe
	PlayonesFluviomarinos_Caribe
	Arracachales_Caribe
	PlayasAcantilados_Caribe
	PlayasCosteras_Caribe
	HelechalesCosteros_Caribe
	PanganalesCosteros_Caribe
FondosSedim_Caribe	
Observación de Fauna Marina	Humedales costeros
	Mamíferos
Áreas Protegidas	Aves
	Distritos Regionales de Manejo Integrado
	Santuario de Fauna
	Reservas Forestales Protectoras Nacionales
	Parques Naturales Regionales
	Parque Nacional Natural
	AICAS

En el área marina y costera de Córdoba y Antioquia se tienen 31 sitios prioritarios de conservación, caladeros y rutas de pesca de camarón de aguas someras, de atún, y de pesca blanca, y las principales poblaciones costeras son: San Bernardo del Viento, Puerto Escondido, Arboletes, San Juan de Urabá, Necoclí y Turbo, Figura 50.

*Tabla 27. Información cartográfica recopilada para el componente socioeconómico*

<b>Recursos de importancia socioeconómica</b>	
Áreas de importancia	Sitios Prioritarios de Conservación (SPC)
Pesca	Caladeros de pesca
	Biológico pesquero - Offshore ANH
	Rutas de pesca
Poblaciones	Capitales y poblaciones municipales

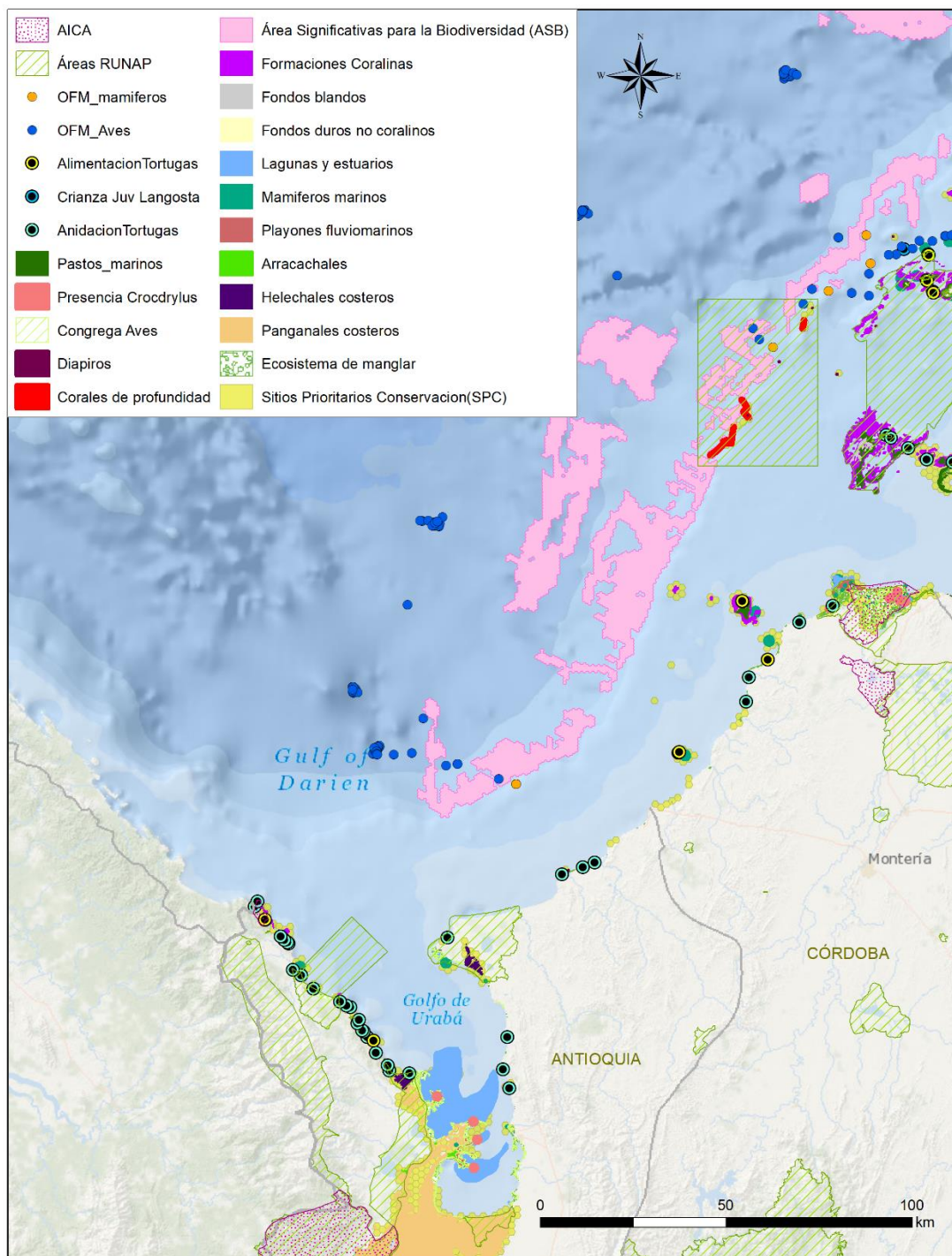


Figura 49. Mapa información cartográfica recopilada para el componente de recursos biológicos.

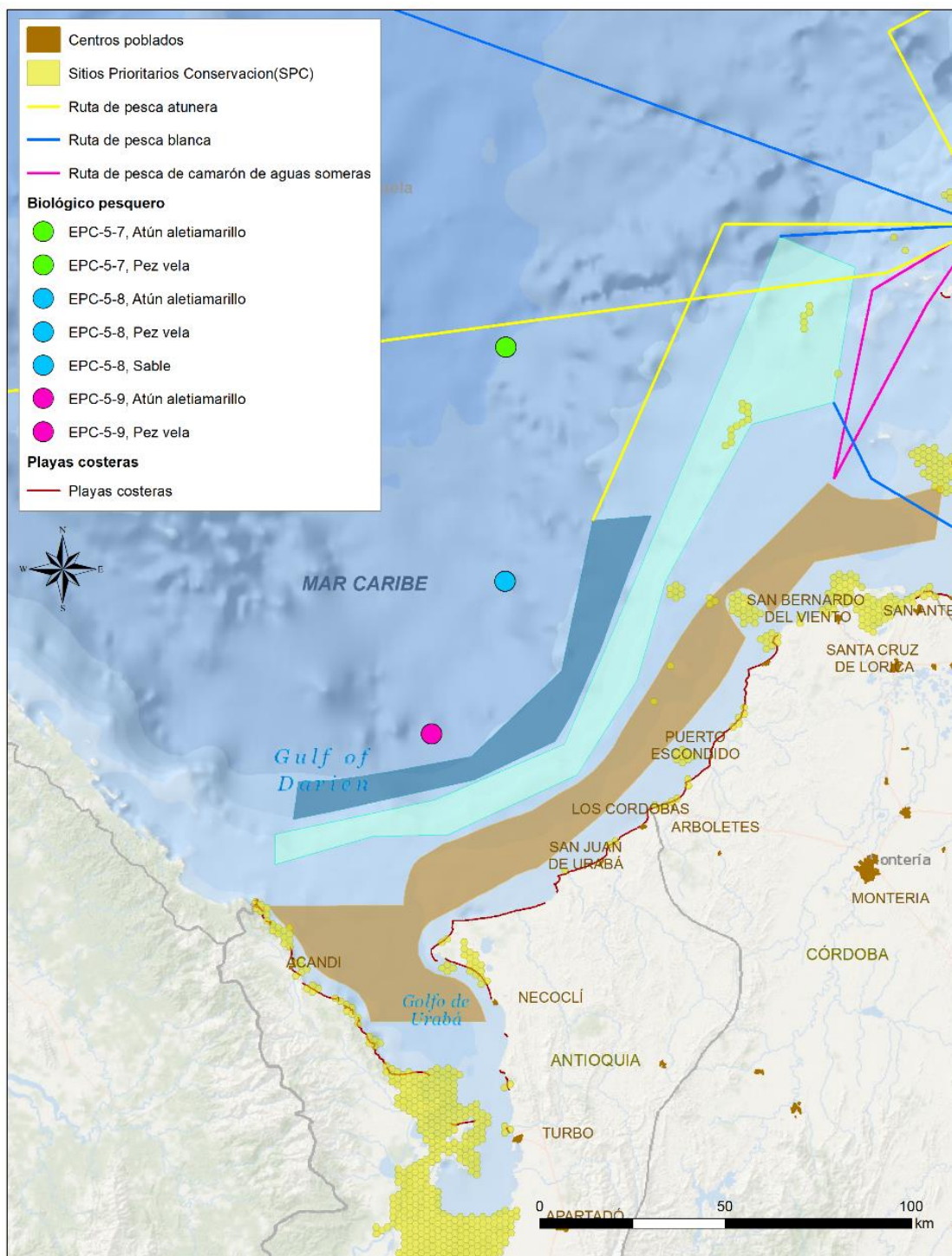


Figura 50. Mapa información cartográfica recopilada para el componente socioeconómico

### 1.3.5 Estructuración

Se realizó la estructuración de la información consignada en la base de datos de especies proveniente de información secundaria y de la información cartográfica encontrada en los diferentes Geoportales de información. A continuación, se presentan los resultados de este proceso.

