

# ESTUDIO TÉCNICO AMBIENTAL DE LÍNEA BASE EN EL ÁREA DE EVALUACIÓN COL 3 SOBRE LA CUENCA SEDIMENTARIA DEL CARIBE COLOMBIANO

INFORME TÉCNICO FINAL  
PRY-BEM-13-17-ITF





# ESTUDIO TÉCNICO AMBIENTAL DE LÍNEA BASE EN EL ÁREA DE EVALUACIÓN COL 3 SOBRE LA CUENCA SEDIMENTARIA DEL CARIBE COLOMBIANO

PRY-BEM-013-17 - ITF

## CUERPO DIRECTIVO INVEMAR

### Director General

Francisco Armando Arias Isaza

### Subdirector Coordinación Científica (SCI)

Jesús Antonio Garay Tinoco

### Subdirectora Recursos y Apoyo a la Investigación (SRA)

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 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 (VAR)

Mario E. Rueda Hernández

### Coordinador Servicios Científicos (CSC)

Julian Betancourt Portela



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

a) Si cita todo el informe: Vides M., M. Santos-Acevedo y D. Alonso (Eds.). 2017. Estudio técnico ambiental de línea base en el área de evaluación COL 3 sobre la cuenca sedimentaria del Caribe Colombiano. Informe Técnico Final. Convenio 139-17. ANH- INVEMAR. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés, Santa Marta. 376 p.

a) Si cita un capítulo: Autor(es). 2017. Nombre del capítulo. pp. En: Informe.



Calle 25 No. 2 -55 Playa Salguero – Rodadero, Santa Marta, Colombia. PBX: (57) (5) 4328600

Fax: (57) (5) 4380801, <http://www.invemar.org.co>

## COORDINACIÓN DEL PROYECTO

### INVEMAR

### ANH

David Alonso Carvajal  
Martha Patricia Vides C.

Edgar Emilio Rodriguez B.  
Anny Lizette Castillo C.

## GRUPO DE INVESTIGACION

### Programa BEM

Karen Ayala  
Ana Gonzalez  
Luis Rangel  
Fernando Dorado  
Eugenio Escarría  
Jose M. Gutierrez  
Karla Contreras  
Manuel Garrido  
Maria Mutis  
Eliana Barros  
Sara Guzmán  
Adibe Cárdenas  
Leonel Fernandez  
Sandra Pareja  
Catalina Arteaga  
Carlos Benítez  
Israel Caicedo  
Andrea Polanco+

### Programa VAR

Juan S. Cortes  
Laura Londoño  
Cristina Cedeño  
Erika Montoya-Cadavid  
Eliana Barrios  
Constanza Ricaurte  
Magnolia Murcia  
Laura Catalina Cantor  
Andrés Ordóñez  
Paola Andrea Quintero  
David Morales  
Martha Bastidas  
Cesar A. Bernal.  
Luisa Espinoza

### Programa GEO

Alfredo Rodríguez  
Anyela Velázquez  
Diana García  
Eylin Jiménez  
Fabián Escobar  
Harold Castillo-Navarro  
Javier Gómez-León  
Jose Correa-Daza  
Katerine Carreño  
Laura Jutinico  
Lina Blandón  
Mario Rueda  
Marisol Santos-Acevedo  
Marynes Quintero  
Mayra Ávila  
Sarith Salas-Castro

### Programa CAM

Andrés Ordóñez  
Laura Catalina Cantor  
Andrés Ordóñez  
Paola Andrea Quintero  
David Morales  
Martha Bastidas  
Cesar A. Bernal.  
Luisa Espinoza

## GRUPO DE APOYO

Laboratorio de Calidad Ambiental Marina  
Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica  
Fundación OMACHA

Imagen portada: Organismos y diferentes análisis realizados COL3

Diciembre de 2017 - Santa Marta - Colombia



# Tabla de contenido

|  |    |
|--|----|
| I. ESTUDIO OCEANOGRÁFICO Y GEOSFÉRICO DE LA INFLUENCIA DEL RÍO MAGDALENA EN LA ZONA.....   | 32 |
| 1 Alcance .....  | 32 |
| 1.1 Alcance general.....   | 32 |
| 1.2 Alcances específicos .....   | 32 |
| 2 Problema y su justificación.....   | 32 |
| 3 Desarrollo/Hallazgos/Resultados .....  | 33 |
| 3.1 Metodología.....   | 33 |
| 3.1.1 Estimar el aporte del río Magdalena en términos de nutrientes y cómo incide en las variables oceanográficas de la zona de estudio..... | 33 |
| 3.1.2 Circulación marina y dinámica de la pluma turbia del río Magdalena durante la época de muestreo .....                                  | 37 |
| 3.1.3 Evaluar el flujo de sedimentos provenientes del río Magdalena condicionados por las geoformas del fondo marino. ....                   | 38 |
| 3.2 Presentación de los Hallazgos y Resultados:.....   | 41 |
| 3.2.1 Estimar el aporte del río Magdalena en términos de nutrientes y cómo incide en las variables oceanográficas de la zona de estudio..... | 41 |
| 3.2.2 Variables oceanográficas .....   | 48 |
| 3.2.3 Dinámica de la pluma turbia del río Magdalena .....  | 59 |
| 3.2.4 Imágenes satelitales .....   | 63 |
| 3.2.5 Evaluar el flujo de sedimentos provenientes del río Magdalena condicionados por las geoformas del fondo marino. ....                   | 65 |
| 4 Conclusiones .....   | 73 |
| 5 Recomendaciones .....  | 74 |
| 6 Bibliografía.....  | 74 |
| II. LEVANTAMIENTO DE LÍNEA BASE CALIDAD DE AGUAS Y SEDIMENTOS.....   | 80 |
| 1 Alcance .....  | 80 |
| 2 Problema y su justificación.....   | 80 |
| 3 Desarrollo/Hallazgos/Resultados .....  | 80 |
| 3.1 Metodología utilizada .....  | 80 |
| 3.2 Presentación de los Hallazgos y Resultados: .....  | 83 |
| 3.2.1 Calidad de aguas.....  | 83 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 3.2.2 | Calidad de sedimentos.....                                | 88  |
| 3.3   | Cartografía temática.....                                 | 92  |
| 4     | Conclusiones .....  | 95  |
| 5     | Recomendaciones .....                                     | 95  |
| 6     | Bibliografía.....   | 95  |
| III.  | CARACTERIZACIÓN DE COMUNIDADES BIOLÓGICAS.....            | 98  |
| 1     | Alcance .....   | 98  |
| 2     | Problema y justificación .....                            | 98  |
| 3     | Desarrollo/Hallazgos/Resultados.....                      | 99  |
| 3.1   | Comunidad planctónica .....                               | 99  |
| 3.1.1 | Metodología .....   | 100 |
| 3.2   | Resultados comunidad fitoplanctónica.....                 | 106 |
| 3.2.1 | Análisis cualitativo .....                                | 106 |
| 3.2.2 | Análisis cuantitativo .....                               | 109 |
| 3.2.3 | Discusión de resultados .....                             | 113 |
| 3.2.4 | Conclusiones.....   | 116 |
| 3.3   | Resultados comunidad zooplanctónica .....                 | 117 |
| 3.3.1 | Análisis cualitativo .....                                | 117 |
| 3.3.2 | Análisis cuantitativo .....                               | 120 |
| 3.3.3 | Discusión de resultados .....                             | 125 |
| 3.3.4 | Conclusiones.....   | 130 |
| 3.4   | Resultados de la comunidad ictioplanctonica.....          | 130 |
| 3.4.1 | Análisis cualitativo .....                                | 130 |
| 3.4.2 | Análisis cuantitativo .....                               | 133 |
| 3.4.3 | Discusión de resultados .....                             | 144 |
| 3.4.4 | Conclusiones.....   | 150 |
| 3.5   | Comunidades de la infauna bentónica .....                 | 151 |
| 3.5.1 | Macrofauna bentónica .....                                | 153 |
| 3.5.2 | Resultados comunidad macrobentónica .....                 | 155 |
| 3.5.3 | Análisis multivariado de la comunidad macrobentónica..... | 180 |
| 3.5.4 | Análisis de relación con parámetros ambientales .....     | 182 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 3.5.5 | Conclusiones.....   | 183 |
| 3.6   | Meiofauna bentónica.....  | 184 |
| 3.6.1 | Desarrollo/Hallazgos/Resultados .....   | 184 |
| 3.6.2 | Métodos .....   | 184 |
| 3.6.3 | Presentación de los Hallazgos y Resultados.....   | 187 |
| 3.6.4 | Discusión.....  | 205 |
| 3.6.5 | Conclusiones.....   | 207 |
| 3.7   | Anexo 1. Fichas de organismos.....  | 209 |
| 4     | Observaciones de fauna marina .....   | 224 |
| 4.1   | Alcance.....  | 224 |
| 4.2   | Antecedentes.....   | 224 |
| 4.3   | Metodología.....  | 225 |
| 4.3.1 | Registro de esfuerzo y de avistamientos de fauna marina.....  | 227 |
| 4.4   | Resultados de observaciones de fauna marina.....  | 228 |
| 4.4.1 | Registro de mamíferos marinos.....  | 230 |
| 4.4.2 | Registro de aves .....  | 232 |
| 4.4.3 | Registro de tortugas y peces .....  | 237 |
| 4.5   | Conclusiones .....  | 237 |
| 5     | Bibliografía.....   | 237 |
| IV.   | BIODIVERSIDAD MICROBIANA DE SEDIMENTOS MARINOS.....   | 262 |
| 1     | Alcance .....   | 262 |
| 2     | Problema y su justificación.....  | 262 |
| 3     | Desarrollo/Hallazgos/Resultados .....   | 263 |
| 3.1   | Metodología utilizada .....   | 263 |
| 3.1.1 | Recolección y almacenamiento de muestras:.....  | 263 |
| 3.1.2 | Aproximación al análisis metagenómico:.....   | 264 |
| 3.1.3 | Identificación molecular de las bacterias aisladas: .....   | 267 |
| 3.1.4 | Aislamiento de microorganismos con potencial para la producción de biosurfactantes: .....                             | 267 |
| 3.2   | Presentación de los hallazgos y resultados:.....  | 269 |
| 3.2.1 | Aproximación al análisis metagenómico y estudio de un gen funcional con potencial producción de biosurfactante: ..... | 269 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 3.2.2 | Identificación molecular de las bacterias aisladas: .....                                 | 283 |
| 3.2.3 | Aislamiento de microorganismos con potencial para la producción de biosurfactantes: ..... | 289 |
| 4     | Conclusiones .....  | 294 |
| 5     | Recomendaciones .....   | 295 |
| 6     | Bibliografía.....   | 295 |
| 7     | Anexos .....  | 301 |
| 7.1   | Anexo 1. Protocolo adaptado del kit Meta-G-Nome (Epicenter): .....                        | 301 |
| 7.2   | Anexo 2. Capacitaciones y talleres:.....  | 304 |
| 7.2.1 | Entrenamiento de un investigador científico en Corpogen: .....                            | 304 |
| 7.2.2 | Curso-taller “Metagenómica: Conceptos y Aplicaciones”: .....                              | 307 |
| 7.2.3 | Curso Internacional “Biomarcadores para diagnóstico en enfermedades infecciosas”:.....    | 314 |
| V.    | EVALUACIÓN BIOLÓGICO-PESQUERA DE LOS RECURSOS DE GRANDES PELÁGICOS .....                  | 316 |
| 1     | Alcance .....   | 316 |
| 2     | Problema y su justificación.....  | 316 |
| 3     | Desarrollo/Hallazgos/Resultados .....   | 317 |
| 3.1   | Metodología utilizada .....   | 317 |
| 3.1.1 | Composición, abundancia relativa y estructura comunitaria .....                           | 320 |
| 3.1.2 | Distribución espacial.....  | 321 |
| 3.1.3 | Densidad acústica.....  | 322 |
| 3.2   | Presentación de los Hallazgos y Resultados: .....   | 323 |
| 3.2.1 | Composición, abundancia relativa y estructura comunitaria .....                           | 323 |
| 3.2.2 | Atributos poblacionales .....   | 327 |
| 3.2.3 | Distribución espacial.....  | 329 |
| 3.2.4 | Densidad acústica.....  | 331 |
| 4     | Conclusiones .....  | 332 |
| 5     | Recomendaciones .....   | 333 |
| 6     | Bibliografía.....   | 333 |
| VI.   | ANÁLISIS DE MUESTRAS DE PISTON CORE.....  | 336 |
| 1     | Alcance .....   | 336 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 2     | Problema y su justificación.....  | 336 |
| 3     | Desarrollo/Hallazgos/Resultados .....   | 337 |
| 3.1   | Metodología utilizada .....   | 337 |
| 3.2   | Presentación de los Hallazgos y Resultados:.....  | 340 |
| 3.2.1 | Composición y abundancia global.....  | 340 |
| 3.2.2 | Descripción de los phyla macrofaunales provenientes de los núcleos de piston corer seleccionados del bloque GUA OFF 1 ..... | 343 |
| 3.2.3 | Ensamblajes de especies.....  | 355 |
| 3.3   | Avance en el conocimiento meiofaunal en muestras de piston core .....   | 361 |
| 4     | Discusión .....   | 362 |
| 5     | Conclusiones .....  | 366 |
| 6     | Bibliografía.....   | 367 |
| VII.  | BENEFICIOS DE LOS ESTUDIOS DE LÍNEA BASE MAR AFUERA, PARA EL SECTOR DE HIDROCARBUROS.....                                   | 372 |
| 1     | Beneficios en términos de información.....  | 375 |
| 2     | Beneficios en términos de nuevo conocimiento .....  | 377 |
| 3     | Beneficios de acceso a la información sin restricción.....  | 378 |
| 4     | Perspectivas futuras.....   | 378 |
| 5     | Bibliografia.....   | 378 |