#### 1.3.5.1 Base de datos de recursos biológicos (Especies)

La base de datos original cuenta con 58.683 ocurrencias en total, de las cuales el 62,0% pertenecieron al departamento de Antioquia, mientras que el 37,8% fueron del departamento de Córdoba. Se presentó un 0,2% de ocurrencias que no se conoce con exactitud el departamento, pero se sabe que hacen parte del área de estudio. Al hacer la conversión de las coordenadas, quedaron por fuera 241 ocurrencias por no tener la información correcta. De las ocurrencias resultantes, se obtuvieron 3.232 nombres de especies que pertenecen a 6 reinos y 21 grandes grupos biológicos; de las cuales solo se actualizaron 2.373 (excepto de insectos, plantas, hongos y bacterias). Al final del proceso, quedaron 2.037 especies documentadas en la base de datos a las cuales se les buscaron los diferentes atributos seleccionados (Figura 51).

En términos taxonómico, se encontraron registros de organismos unicelulares pertenecientes al plancton como las cianobacterias (p.ej. *Trichodesmium erythraeum*), diatomeas (p.ej. *Chaetoceros decipens*), dinoflagelados (p.ej. *Tripos furca*) o del bentos como los foraminíferos (p.ej. *Trochammina inflata*). Así mismo se tienen registro de algas bentónicas verdes (p.ej. *Caulerpa sertularioides*) y rojas (p.ej. *Laurencia obtusa*). Estos grupos recogen a 147 especies. El reino animal fue el que agrupó las otras 1.890 especies, de las cuales 815 pertenecieron a grupos de invertebrados, mientras que 1.075 especies fueron vertebrados.

Los invertebrados estuvieron compuestos por seis grupos, donde las esponjas, cnidarios y anélidos registraron menos de 100 especies cada una (36, 85 y 31 respectivamente), mientras que los equinodermos, moluscos y crustáceos registraron un mayor número de especies (110, 326 y 227 respectivamente). Ejemplos de especies de los diferentes grupos son la esponja *Aplysina cauliformis*, el coral cuerno de alce *Acropora palmata*, la anémona gigante del Caribe *Condylactis gigantea*, la medusa fragata portuguesa *Physalia physalis*, el gusano de fuego *Eurythoe complanata*, el lirio de mar *Davidaster discoideus*, el erizo de mar negro *Diadema antillarum*, la estrella de mar cojín *Oreaster reticulatus*, el pepino de mar chip de chocolate *Isostichopus badionotus*, la ostra de manglar *Crassostrea rhizophorae*, el caracol pala rosado *Aliger gigas*, el pulpo arrecifal *Octopus insularis*, el camarón tigre gigante *Penaeus monodon*, la langosta zapatilla *Scyllarus chacei* y la jaiba azul *Callinectes sapidus*.

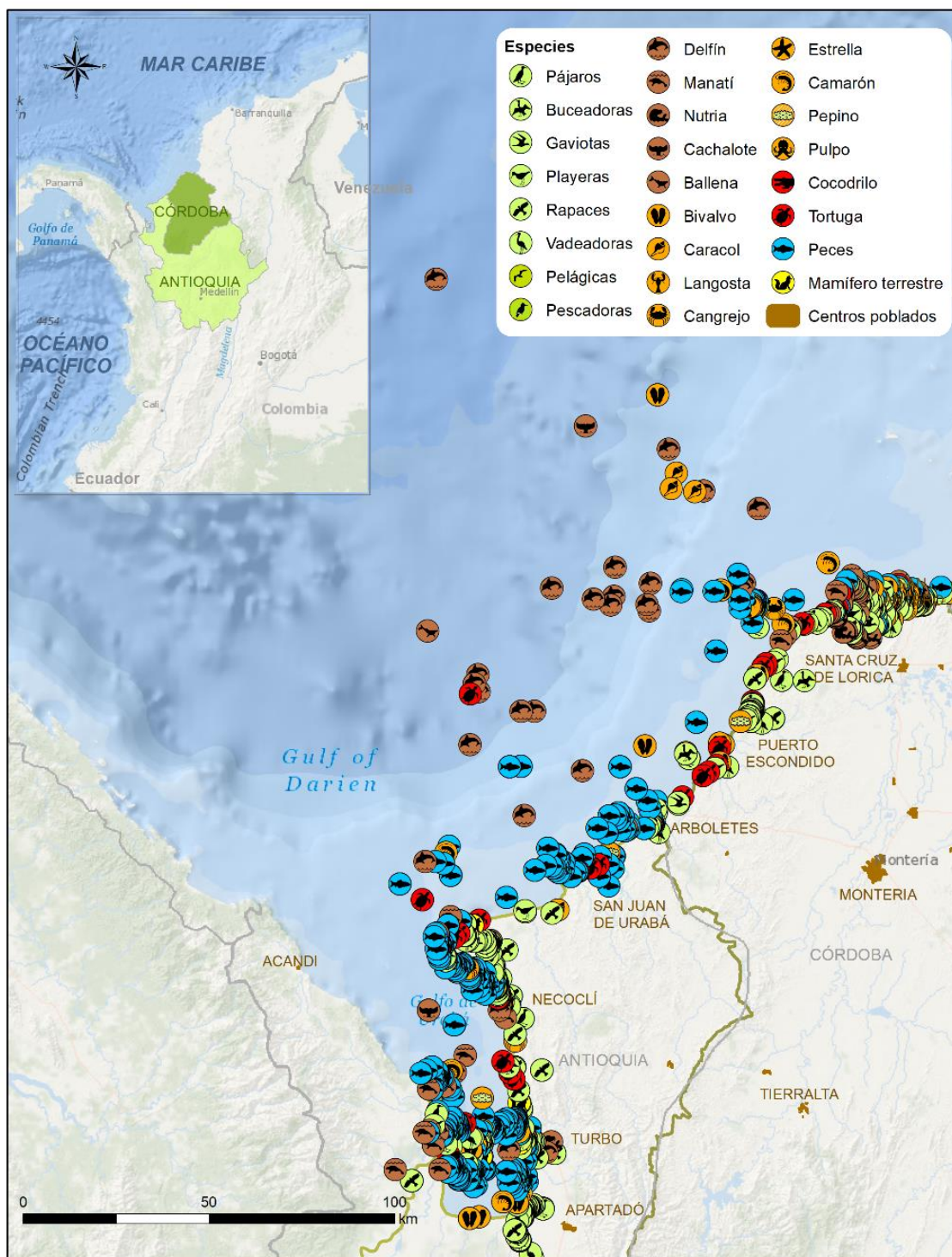


Figura 51. Representación cartográfica de la Información de registros de especies

En cuanto a los vertebrados, las especies registradas pertenecen a siete clases, de las cuales las aves y los peces fueron los que más número de especies agruparon (497 y 386 respectivamente). Respecto a las otras clases, dos de ellas tienen solo representantes marinos (tunicado con 2 especies y elasmobranchios con 41 especies); dos tienen representantes marinos y terrestres (reptiles con 58 especies y mamíferos con 59 especies) y uno de ellos tiene representantes terrestres pero que dependen de los ecosistemas acuáticos continentales (anfibios con 32 especies). Ejemplos de especies de estos grupos son el tunicado *Bostrichobranchus pilularis*, el tiburón nodriza *Ginglymostoma cirratum*, la manta gigante *Mobula birostris*, el pez cirujano azul *Acanthurus coeruleus*, el pez ballesta reina *Balistes vetula*, el jurel amarillo común *Caranx hippos*, el róbalo *Centropomus undecimalis*, el sapo marino *Rhinella marina*, la babilla *Caiman crocodilus*, el cocodrilo americano *Crocodylus acutus*, la tortuga verde *Chelonia mydas*, la iguana *Iguana iguana*, la guacamaya azuliamarilla *Ara ararauna*, la garza real *Ardea alba*, la paloma *Columba livia*, el pelícano *Pelecanus occidentalis*, el zorro cangrejero *Cerdocyon thous*, el delfín de Guayana *Sotalia guianensis* y el manatí *Trichechus manatus*.

Según la UICN, el 53,7% de las especies actualizadas (1.094 de 2.037 especies) pertenecen a una de las categorías de amenaza, de las cuales 1.034 aún no entran en las categorías críticas (DD: datos insuficientes; LC: preocupación menor; NT: casi amenazadas); mientras 60 especies (2,9% del total de especies actualizadas) hacen parte de las categorías vulnerables (VU), en peligro de extinción (EN) o en peligro crítico de extinción (CR). Por otro lado, a nivel nacional solo se tienen en cuenta las especies catalogadas en las últimas tres categorías descritas (VU, EN y CR), contabilizándose 71 (3,5% del total de especies actualizadas). En ambas listas coinciden el coral cuerno de venado *Acropora cervicornis*, el pez sierra *Pristis pectinata*, el sábalo *Megalops atlanticus*, los meros Nassau *Epinephelus striatus* y Goliat *Epinephelus itajara*, las tortugas carey *Eretmochelys imbricata*, caguama *Caretta caretta* y laúd *Dermostichelys coriacea*, el pavón colombiano *Crax alberti*, el tapir *Tapirus terrestris* y el mono tití cabeza blanca *Saguinus oedipus*, como las especies más críticas de la región marino y costera de los departamentos de Antioquia y Córdoba.