## LISTA DE FIGURAS

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Figura 1. | Mapa de estaciones del crucero oceanográfico COL3 2017.in situ y de información secundaria (IDEAM, CCMP, WOA09). ....                          | 34 |
| Figura 2. | Muestra en Box Core (A) y coronador PVC (señalado con la flecha roja) para obtener el perfil de sedimento (B).....                             | 40 |
| Figura 3. | Corte a la mitad del perfil de sedimento en la estación E9, no se observa estratificación interna (A) y núcleo de perforación GC_001 (B). .... | 40 |
| Figura 4. | Ciclo anual de precipitación. Fuente de datos: Estación meteorológica Cortissoz del IDEAM desde 1972 hasta 2013.....                           | 42 |
| Figura 5. | Precipitación multianual. Fuente de datos: Estación meteorológica Cortissoz del IDEAM desde 1972 hasta 2013.....                               | 42 |
| Figura 6. | Ciclo anual de caudal del río Magdalena (1941-2015). Fuente de datos: Estación Calamar y Santa Helena IDEAM.....                               | 43 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 7. Nitratos, fosfatos, silicatos y clorofila-a a nivel superficial durante la campaña oceanográfica 2017.....  | 44 |
| Figura 8. Nitratos superficiales en la zona adyacente al bloque COL3 durante los meses de septiembre (a) y octubre (b) Fuente: WOA 09.....  | 45 |
| Figura 9. Fosfatos superficiales en la zona adyacente al bloque COL3 durante los meses de septiembre (a) y octubre (b). Fuente: WOA 09.....   | 45 |
| Figura 10. Silicatos superficiales en la zona adyacente al bloque COL3 durante los meses de septiembre (a) y octubre (b). Fuente: WOA 09.....   | 46 |
| Figura 11. Perfil de nitratos en la columna de agua en comparación con registros climatológicos de septiembre y octubre WOA09 (línea roja) (a). Perfil de fosfatos en la columna de agua en comparación con registros climatológicos de septiembre y octubre WOA09 (línea roja) (b).....      | 47 |
| Figura 12. Perfil de silicatos en la columna de agua en comparación con registros climatológicos de septiembre y octubre WOA09 (línea roja) (a). Perfil de clorofila-a en la columna de agua durante la campaña oceanográfica 2017. La línea punteada corresponde a la estación E553 (b)..... | 48 |
| Figura 13. Perfil de temperatura de la columna de agua en comparación con registros climatológicos de septiembre y octubre WOA09 (a) Perfil completo (b) identificación de termoclina.....  | 50 |
| Figura 14. Temperatura superficial del mar durante campaña oceanográfica 2017....   | 50 |
| Figura 15. Transecto de Temperatura paralelo a la costa. ....   | 51 |
| Figura 16. Transecto de Temperatura perpendicular a la costa. ....  | 52 |
| Figura 17. Perfil de salinidad comparado con climatología WOA09 .....   | 53 |
| Figura 18. Perfil de salinidad climatológico del bloque COL3 durante marzo (a) y octubre (b). Fuente: Datos WOA09.....  | 53 |
| Figura 19. Salinidad superficial del mar durante campaña oceanográfica. ....  | 54 |
| Figura 20. Transecto de salinidad paralelo a la costa, estaciones E_574, E_575, E_556, E_555, E_576.....  | 55 |
| Figura 21. Transecto de salinidad perpendicular a la costa, estaciones E_556, E_566 y E_567. ....   | 55 |
| Figura 22. Transecto de salinidad perpendicular a la costa, estaciones E_555, E_553 y E_562. ....   | 55 |
| Figura 23. Perfil de concentración de oxígeno (ml/L) de la columna de agua en comparación con registros climatológicos de septiembre y octubre WOA09. ....  | 57 |
| Figura 24. Transecto de Oxígeno disuelto paralelo a la costa, estaciones E_574, E_575 y E_556, E_555, E_576. ....   | 57 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 25. Transecto de Oxígeno disuelto perpendicular a la costa, estaciones E_556, E_566, E_567.....  | 57 |
| Figura 26. Diagrama T-S para la identificación de masas de agua durante septiembre y octubre de 2017. Fuente de datos: crucero oceanográfico ANH-COL3 2017.....   | 58 |
| Figura 27. Ciclo anual de viento en la zona de estudio. Fuente de datos: CCMP Ocean Surface Winds.....  | 59 |
| Figura 28. Rosas de viento climatológica de época seca (a) y húmeda (b). Fuente de datos: CCMP Ocean Surface Winds.....   | 60 |
| Figura 29. Altura de ola máxima Bocas de ceniza semana 16 – 22 de septiembre de 2017. Tomado de: Boya oleaje CIOH Barranquilla-Bocas de ceniza. Disponible en: ( <a href="https://www.cioh.org.co/meteorologia/ObMaritimas.php?obm=bar">https://www.cioh.org.co/meteorologia/ObMaritimas.php?obm=bar</a> )..... | 61 |
| Figura 30. Circulación marina derivada de altimetría satelital para el 27/09/2017 (a) y el 01/10/2017 (b) en el bloque COL3. Fuente de datos: COPERNICUS.....   | 62 |
| Figura 31. Corrientes marinas medidas durante el crucero oceanográfico en el bloque COL3: magnitud a los 7 m (a), dirección normalizada a los 7 m (b), magnitud a los 52 m (c), dirección normalizada a los 52 m (d).....   | 62 |
| Figura 32. Variación de las corrientes marinas con la profundidad: magnitud (a), componente Este-Oeste, U (b) y componente Norte-Sur, V (c).....  | 63 |
| Figura 33. Banda Rrs555 del sensor MODIS durante septiembre climatológico (a) y septiembre de 2017 (b). Fuente de datos: sensor MODIS (2003-2017).....  | 64 |
| Figura 34. Banda Rrs555 del sensor MODIS durante octubre climatológico (a) y octubre de 2017 (b). Fuente de datos: sensor MODIS (2013-2017).....  | 64 |
| Figura 35. Banda clorofila-a del sensor MODIS durante septiembre (a) y octubre de 2017 (b). Fuente de datos: sensor MODIS (2013-2017).....  | 65 |
| Figura 36. Geomorfología del bloque de exploración COL3, Mar Caribe colombiano..  | 66 |
| Figura 37. Representación esquemática de las características y modelo de procesos que ocurren en el delta del Magdalena durante un episodio de sedimentación en su evolución (Tomado de Kolla y Buffer, 1983). .....  | 69 |
| Figura 38. Distribución de tamaño de grano en las muestras de sedimentos correspondientes al presente proyecto, muestras otorgadas por Transmares (GC_001, GC_003), muestras del trabajo INVEMAR-ANH 2008 (E247, E262), INVEMAR-ANH 2010 (EB289, EB291) y Muñoz 1966 (V12_112, V12_113, V12_117). .....         | 70 |
| Figura 39. Sedimento con 95% de material biogénico y 5% de material terrígeno (E1) (A) y sedimento con 57% de material biogénico y 43% de material terrígeno (GC_001) (B). .....  | 71 |
| Figura 40. Distribución espacial del CaCO <sub>3</sub> desde la desembocadura del Río Magdalena hasta el Bloque COL-3. Aproximación de zonas de acuerdo a la influencia de los sedimentos provenientes del río Magdalena. ....  | 72 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 41. Mapa donde se presenta el bloque COL3 y las estaciones de muestreo de agua recolectadas a nivel superficial y profundidades de 30, 80 y 250 m.....   | 81 |
| Figura 42. Mapa donde se presenta el bloque COL3 y las estaciones de muestreo de sedimento recolectadas empleando un box corer.....   | 81 |
| Figura 43. Mapa donde se presenta el bloque COL3 y las estaciones de muestreo de sedimento recolectadas empleando un piston corer.....  | 82 |
| Figura 44. Oxígeno disuelto a nivel superficial y profundidades de 30, 80 y 250 m. La línea roja indica el criterio de calidad ( $>4,0$ mg de O <sub>2</sub> /L) para la preservación de flora y fauna establecido en el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).....           | 84 |
| Figura 45. Sólidos suspendidos totales a nivel superficial y profundidades de 30, 80 y 250 m. Las Barras en sentido negativo indican que el resultado obtenido se encuentra por debajo del límite de cuantificación de la metodología analítica ( $<0,50$ mg/L).....          | 84 |
| Figura 46. Extensión de la pluma del río Magdalena y carga de sólidos suspendidos totales según Restrepo, et al., (2017) para mediciones realizadas en el mes de junio de los años 2000 a 2015. Tomado de Restrepo, et al., (2017).....                                       | 85 |
| Figura 47. Nitritos + Nitratos disueltos a nivel superficial y profundidades de 30, 80 y 250 m.....   | 85 |
| Figura 48. Fosfatos disueltos a nivel superficial y profundidades de 30, 80 y 250 m. Las Barras en sentido negativo indican que el resultado obtenido se encuentra por debajo del límite de cuantificación de la metodología analítica ( $<2,0$ µg P-PO <sub>4</sub> /L)..... | 86 |
| Figura 49. Clorofila a, a nivel superficial y profundidades de 30, 80 y 250 m. Las Barras en sentido negativo indican que el resultado obtenido se encuentra por debajo del límite de cuantificación de la metodología analítica ( $<0,07$ mg/m <sup>3</sup> ).....           | 86 |
| Figura 50. Silicatos presentes a nivel superficial y profundidades de 30, 80 y 250 m. ....  | 87 |
| Figura 51. Hidrocarburos del Petróleo Disueltos y Dispersos equivalentes de criseno a nivel superficial. La línea roja indica el valor de referencia para aguas contaminadas (UNESCO, 1984). .....  | 87 |
| Figura 52. Carbono orgánico total a nivel superficial y profundidades de 30, 80 y 250 m. Las Barras en sentido negativo indican que el resultado obtenido se encuentra por debajo del límite de cuantificación de la metodología analítica ( $<0,05$ mg C/L).....             | 88 |
| Figura 53. Hidrocarburos del Petróleo equivalentes de criseno a nivel de sedimento superficial. La línea roja indica el valor de referencia para niveles naturales descritos en Massoud et al., (1997).....   | 89 |
| Figura 54. Hidrocarburos alifáticos a nivel de sedimento superficial.....   | 89 |
| Figura 55. Concentración de metales totales (Hg, Zn, Cr, Ni, Cu, Pb, Fe, Ba y V) en el sedimento tomado con piston corer en la estación 553.....  | 91 |
| Figura 56. Concentración de metales totales (Hg, Zn, Cr, Ni, Cu, Pb, Fe, Ba y V) en el sedimento tomado con piston corer en la estación 558.....  | 91 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 57. Concentración de metales totales (Hg, Zn, Cr, Ni, Cu, Pb, Fe, Ba y V) en el sedimento tomado con piston corer en la estación 555.....   | 92  |
| Figura 58. Distribución de las estaciones donde se realizó la colecta del componente planctónico.....  | 100 |
| Figura 59. Identificación de organismos fitoplanctónicos en microscopio óptico invertido.....  | 102 |
| Figura 60. Procedimiento de laboratorio para la revisión de las muestras de zooplancton. A. Extracción de la formalina. B. Uso del fraccionador Folsom. C. revisión de las muestras con estereoscopio. D. Uso de claves para la identificación de las especies. E. Toma de fotografía de las especies más abundantes, frecuentes o con alguna importancia ecológica..... | 103 |
| Figura 61. Procedimiento de separación de identificación de muestras de ictioplancton. Estereoscopio Leica (A); separación de larvas de peces en cajas de Petri con micropinzas (B); muestra de ictioplancton (C) y larvas de peces separadas, identificadas, almacenadas y rotuladas para ingreso a la colección (D). ....  | 105 |
| Figura 62. Algunas especies frecuentes del fitoplancton encontradas en el bloque COL3. ....  | 107 |
| Figura 63. Representatividad porcentual de los dinoflagelados identificados en el bloque COL3. Órdenes de la clase Dinophyceae (A) y familias del orden Gonyaulacales (B). ....  | 108 |
| Figura 64. Algunas especies de dinoflagelados frecuentes encontrados en el bloque COL3.....  | 108 |
| Figura 65. Representatividad porcentual de las diatomeas identificadas en el bloque COL 2. Órdenes de la clase Mediophyceae (A) y géneros de la familia Chaetoceratales (B). ....  | 109 |
| Figura 66. Algunas especies de diatomeas frecuentes encontrados en el bloque COL3. ....  | 110 |
| Figura 67. Porcentaje de abundancia de los grupos fitoplanctónicos por estación muestreada.....  | 110 |
| Figura 68. Masas de la columna de agua presente en el bloque COL3. Porcentaje de abundancia de los grupos fitoplanctónicos (A) y promedio y error estándar (B). ....   | 111 |
| Figura 69. Morfoespecies más y menos abundantes presentes en el bloque COL3....  | 111 |
| Figura 70. Análisis descriptivo multivariado no paramétrico de clasificación cuantitativa-CLUSTER para las estaciones estudiadas en el bloque COL3. Asociación 1: Recuadro azul. Asociación 2: Recuadro rojo. Asociación 3: Recuadro verde.....  | 112 |
| Figura 71. Algunas especies más frecuentes del zooplancton encontradas en el bloque COL3.....  | 117 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 72. Riqueza de especies del zooplancton en las 4 masas evaluadas en el bloque COL3.....  | 118 |
| Figura 73. Representantes de los órdenes Calanoida, Cyclopoida y Harpacticoida encontrados en el bloque COL3.....   | 119 |