En cuanto a la posibilidad de uso de las especies por el ser humano (e.d. recurso hidrobiológico), se encontraron 474 especies de las 2.037 que actualmente se usan como alimento (75,5% de las especies), culturalmente (31,0%), industrialmente (1,7%) o tiene funciones importantes ecológicamente (4,4%). Cabe resaltar que la mayoría de las especies solo se clasifican en una de las cuatro categorías mencionadas (87,6%), mientras que pocas tienen más de dos usos (12,4%). Ejemplo de algunas de las especies categorizadas como recurso hidrobiológico y que además se encuentran en la lista nacional como especies amenazadas son los caracoles casco del Caribe *Cassis tuberosa* y burgao *Cittarium pica*, el cangrejo terrestre azul *Cardisoma guanhumi*, la langosta espinosa *Panulirus argus*, los tiburones sedoso *Carcharhinus falciformis* y martillo común *Sphyrna lewini*, y los peces lisa común *Mugil liza*, la mojarra *Eugerres plumieri*, el pez loro *Scarus guacamaia* y el bagre marino *Cathorops mapale*.

En cuanto a las especies migratorias, se encontró que 192 de las 2.037 especies que fueron actualizadas (9,4%), presentaron algún tipo de migración, ya sea nacional o internacional, longitudinal o latitudinal, por época climática o reproductiva. Todas las especies fueron del grupo de los vertebrados, siendo las aves las de mayor número de especies migratorias (134 de 497 especies; – 27,0% –), pero en relación al total de las especies registradas por grupo, fueron los elasmobranchios los que presentaron un mayor número de especies migratorias (14 de 41 especies – 34,1% –), seguido de las aves y los mamíferos (13 de 59 especies: – 22,0% –). Por otro lado, las especies migratorias de los peces óseos y reptiles fueron las menos representativas (27 de 386 especies: – 7,0% – y 4 de 58 especies: – 6,9% – respectivamente). Ejemplo de especies migratorias son el Chucho pintado *Aetobatus narinari*, el tiburón aleta punta negra *Carcharhinus limbatus*, la tintorera *Prionace glauca*, el bagre rollera *Ageneiosus pardalis*, la dorada *Brycon sinuensis*, el jurel patudo *Caranx sexfasciatus*, el atún menor *Euthynnus alletteratus*, la tortuga caguama *Caretta caretta*, el garzón migratorio *Ardea herodias*, el pato collarejo *Aythya collaris*, el playero blanco *Calidris alba*, el pisingo *Dendrocygna autumnalis*, el halcón peregrino *Falco peregrinus*, las ballenas de Bryde *Balaenoptera edeni* y asesina *Orcinus orca*, y el delfín giratorio *Stenella longirostris*.

#### 1.3.5.2 Información cartográfica

En la estructuración de la información cartográfica de los MSA-HC preliminares, se delimitaron los datos a la zona costera del área de influencia de los bloques marítimos de exploración y explotación de hidrocarburos FUERTE SUR, PURPLE ANGEL, y COL 5 que se encuentran ubicados frente a los departamentos de Córdoba y Antioquia.

Posteriormente, se revisó el sistema de referencia de los datos recopilados para verificar el sistema de referencia, la información cartográfica que estuviera en un Datum distinto al MAGNA-SIRGAS, que es el Datum oficial para los datos marinos y costeros en Colombia se le realizó un proceso de reproyección para ajustar su posición geográfica y que quedarán en el siguiente sistema de referencia:

#### PARÁMETROS SISTEMA DE REFERENCIA

DATUM

GCS\_MAGNA

WKID: 4686 Authority: EPSG

Angular Unit: Degree (0,0174532925199433) Prime Meridian: Greenwich (0,0)

Datum: D\_MAGNA Spheroid: GRS\_1980

Semimajor Axis: 6378137,0

Semiminor Axis: 6356752,314140356

Inverse Flattening: 298,257222101

Por último, toda la información cartográfica recopilada se organizó y almacenó en un repositorio llamado Geodatabase, un formato de la compañía ESRI que permite el almacenamiento comprimido y organizado de la información cartográfica, el cuál evita que la información se corrompa y hace que esta ocupe menos espacio de almacenamiento.

### *1.3.6 Análisis de los datos*

Se organizó y codificó la información almacenada en la base de datos final de especies que hacen parte del componente de recursos biológicos. A continuación, se describen los resultados.

#### **1.3.6.1 Base de datos de recursos biológicos sensibles (Especies)**

A partir de los atributos de grado de amenaza, recurso hidrobiológico y migración, se determinó una lista con 648 especies con prioridad de conservación. Sin embargo, luego de una revisión detallada por los investigadores, se redujo este listado a 374 especies que serán las que aparecerán en los mapas de ubicación de recursos biológicos sensibles a derrame de hidrocarburos de esta primera etapa del proceso MSA-HC. La reducción de la lista se basó en la sustracción de especies que están representadas en los mapas de ecosistemas, como por ejemplo los árboles de mangle, los pastos marinos y los corales; además de especies que, por su forma de vida no se acercan a la línea de costa para cumplir con procesos ciclos importantes su ciclo de vida como reproducción, y alimentación. El listado final de las especies corresponde al 18,4% del total de especies actualizadas (2.037 especies) y al 34,6% de ocurrencias totales (20.231 ocurrencias efectivas).

En el departamento de Antioquia se presentaron 13.523 ocurrencias (66,8% del total de la base de datos seleccionada), con un total de 1.025 puntos geográficos distintos con información biológica. Para el departamento de Córdoba, el número de ocurrencias fue de 6.708 (33,2% del total de la base de datos seleccionada), con un total de 413 puntos geográficos. En ambos casos, la mayoría de la información se concentró en áreas de manglar o de arrecifes coralinos; sin embargo, se tiene una buena representación de todo el litoral de ambos departamentos.

En cuanto al número de especies, el departamento de Antioquia presentó 233 (62,30% del total de especies seleccionadas), mientras que el departamento de Córdoba presentó una mayor riqueza, con 328 especies (87,70% del total de especies seleccionadas) (Anexo 1). En ambos departamentos, los peces y las aves representan la mayoría de las especies reportadas, manteniendo un número similar de especies de mamíferos y reptiles; y el departamento de Córdoba casi duplica las especies pertenecientes a los invertebrados. Ambos departamentos comparten la mitad del total de las especies seleccionadas, siendo los grupos de reptiles, aves y mamíferos los que más número de especies tienen en común. Esto puede ser debido a que las especies de esos grupos poseen una mayor capacidad de migración o movilidad respecto a algunos peces e invertebrados.

### 1.3.6.2 Codificación base de datos recursos biológicos sensibles (Especies)

La ubicación de la simbología del recurso biológico sensible se basó en la subdivisión de zona costera y marina en 43 polígonos (Figura 52). Estos se basaron en la ubicación de los puntos geográficos y de los diferentes tipos de ambientes. En el caso del departamento de Córdoba, se ubicaron 18 polígonos, siendo el sector de la bahía de Cispatá (sector más nororiental), el que más ambientes presentó. Por otro lado, en el departamento de Antioquia se ubicaron 25 polígonos, siendo el sector interno del Golfo de Urabá (sector más suroccidental), el que más ambientes presentó. En ambos departamentos, el número de polígonos coincidió con la mayor diversidad de especies y número de ocurrencias reportadas.

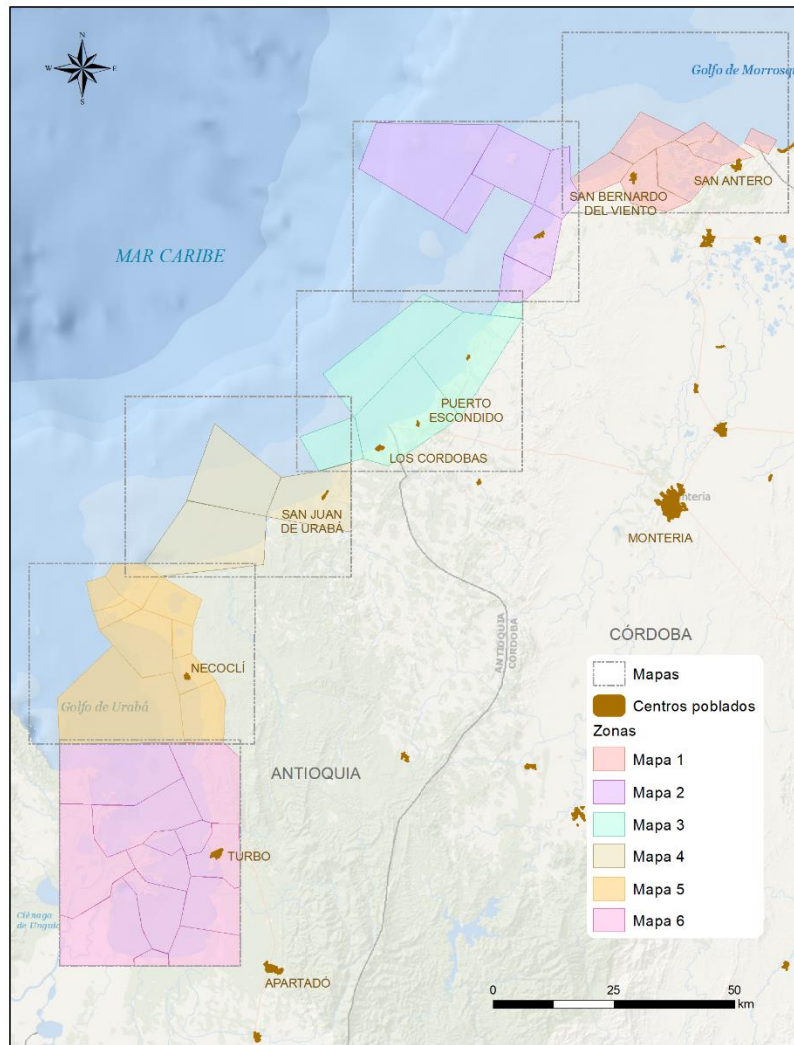


Figura 52. Polígonos de agrupación para codificación de especies.