| Figura 74. Representantes pertenecientes a los Phyla Cnidaria y Mollusca encontrados en el bloque COL3.....   | 119 |
| Figura 75. Representantes de los Phyla Annelida, Chordata y Chaetognatha encontrados en el bloque COL3.....   | 120 |
| Figura 76. Densidad (Ind/m <sup>3</sup> ) del Bloque COL3 A. En las estaciones. B. En cada masa de agua.....  | 120 |
| Figura 77. Análisis descriptivo multivariado no paramétrico de clasificación cuantitativa (dendrograma) para las muestras que se agruparon en el bloque COL3. Recuadro azul: Asociación 1. Recuadro verde: Asociación 2, Recuadro rojo: Asociación 3, Recuadro Purpura: Asociación 4..... | 123 |
| Figura 78. Agrupación bidimensional de las estaciones muestreadas en la Isla Cayos de Serrana a partir del análisis NMDS. Recuadro azul: Asociación 1. Recuadro verde: Asociación 2, Recuadro rojo: Asociación 3, Recuadro purpura: Asociación 4.....                                     | 123 |
| Figura 79. Representatividad de larvas por familia encontrados en el bloque COL3.....   | 132 |
| Figura 80. Representatividad de larvas por género y/o especie encontrados en el bloque COL3.....  | 132 |
| Figura 81. Representatividad de morfotipos (especies y/o géneros) de la familia Myctophidae encontradas en el bloque COL3 .....   | 133 |
| Figura 82. Frecuencia de aparición de las familias de larvas de peces identificadas en el bloque COL3.....  | 133 |
| Figura 83. Análisis descriptivo multivariado no paramétrico de clasificación cuantitativa (CLUSTER) para las estaciones encontradas en el bloque COL3 1. Líneas rojas: grupos creados por SIMPROF.....  | 134 |
| Figura 84. Representatividad porcentual de la abundancia de familias de larvas de peces encontradas en la masa de agua 1 en el bloque COL3.....   | 135 |
| Figura 85. Especies y géneros más representativos encontradas en la masa de agua 1 en bloque COL3. A. <i>Myctophum obstusirostre</i> B. <i>Sparisoma atomarium</i> C. <i>Hypseleotris</i> sp. ....  | 135 |
| Figura 86. Representatividad porcentual del número de morfotipos agrupados en las familias de larvas de peces encontradas en la masa de agua 1 del bloque COL3. ....  | 136 |
| Figura 87. Número de familias de larvas de peces encontradas en la masa de agua 1 del bloque COL3.....  | 136 |
| Figura 88. Representatividad porcentual de la abundancia de familias de larvas de peces encontradas en la masa de agua 2 en el bloque COL3.....   | 138 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 89. Especies y géneros más representativos encontradas en la masa de agua 2 en bloque COL3. <i>Myctophum</i> sp. (A), y <i>Bregmaceros atlanticus</i> (B).....                            | 138 |
| Figura 90. Representatividad porcentual del número de morfotipos agrupados en las familias de larvas de peces encontradas en la masa de agua 2 del bloque COL3. ....                             | 139 |
| Figura 91. Número de familias de larvas de peces encontradas en la masa de agua 2 del bloque COL3.....   | 139 |
| Figura 92. Representatividad porcentual de la abundancia de familias de larvas de peces encontradas en la masa de agua 3 en el bloque COL3. ....   | 140 |
| Figura 93. Especies y géneros más representativos encontradas en la masa de agua 3en bloque COL3. <i>Cyclothon</i> sp. (A) y <i>Gobionellus oceanicus</i> (B) .....                              | 140 |
| Figura 94. Representatividad porcentual del número de morfotipos agrupados en las familias de larvas de peces encontradas en la masa de agua 3 del bloque COL3. ....                             | 141 |
| Figura 95. Número de familias de larvas de peces encontradas en la masa de agua 3 del bloque COL3.....   | 141 |
| Figura 96. Representatividad porcentual de la abundancia de familias de larvas de peces encontradas en la masa de agua 3 en el bloque COL3. ....   | 142 |
| Figura 97. Especies y géneros más representativos encontradas en la masa de agua 4en bloque COL3. <i>Cyclothon</i> sp. (A) y <i>Cyclothon acclinidens</i> (B).....                               | 143 |
| Figura 98. Representatividad porcentual del número de morfotipos agrupados en las familias de larvas de peces encontradas en la masa de agua 4 del bloque COL3. ....                             | 143 |
| Figura 99. Número de familias de larvas de peces encontradas en la masa de agua 4 del bloque COL3.....   | 144 |
| Figura 100. Mapa de estaciones seleccionadas del bloque COL3 para la recolección de muestras biológicas para el componente bentónico.....  | 152 |
| Figura 101. Muestreo de la macrofauna bentónica en el bloque COL3: Muestra obtenida de Box Corer (A), cuadrante para muestra de macrofauna (B) y lavado de muestra (C y D).....                  | 154 |
| Figura 102. Fase de laboratorio para las muestras de macrofauna del bloque COL: Lavado de muestras (A) y separación e identificación de la macrofauna (B).....                                   | 154 |
| Figura 103. Algunos representantes macrofaunales encontrados en el área de estudio: Phylum Annelida (A y B), Phylum Arthropoda (C), Phylum Foraminifera (D Y E) y Phylum Nematoda (F).....       | 155 |
| Figura 104. Contribución a la abundancia relativa (%), por parte de cada uno de los phylum encontrados en el bloque de exploración COL3, exceptuando Bryozoa, por ser organismos coloniales..... | 156 |
| Figura 105. Frecuencia de aparición (%) y número de familias de cada uno de los phylum encontrados en el bloque de exploración COL3 (exceptuando Bryozoa). ....                                  | 156 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 106. Estructura de la comunidad macrobentónica del bloque de exploración COL3 por estación de muestreo, con su respectivo aporte a la abundancia relativa (%) y número de familias que lo constituyen.....   | 157 |
| Figura 107. Contribución de todos los phyla a la abundancia (Ab.) y número de familias (N Flias) por estación, con relación a la total del bloque de exploración COL3 (excepto Bryozoa, al cual pertenecen dos familias excluidas de los análisis generales).....   | 157 |
| Figura 108. Contribución a la abundancia relativa (%), de las dos clases del phylum Annelida, encontradas en el bloque de exploración COL3.....   | 161 |