### 1.3.7 Producción cartográfica

Para el diseño y producción cartográfica en esta primera etapa se tuvieron en cuenta el área de estudio, la escala gráfica y el tipo de información geográfica a representar tanto de los recursos biológicos como de recursos socioeconómicos. La información recopilada de fuentes secundarias para los dos componentes fue insumo en la generación de los mapas de la ubicación de recursos biológicos y socioeconómicos sensibles a derrame de hidrocarburos, esta fue dividida en tres grupos para lograr una apropiada representación en los mapas y una correcta lectura por parte de los usuarios: (1) Especies, (2) Ecosistemas y áreas de protección, (3) Información socioeconómica. La mayoría de los datos mapeados utilizaron para su representación la simbología que ha sido estandarizada hasta el momento y que fue recopilada de trabajos previos.

Los mapas serán a escala 1:100.000, según este criterio se realizó el diseño de las plantillas de los mapas MSA-HC preliminares y se determinó la distribución de estos para la zona costera de los departamentos de Córdoba y Antioquia como se muestra en la Figura 53.

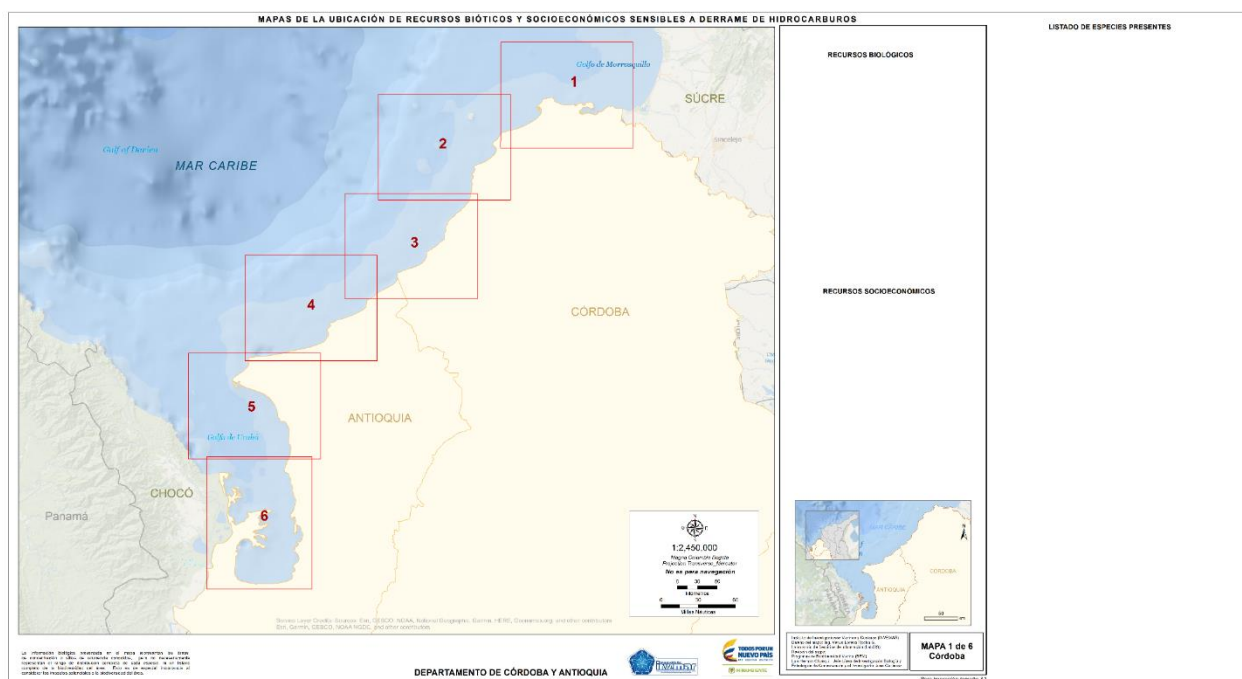


Figura 53. Distribución de los mapas MSA-HC para los departamentos de Córdoba y Antioquia.

#### 1.3.7.1 Mapas de la ubicación de recursos biológicos sensibles a derrame de hidrocarburos (Especies).

Estos mapas muestran la información biológica resultado del análisis de datos de especies para los mapas MSA-HC, proveniente de la recopilación bibliográfica para la zona marina y costera de Córdoba y Antioquia. Para una mejor comprensión de esta información se crearon 6 mapas que

muestran las especies sensibles a derrame de hidrocarburos y los ecosistemas de manglar, pastos marinos y formaciones coralinas. Su representación se basó en la simbología de especies



de MSA-HC anteriores (

Figura 47. ), la cual fue actualizada según la nueva información de especies incorporada a la base de datos (Figura 54).



Figura 54. Simbología especies, recursos biológicos. Fuente: Propia del proyecto.

Detallando más la información geográficamente, se encontró que el mayor número de especies totales, así como de especies con algún atributo relevante (especies amenazadas, migratorias y de importancia comercial) se encontraron en los extremos geográficos de ambos departamentos (Tabla 28).

Tabla 28. Información general del recurso biológico según la estructuración de los MSA-HC

Mapa	Depto	Sector (Municipios)	Ocurr	Total	Amenazadas	Especies	
						Migratorias	Recurso hidrobiológico
Mapa 1	Córdoba	San Antero -San Bernardo del Viento (Cispatá)	5529	209	40	84	138
Mapa 2	Córdoba	San Bernardo del Viento- Moñitos	998	214	33	58	171
Mapa 3	Córdoba	Puerto Escondido - Los Córdoba	489	124	15	43	95
Mapa 4	Antioquia	Necoclí-Arboletes	757	110	17	15	108
Mapa 5	Antioquia	Necoclí (Golfo de Urabá)	4866	148	22	59	103
Mapa 6	Antioquia	Turbo	7592	174	23	63	122

Por un lado, en el departamento de Córdoba se encuentra el Distrito de Manejo Integrado Cispatá, La Balsa y Tinajones (Figura 55) que alberga un gran número de especies debido a que en esta región se encuentran ecosistemas sensibles y biodiversos como los manglares, pastos marinos y sectores de inundación temporal influenciados por la desembocadura del río Sinú. Además, costa afuera se encuentran formaciones coralinas (Figura 56) que albergan un gran número de especies de peces comerciales, convirtiéndose en un sector de gran potencial pequero.

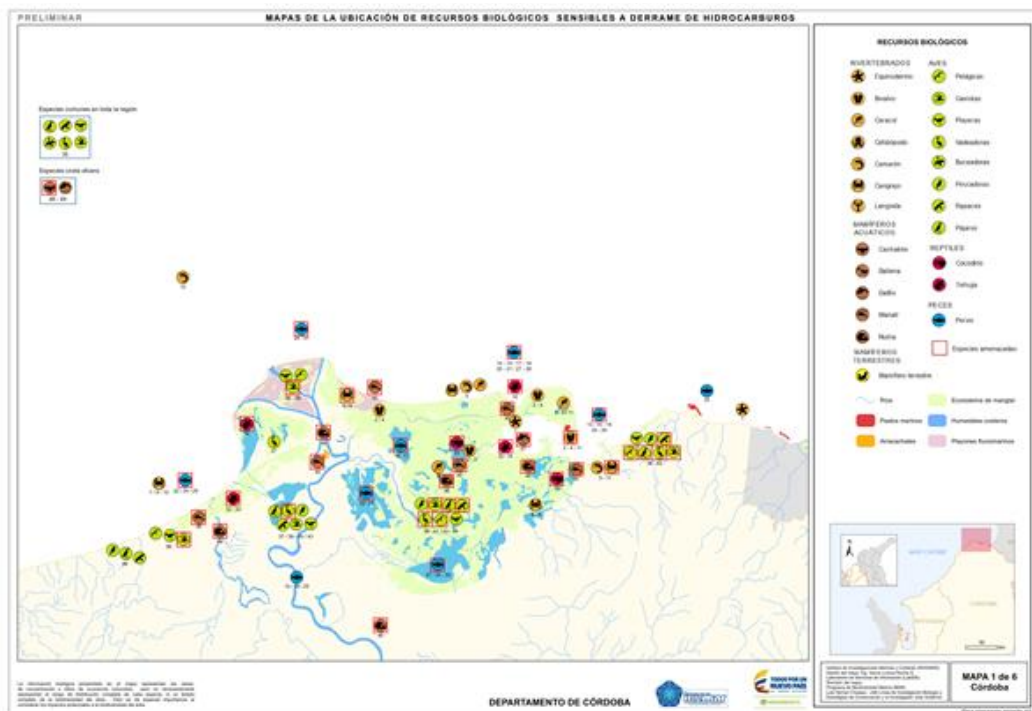


Figura 55. Mapa 1 de Especies Sensibles, Córdoba 1 (VER ANEXO 2).