| Figura 109. Contribución a la abundancia relativa (%), de las familias que conforman el phylum Annelida de la comunidad macrobentónica del bloque de exploración COL3. * Otras Flias: hace referencia a aquellas familias cuya contribución a la abundancia relativa fue < 3 %.....   | 161 |
| Figura 110. Frecuencia de aparición (%), de las familias que conforman el phylum Annelida de la comunidad macrobentónica en las siete estaciones analizadas del bloque de exploración COL3. * Otras Flias: hace referencia a aquellas familias cuya frecuencia de aparición no superó el 50 % (excepto aquellas que contribuyeron en más de un 3 % a la abundancia relativa)..... | 161 |
| Figura 111. Abundancia y número de familias del phylum Annelida por estaciones de muestreo.....   | 162 |
| Figura 112. Contribución a la abundancia relativa (%), de las tres clases del phylum Arthropoda, encontradas en el bloque de exploración COL3.....  | 164 |
| Figura 113. Contribución a la abundancia relativa (%), de las familias que conforman el phylum Arthropoda de la comunidad macrobentónica del bloque de exploración COL3. * Otras Flias: hace referencia a aquellas familias cuya contribución a la abundancia relativa fue < 3 %.....   | 164 |
| Figura 114. Frecuencia de aparición (%), de las familias que conforman el phylum Arthropoda de la comunidad macrobentónica en las siete estaciones analizadas del bloque de exploración COL3. * Otras Flias: hace referencia a aquellas familias cuya frecuencia de aparición no superó el 50 % (excepto aquellas que contribuyan en más de un 3 % a la abundancia relativa)..... | 164 |
| Figura 115. Abundancia y número de familias del phylum Arthropoda por estaciones de muestreo.....   | 165 |
| Figura 116. Proporción porcentual del número de colonias de briozoos encontradas en la comunidad macrobentónica del bloque de exploración COL3.....   | 166 |
| Figura 117. Número de colonias y de familias de briozoos por estaciones de muestreo.....  | 167 |
| Figura 118. Frecuencia de aparición (%), de las colonias de briozoos encontradas en la comunidad macrobentónica de las siete estaciones analizadas del bloque de exploración COL3.....  | 167 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 119. Contribución a la abundancia relativa (%), de las cuatro clases del phylum Foraminifera, encontradas en el bloque de exploración COL3.....  | 168 |
| Figura 120. Contribución a la abundancia relativa (%), de las familias que conforman el phylum Foraminifera de la comunidad macrobentónica del bloque de exploración COL3. * Otras Flias: hace referencia a aquellas familias cuya contribución a la abundancia relativa fue < 3 %. .....   | 169 |
| Figura 121. Frecuencia de aparición (%), de las familias que conforman el phylum Foraminifera de la comunidad macrobentónica en las siete estaciones analizadas del bloque de exploración COL3. * Otras Flias: hace referencia a aquellas familias cuya frecuencia de aparición no supero el 50 % (excepto aquellas que contribuyan en más de un 3 % a la abundancia relativa). ..... | 169 |
| Figura 122. Abundancia y número de familias del phylum Foraminifera por estaciones de muestreo. ....  | 169 |
| Figura 123. Contribución a la abundancia relativa (%), de las tres clases del phylum Mollusca, encontradas en el bloque de exploración COL3.....  | 171 |
| Figura 124. Contribución a la abundancia relativa (%), de las familias que conforman el phylum Mollusca de la comunidad macrobentónica del bloque de exploración COL3. ....   | 171 |
| Figura 125. Frecuencia de aparición (%), de las familias que conforman el phylum Mollusca de la comunidad macrobentónica en las siete estaciones analizadas del bloque de exploración COL3.....   | 172 |
| Figura 126. Abundancia y número de familias del phylum Mollusca por estaciones de muestreo. ....  | 172 |
| Figura 127. Contribución a la abundancia relativa (%), de las dos clases del phylum Nematoda encontradas en el bloque de exploración COL3.....  | 174 |
| Figura 128. Contribución a la abundancia relativa (%), de las familias que conforman el phylum Nematoda de la comunidad macrobentónica del bloque de exploración COL3. * Otras Flias: hace referencia a aquellas familias cuya contribución a la abundancia relativa fue < 3 %. .....   | 174 |
| Figura 129. Frecuencia de aparición (%), de las familias que conforman el phylum Nematoda de la comunidad macrobentónica en las siete estaciones analizadas del bloque de exploración COL3. * Otras Flias: hace referencia a aquellas familias cuya frecuencia de aparición no supero el 50 % (excepto aquellas que contribuyan en más de un 3 % a la abundancia relativa). .....     | 175 |
| Figura 130. Abundancia y número de familias del phylum Nematoda por estaciones de muestreo. ....  | 175 |
| Figura 131. Contribución a la abundancia relativa (%), de las dos clases y dos familias que conforman el phylum Nemertea de la comunidad macrobentónica del bloque de exploración COL3.....   | 176 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 132. Frecuencia de aparición (%), de las familias que conforman el phylum Nemertea de la comunidad macrobentónica en las siete estaciones analizadas del bloque de exploración COL3.....                             | 177 |
| Figura 133. Abundancia y número de familias del phylum Nemertea por estaciones de muestreo. ....  | 177 |
| Figura 134. Contribución a la abundancia relativa (%), de las dos clases que conforman el phylum Sipuncula de la comunidad macrobentónica del bloque de exploración COL3. ....  | 178 |
| Figura 135. Contribución a la abundancia relativa (%), de las familias que conforman el phylum Sipuncula de la comunidad macrobentónica del bloque de exploración COL3. ....  | 179 |
| Figura 136. Frecuencia de aparición (%), de las familias que conforman el phylum Sipuncula de la comunidad macrobentónica en las siete estaciones analizadas del bloque de exploración COL3.....                            | 179 |
| Figura 137. Abundancia y número de familias del phylum Sipuncula por estaciones de muestreo. ....   | 179 |
| Figura 138. Análisis de clasificación de la comunidad macrobentónica del bloque de exploración COL3.....  | 181 |
| Figura 139. Análisis de ordenación de la comunidad macrobentónica del bloque de exploración COL3.....   | 181 |
| Figura 140. Proceso de muestreo de la meiofauna bentónica recolectada en el bloque COL3: a. Muestra de box corer, b-d. Submuestreo de meiofauna mediante coronador. ....  | 185 |