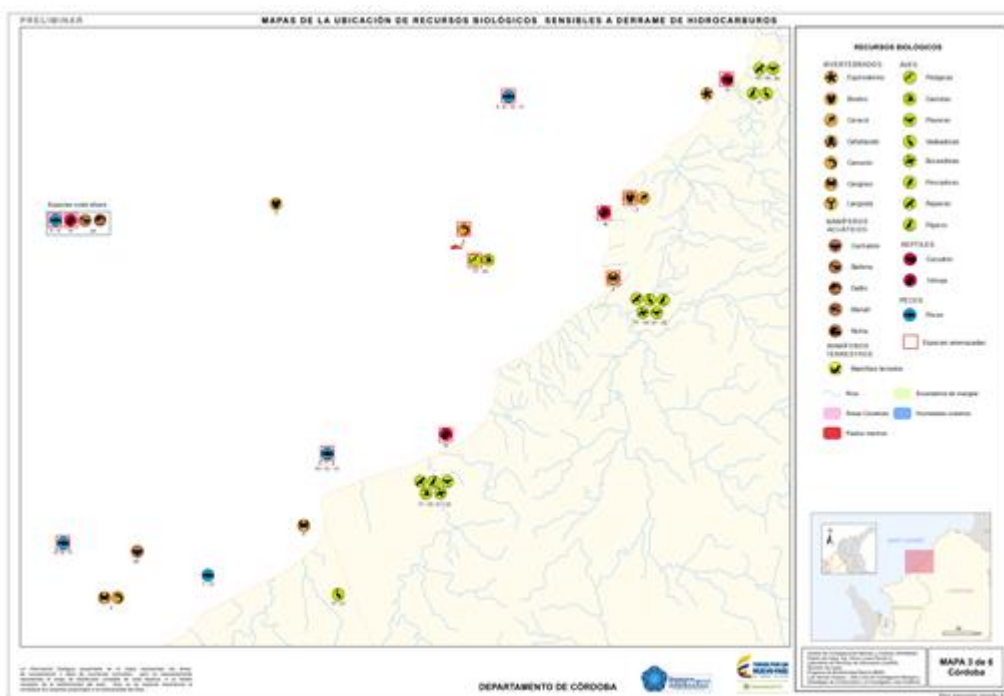


Figura 57. Mapa 3 de Especies sensibles, Córdoba 3 (VER ANEXO 4).

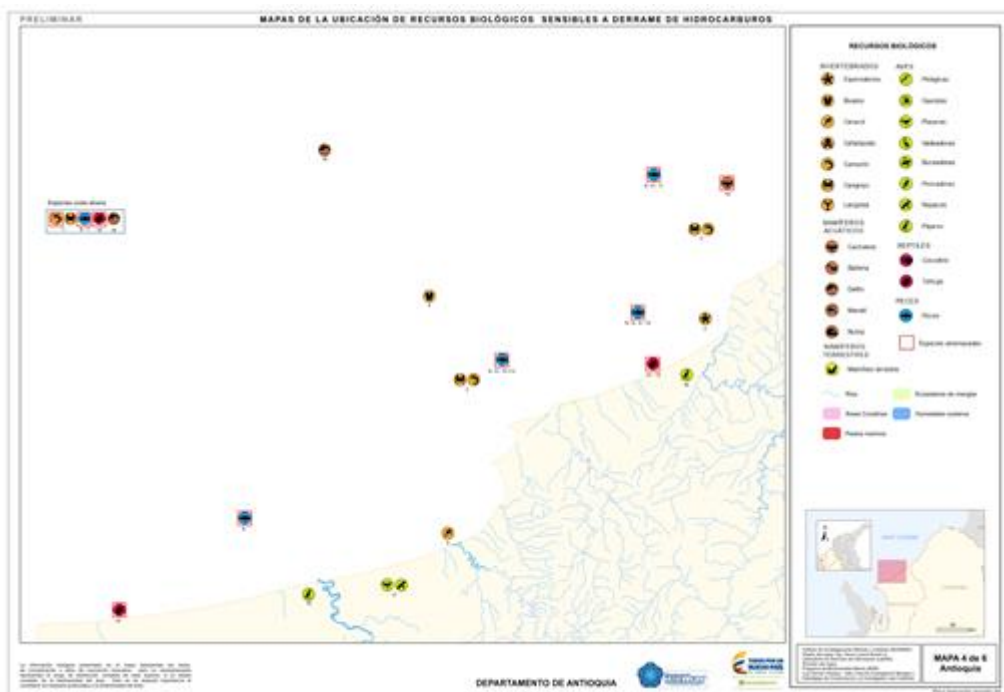


Figura 58. Mapa 4 de Especies sensibles, Antioquia 4 (VER ANEXO 5).

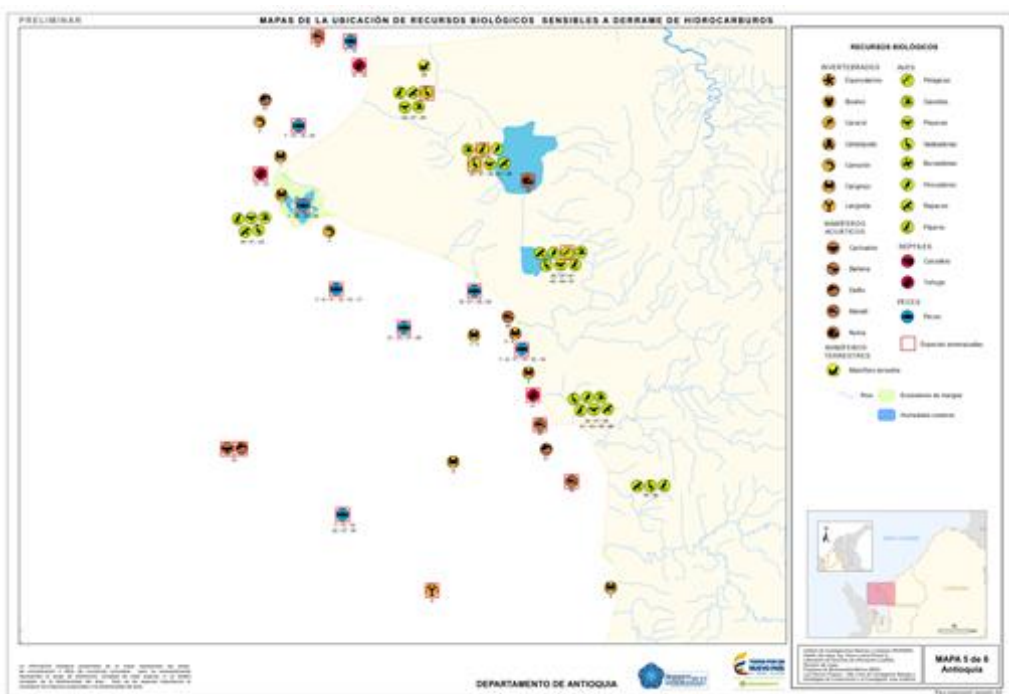


Figura 59. Mapa 5 de Especies sensibles, Antioquia 5 (VER ANEXO 6).

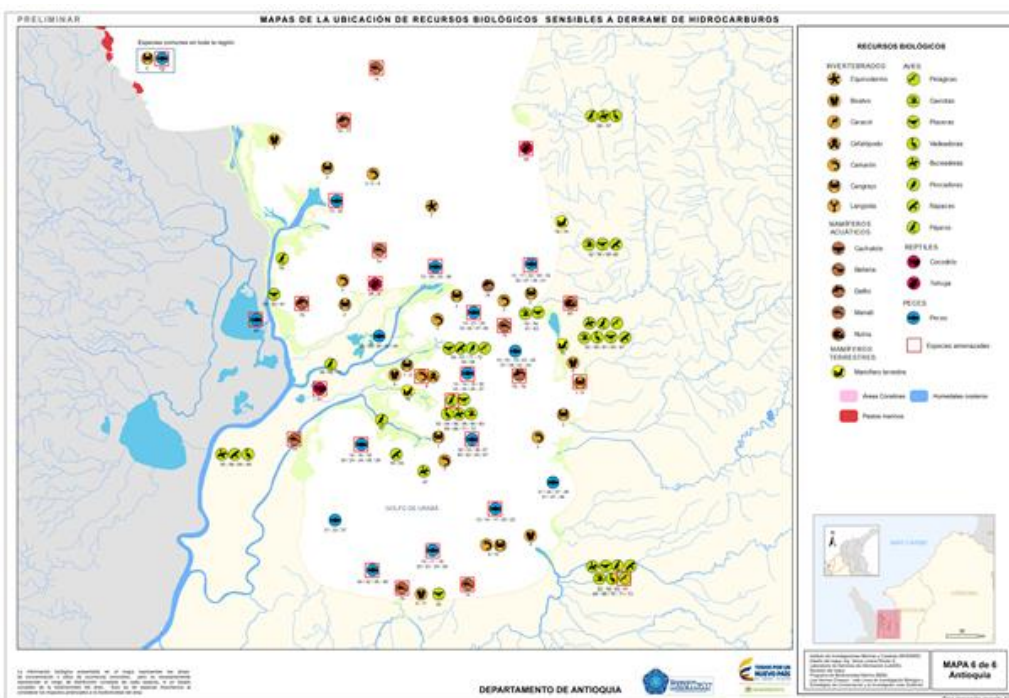


Figura 60. Mapa 6 de Especies sensibles, Antioquia 6 (VER ANEXO 7).