| Figura 141. Procesamiento de las muestras de la meiofauna bentónica recolectadas en el bloque COL3: a –c. Tamizaje y lavado de muestras con Ludox, d. Fracción separada, e. Separación e identificación de organismos. .... | 186 |
| Figura 142. Riqueza de familias por phylum meiofaunal encontrado en el bloque COL3. ....  | 188 |
| Figura 143. Riqueza de familias meiofaunales por estación en el bloque COL3. ....   | 188 |
| Figura 144. Riqueza de familias meiofaunales por estación por phylum en el bloque COL3: a. Meiofauna de 300 µm, b. Meiofauna de 63 µm. ....   | 189 |
| Figura 145. Densidad general (ind./10 cm <sup>2</sup> ) de la meiofauna por phylum y por estación de muestreo del bloque COL3.....  | 189 |
| Figura 146. Densidad (individuos/10 cm <sup>2</sup> ) de la meiofauna por estación por phylum en el bloque COL3: Meiofauna de 300 µm (A) y meiofauna de 63 µm (B).....  | 190 |
| Figura 147. Abundancias relativas totales por phylum encontradas en el bloque COL3. ....  | 191 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 148. Dendrograma de clasificación basado en el índice de similaridad de Bray-Curtis de la meiofauna bentónica recolectada en el bloque COL3.....                                 | 193 |
| Figura 149. nMDS en 2D basado en la matriz de abundancia con los datos transformados con raíz cuarta para la meiofauna bentónica recolectada en el bloque COL3.....                     | 193 |
| Figura 150. Poliqueto de la familia Paraonidae encontrada en la meiofauna bentónica del bloque COL3. ....   | 196 |
| Figura 151. Densidad de las familias de anélidos meiofaunales encontrados en el bloque COL3.....  | 196 |
| Figura 152. Espécimen de la familia Halacaridae encontrado en el bloque COL3. ....  | 197 |
| Figura 153. Abundancia relativa de las familias de anélidos meiofaunales encontrados en el bloque COL3. ....  | 198 |
| Figura 154. Densidad de las familias de anélidos meiofaunales encontrados en el bloque COL3.....  | 198 |
| Figura 155. Espécimen del phylum Cephalorhyncha (objetivo de 40X) encontrado en el bloque COL3.....   | 200 |
| Figura 156. Familia Neotonchidae: Individuo completo (escala: 0,5mm) (A) y bulbo faríngeo (escala: 30 $\mu$ ) (B).....  | 201 |
| Figura 157. Abundancia relativa de las familias de nematodos meiofaunales encontrados en el bloque COL3.....  | 202 |
| Figura 158. Densidad de las familias de nematodos meiofaunales encontrados en el bloque COL3.....   | 202 |
| Figura 159. Número de individuos por familias de los Foraminiferos meiofaunales encontrados en el bloque COL3.....  | 203 |
| Figura 160. Foraminiferos meiofaunales encontrados en el bloque COL3: Cyclamminidae (A), Hauerinidae (B), Uvigerinidae (C), Melonidae(D), Prolixoplectidae (E) y Ammolagenidae (F)..... | 204 |
| Figura 161. Densidades por estación de las familias meiofaunales encontradas en el bloque COL3.....   | 204 |
| Figura 162. Puntos de observación establecidos en la embarcación María José II. Fuente SERPORT S.A.....   | 226 |
| Figura 163. Equipos de trabajo de los OFM. Izquierda binoculares Ecotone, centro GPS Garmin y derecha cámara fotográfica Nikon D3200. Fuente Fundación Omacha.....                      | 227 |
| Figura 164. Guías utilizadas para la identificación de cetáceos, aves y tortugas marinas. Fuente Fundación Omacha.....  | 227 |
| Figura 165. Localización del bloque COL3, Caribe colombiano y esfuerzo de observación durante el crucero. ....  | 229 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 166. Factores ambientales registrados en el área de estudio (COL3), durante la ejecución del Estudio Ambiental de la Línea Base en el Área del Bloque COL3 y la Cuenca Sedimentaria del Caribe, entre el 19 de septiembre y el 13 de octubre de 2017. A) Porcentaje de frecuencia de la dirección del viento. B) Promedio diario de la Escala Beaufort..... | 230 |
| Figura 167. Avistamientos de mamíferos marinos en el Bloque COL3. Fuente fundación Omacha .....  | 230 |
| Figura 168. Individuo de la familia Delphinidae observado durante el tránsito a la estación Nº 18 en el área del Bloque COL3. Fuente Fundación Omacha.....   | 231 |
| Figura 169. Individuos de <i>Stenella frontalis</i> exponiendo su aleta dorsal y realizando “Bowriding” a estribor de la embocación. Observados durante el tránsito a la ciudad de Cartagena. Fuente Fundación Omacha.....   | 232 |
| Figura 170. Avistamientos de aves en el Bloque COL3. Fuente fundación Omacha. ....   | 233 |
| Figura 171. Composición porcentual de los avistamientos registrados teniendo en cuenta el nivel taxonómico de familia, durante la ejecución del Estudio Ambiental de la Línea Base en el Área del Bloque COL3 y la Cuenca Sedimentaria del Caribe. Fuente Fundación Omacha.....  | 235 |
| Figura 172. Principales aves registrados durante la ejecución del Estudio Ambiental de la Línea Base en el Área del Bloque COL3 y la Cuenca Sedimentaria del Caribe. A) <i>H. rustica</i> . B) <i>S. leucogaster</i> . C) <i>T. maximus</i> y D) <i>F. magnificens</i> . Fuente Fundación Omacha. ....   | 236 |
| Figura 173. Estaciones de muestreo en el bloque COL3, las estaciones donde se tomaron muestras de bacterias barotolerantes para realizar análisis microbianos fueron E551, E553, E556, E557, E568 y E569.....  | 263 |
| Figura 174. Ciclo térmico empleado en la amplificación del gen 16S (t.a = temperatura de annealing de 60°C durante 45s) y gen SfP (t.a 46 y 48°C, 30 s) a partir del ADN metagenómico extraído.....  | 265 |
| Figura 175. Procesamiento de muestras de sedimentos. Recepción de muestras conservadas a 4 °C (A); reconocimiento (B); obtención (C); pesaje (D y E); diluciones (F) y siembra en superficie placas de medios de cultivo (G y H). .....  | 266 |
| Figura 176. Aislamiento por método de presión de selección. Suspensión del sedimento en medio de pre-enriquecimiento (A); cultivos en agitación constante a temperatura ambiente (B) y evaluación del crecimiento en medio Bushnell-Haas con ACPM (C y D). ....  | 268 |
| Figura 177. Esquema de la obtención del cultivo en medio líquido usando caldo Bushnell-Haas modificado, suplementado con dos fuentes de carbono: ACPM y melaza al 1 %. ....  | 269 |