### 1.3.7.2 Mapas de la ubicación de recursos biológicos sensibles a derrame de hidrocarburos (ecosistemas y áreas protegidas).

Son seis mapas para la zona marina y costera de Córdoba y Antioquia, en donde se visualiza la información relacionada a ecosistemas, áreas significativas para la biodiversidad y áreas protegidas, utilizando como insumo la información recopilada de las bases de datos del SIAM, SIAC, PNN (Figura 61, Figura 62 y Figura 63).

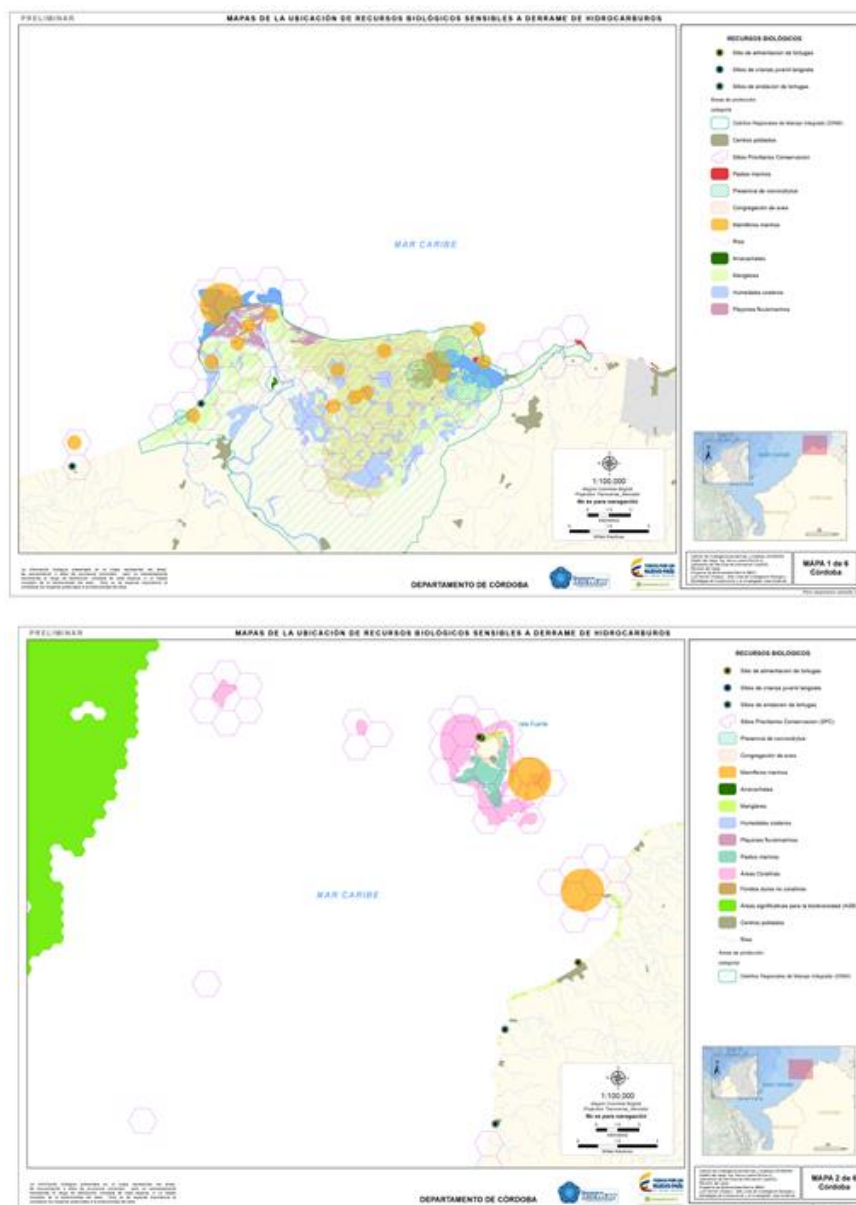


Figura 61. Mapa 1 y 2 Recursos biológicos (ecosistemas y áreas protegidas), Córdoba (VER ANEXO 8 y 9).



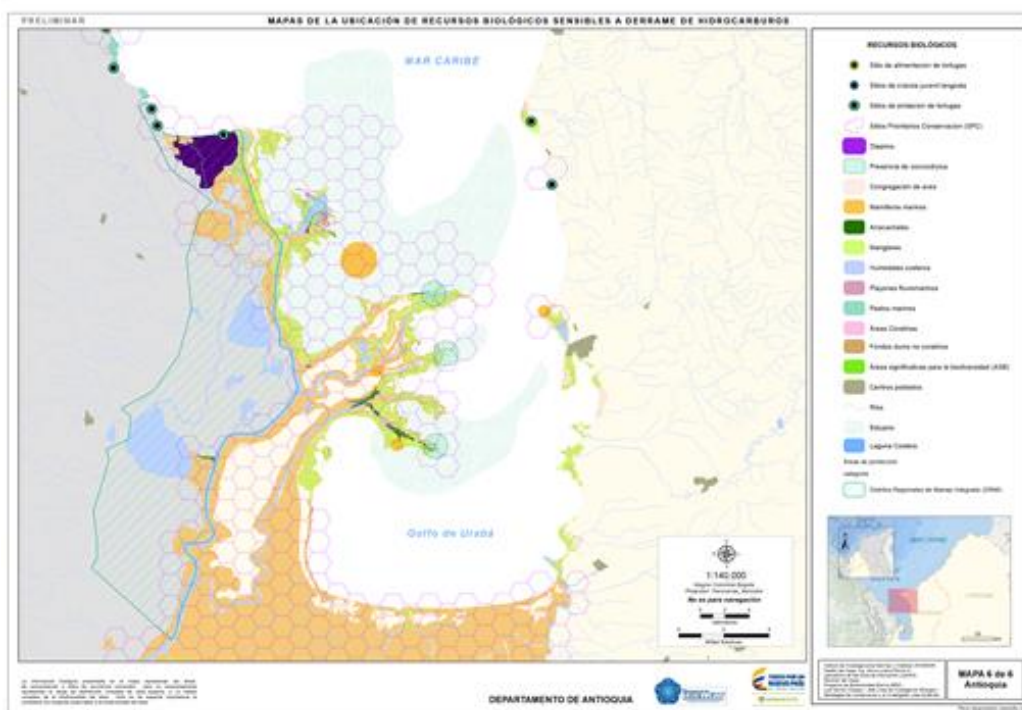
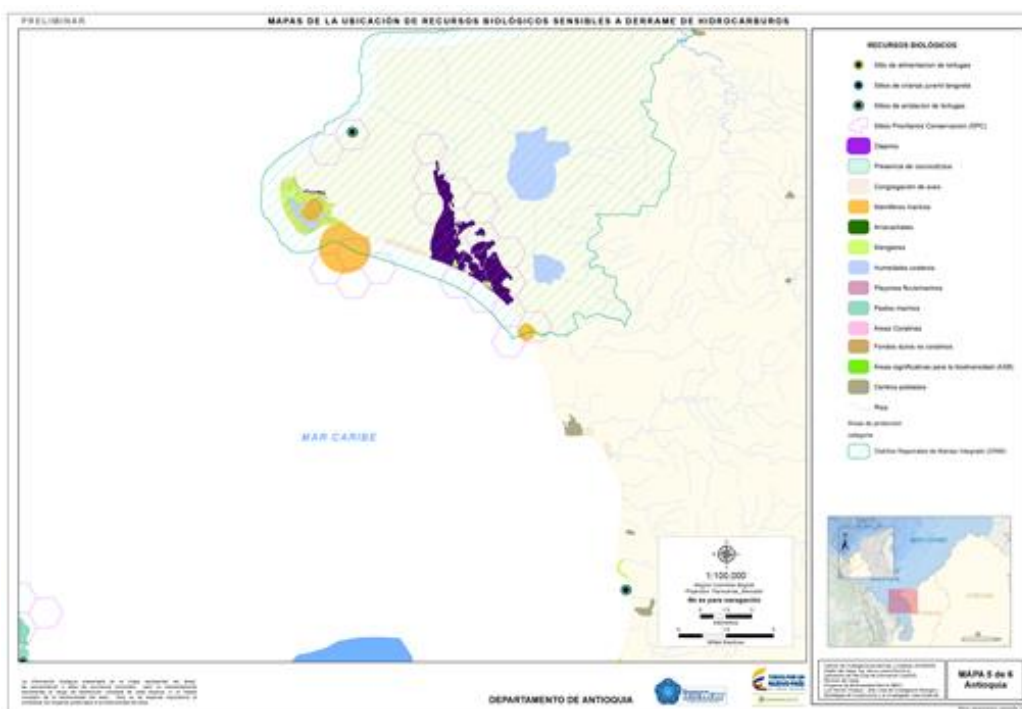


Figura 63. Mapas 5 y 6 Recursos biológicos (ecosistemas y áreas protegidas), Antioquia (VER ANEXO 12 y 13).

### 1.3.7.3 Mapas de la ubicación de recursos socioeconómicos sensibles a derrame de hidrocarburos.

Son seis mapas que muestran la información cartográfica recopilada de las bases de datos del SIAM e IGAC para el componente socioeconómico de la zona marina y costera de Córdoba y Antioquia, en estos mapas se puede visualizar la información de los sitios prioritarios de conservación, caladeros de pesca, rutas de pesca, y poblaciones costeras del área de interés (Figura 64, Figura 65, Figura 66y Figura 67).

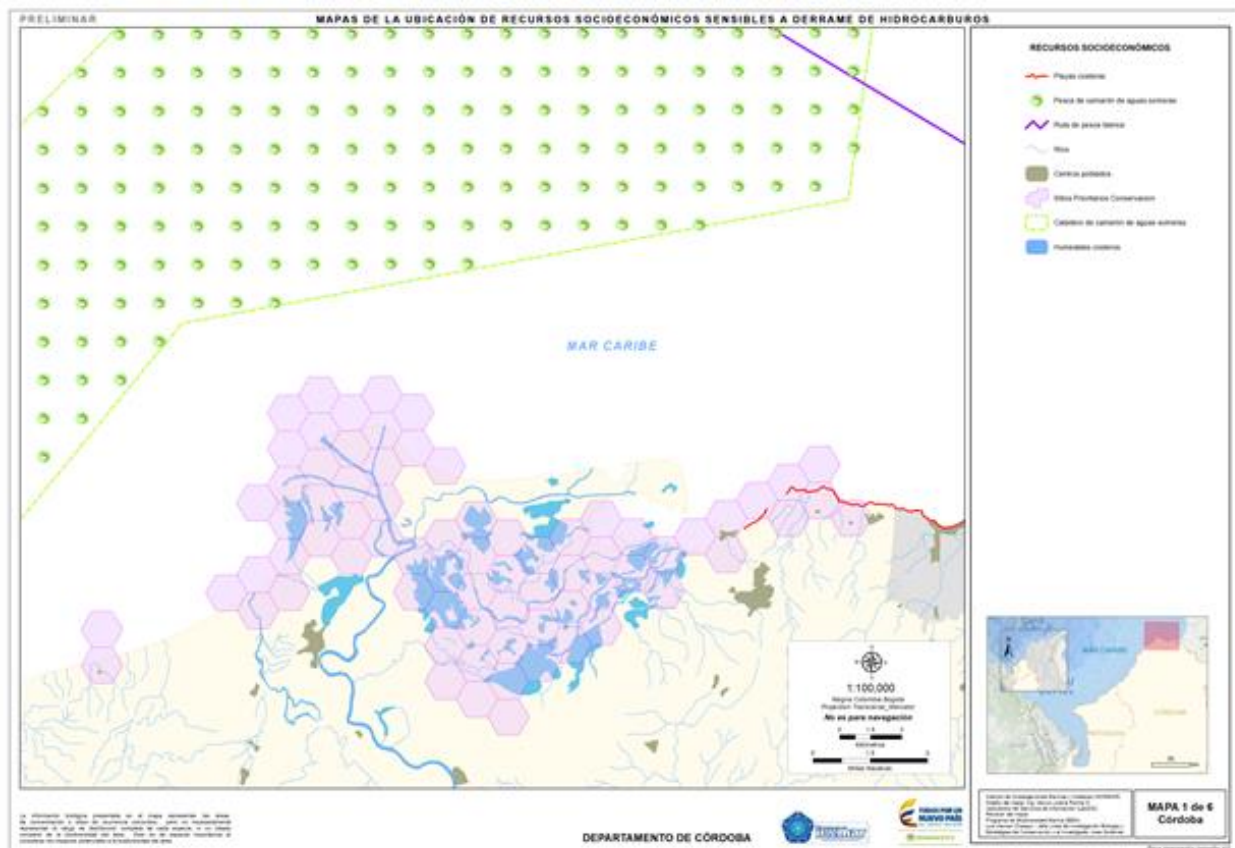


Figura 64. Mapas 1 Recursos socioeconómicos Córdoba 1 (VER ANEXO 14).

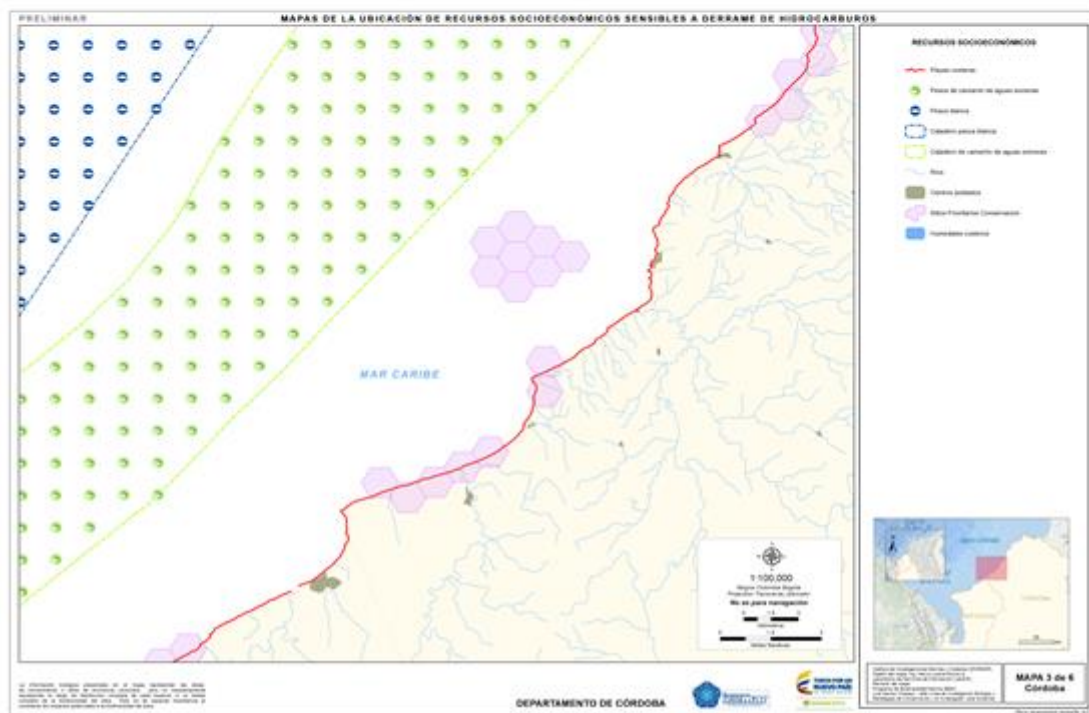
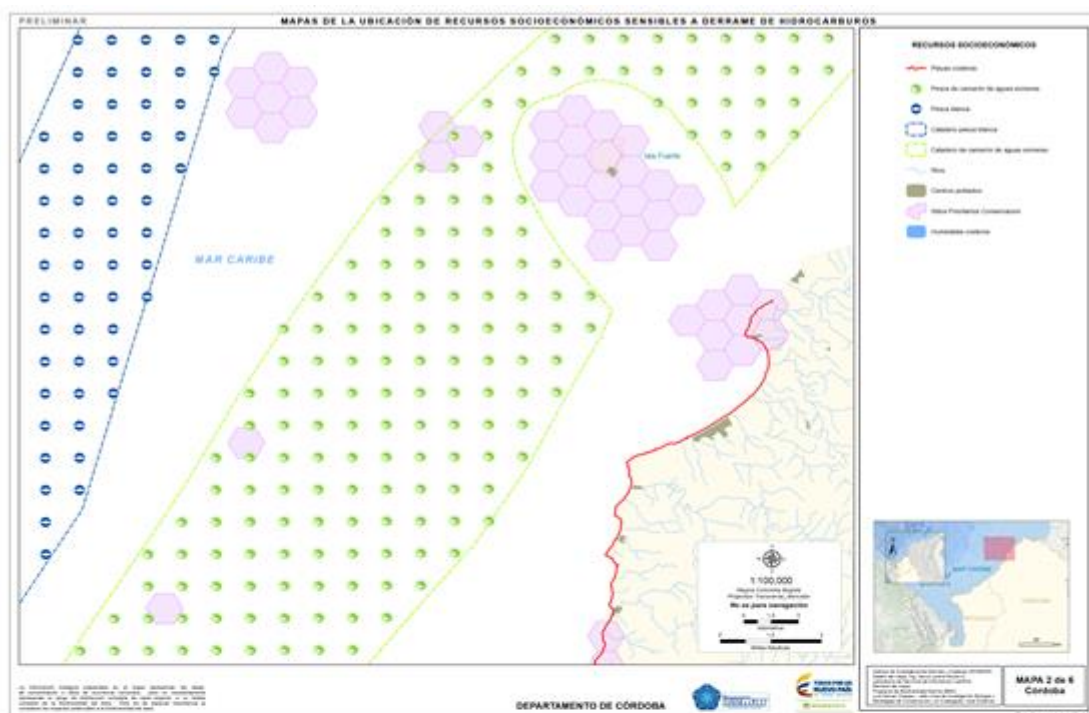


Figura 65. Mapas 2 y 3 Recursos socioeconómicos Córdoba (VER ANEXO 15 y 16).

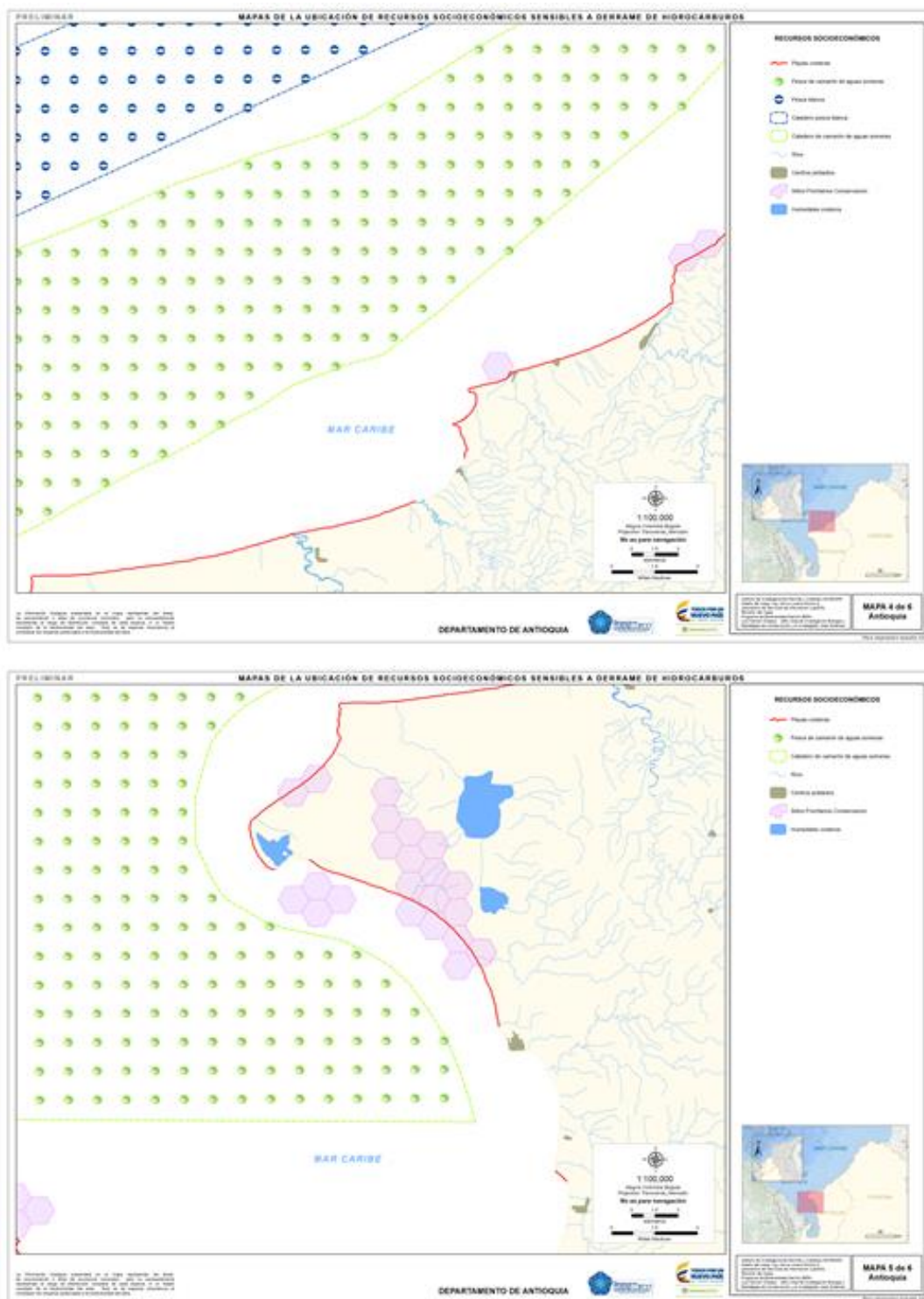


Figura 66. Mapas 4 y 5 Recursos socioeconómicos Antioquia (VER ANEXO 17 y 18).

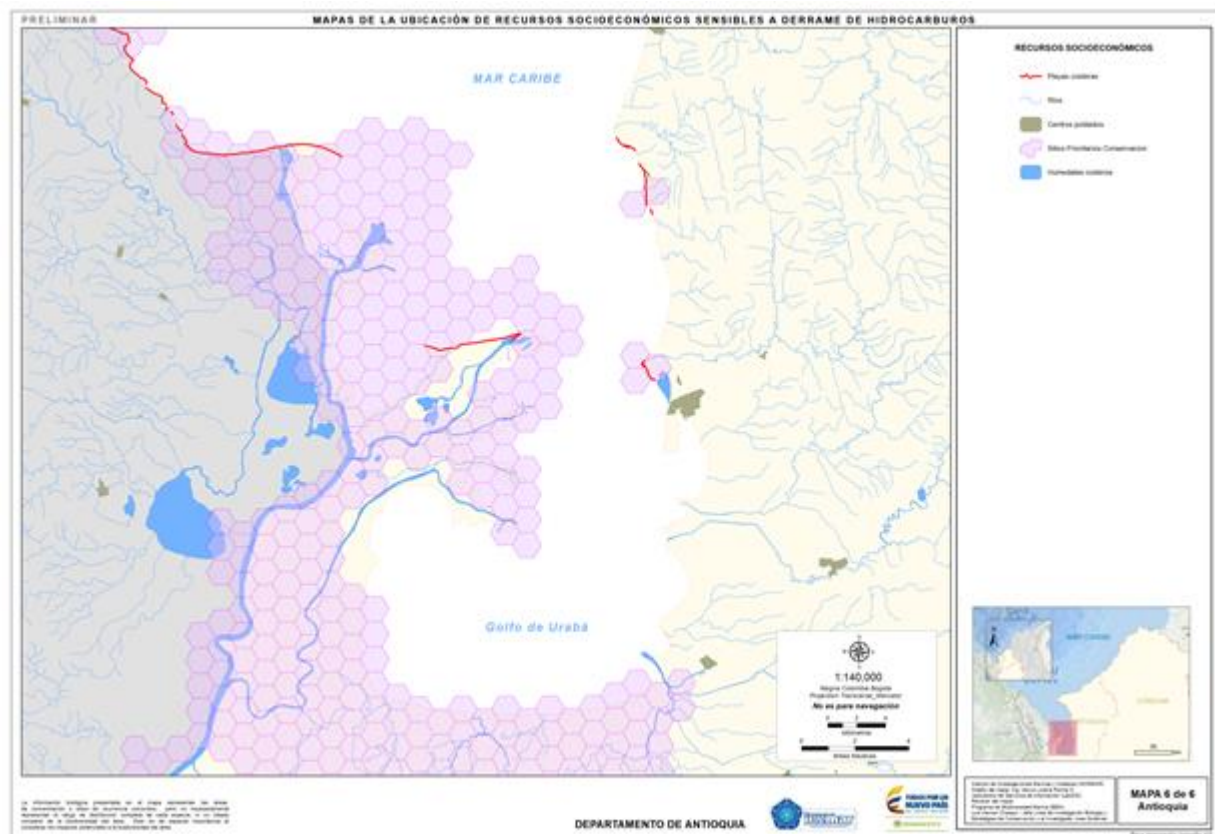


Figura 67. Mapas 6 Recursos socioeconómicos Antioquia (VER ANEXO 19).

## 1.4 Bibliografía

- Amaya-Espinel, J.D. y L.A. Zapata (Eds.). 2014. Guía de las especies migratorias de la biodiversidad en Colombia. Insectos, murciélagos, tortugas marinas, mamíferos marinos y dulceacuícolas. El Bando Creativo, Bogotá, Colombia.
- Cárdenas-Aguilar, E., J.M. Gutiérrez-Salcedo, N. Villamizar y D.A. Alonso-Carvajal. 2013. Diagnóstico de los recursos hidrobiológicos asociados a los ecosistemas marinos, costeros e insulares de Colombia. Informe Técnico Final No. Convenio Interadministrativo N° 57 MADS-INVEMAR, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR, Santa Marta, Colombia.
- INVEMAR. 2017. Mapas de Sensibilidad Ambiental a Hidrocarburos. En *Formulación de lineamientos, medidas de conservación, manejo y uso de ecosistemas marinos y costeros, con la intención de apoyar acciones de fortalecimiento en la gestión ambiental de las zonas costeras de Colombia* (pp. 12–39).

- Naranjo, L.G., J.D. Amaya, D. Eusse-González y Y. Cifuentes-Sarmiento (Eds.). 2012. Guía de las Especies Migratorias de la Biodiversidad en Colombia. Aves. El Bando Creativo, Bogotá, Colombia.
- NOAA. 2020. *Environmental Sensitivity Index (ESI) Maps and Data* / [response.restoration.noaa.gov](https://response.restoration.noaa.gov).  
<https://response.restoration.noaa.gov/resources/environmental-sensitivity-index-esi-map>
- Vides, M., y Alonso, D. 2019. *Integración, análisis y diagnóstico de información de línea base ambiental de la cuenca Caribe como apoyo a nuevas a fronteras del desarrollo del sector de hidrocarburos costa afuera. Informe Técnico Final. Convenio 399-19.*  
<http://anh.invemar.org.co/proyectos>
- Wotherspoon, P., D. Marks, L. Solsberg, y M. West, 1997. *Guía para el desarrollo de mapas de sensibilidad ambiental para la planificación y respuesta ante derrame de hidrocarburos.*
- Zapata, L.A. y J.S. Usma (Eds.). 2013. Guía de las especies Migratorias de la Biodiversidad en Colombia. Peces. El Bando Creativo, Bogotá, Colombia.