| Figura 178. Amplificación del gen 16S a partir de las muestras de sedimento marino. ....   | 272 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 179. Amplificación del gen 16S y estandarización de la amplificación del gen Sfp a partir de las muestras de ADN metagenómico, empleando un gradiente de temperaturas de anillamiento. El control positivo corresponde a una cepa de <i>Bacillus</i> previamente identificada. Los controles negativos se realizaron para cada una de las temperaturas evaluadas en ausencia de ADN plantilla..... | 276 |
| Figura 180. Amplificación del gen SfP y Srf empleando como plantilla el ADN metagenómico previamente extraído.....  | 276 |
| Figura 181. Amplificación del gen SfP usando como plantilla el ADN metagenómico de la muestra E568, empleado para la elaboración de la curva patrón en la PCR en tiempo real.....   | 277 |
| Figura 182. Resultados de la amplificación del gen SfP mediante PCR en tiempo real y estandarización de su cuantificación. Curva patrón obtenida a partir de las concentraciones 12,2; 8; 6,1; 4; 3,05; 1,5 y 0,5 ng/ $\mu$ L.....  | 278 |
| Figura 183. Resultados de la amplificación del gen SfP mediante PCR en tiempo real y estandarización de su cuantificación. Curva patrón obtenida a partir de las concentraciones 1,22; 1,22x10 <sup>-1</sup> ; 1,22x10 <sup>-2</sup> ; 1,22x10 <sup>-3</sup> y 1,22 x10 <sup>-4</sup> ng/ $\mu$ L .....   | 278 |
| Figura 184. Resultados de la amplificación del gen SfP mediante PCR en tiempo real y estandarización de su cuantificación. Cuantificación absoluta final. Se aclara que el control negativo amplificó, pero al final de los ciclos.....   | 278 |
| Figura 185. Linealización de la amplificación de la curva de calibración empleada en la estandarización de la PCR en tiempo real. R <sup>2</sup> = 0.97.....  | 279 |
| Figura 186. Colonias de bacterias marinas aisladas en medios de cultivo sólidos. ....   | 279 |
| Figura 187. Aislamiento de bacterias en medios de cultivos a partir de las muestras de sedimento E568, E569, E557, E553, E556 y E551.....   | 280 |
| Figura 188. Número de bacterias marinas aisladas a partir de muestras de sedimento marino, con respecto a las diferentes condiciones de incubación.....   | 281 |
| Figura 189. Resultados del análisis taxonómico de bacterias aisladas a partir de sedimento marino del fondo oceánico del Caribe colombiano.....   | 285 |
| Figura 190. Organización de la información para ingreso de muestras al MHNMC. ....  | 286 |
| Figura 191. Formato para entregar la información sobre el proyecto para ingresar las muestras al MHNMC. ....  | 287 |
| Figura 192. Formato con la información de los organismos para ingresar las muestras al MHNMC. ....  | 288 |
| Figura 193. Recibido de la información por parte del MHNMC, para iniciar el proceso de asignación de número de catálogo de las muestras de bacterias aisladas de sedimentos marinos.....  | 288 |
| Figura 194. Crecimiento de colonias bacterianas en medio Bushnell-Haas con ACPM. E568 (A); E569 (B); E557 (C); E553 (D); E556 (E) y E551 (F). ....  | 289 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 195. Cultivos en medio de pre-enriquecimiento y crecimiento bacteriano en placas de agar marino.....   | 290 |
| Figura 196. Prueba de desplazamiento de crudo a los 7 días de incubación en caldo Bushnell-Haas modificado, suplementado con ACPM al 1 %. Control con jabón (A); blanco (B); aislado E466-56 (C) y aislado E466-59 (D).....   | 290 |
| Figura 197. Prueba de desplazamiento de crudo pasados 7 días de incubación en caldo Bushnell-Haas modificado, suplementado con melaza al 1 %. Control con jabón (A); blanco (B); aislado E568-15 (C); aislado E428-22 (D); aislado E428-42 (E) y aislado E557-48 (F)..... | 291 |
| Figura 198. Resultados de la prueba de emulsificación. Resultados generales (A) y comparación de los resultados del blanco, la muestra E466-3 cuyo resultado fue negativo y E428-22 que dio positivo (B).....   | 292 |
| Figura 199. Amplificación del gen SfP a partir de ADN de la cepa E428-22.....   | 293 |
| Figura 200. Resultados de la actividad lipasa en agar yema de huevo. Halo iridiscente para la cepa E557-48.....   | 293 |
| Figura 201. Área de estudio con la grilla de 12 estaciones de muestreo (E) durante el crucero de investigación de peces grandes pelágicos en el bloque COL3, Caribe colombiano. Fuente: INVEMAR – LabSIS, 2017.....   | 317 |
| Figura 202. Esquema general del palangre horizontal de superficie (long line) empleado durante el crucero de investigación de peces grandes pelágicos en el bloque COL3, Caribe colombiano.....   | 318 |
| Figura 203. Procesamiento de la captura obtenida en crucero. Identificación, medición y pesaje de especies (A) y determinación del sexo y estado de madurez sexual (B). .319  | 319 |
| Figura 204. Esquema general del sistema de información hidroacústica empleado durante la campaña de investigación de peces grandes pelágicos en el bloque COL3, Caribe colombiano. Fuente: Rodríguez et al. (2015). ..320   | 320 |
| Figura 205. Área de estudio con la grilla de transectos y el recorrido acústico durante el crucero de investigación de peces grandes pelágicos en el bloque COL3, Caribe colombiano. Fuente: INVEMAR – LabSIS, 2017.....  | 321 |
| Figura 206. Imagen de un ecograma obtenido durante el crucero de investigación de peces grandes pelágicos en el bloque COL3, Caribe colombiano.....   | 322 |
| Figura 207. Composición porcentual de la captura en peso a nivel de familias durante el crucero de investigación de peces grandes pelágicos en el bloque COL3, Caribe colombiano.....   | 324 |
| Figura 208. Composición de la captura en número de individuos (barras a la izquierda) y peso (kg; barras a la derecha) a nivel de especies durante el crucero de investigación de peces grandes pelágicos en el bloque COL3, Caribe colombiano.....                       | 324 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 209. Comportamiento de la captura (n) y la captura por unidad de esfuerzo (CPUE: n/100 anzuelos*h) en cada estación de muestreo (E) durante el crucero de investigación de peces grandes pelágicos en el bloque COL3.....  | 325 |
| Figura 210. Comportamiento de la captura por unidad de esfuerzo promedio por número de individuos (n) y peso (kg) para cada una de las especies de peces capturados durante el crucero de peces grandes pelágicos en el bloque COL3.....  | 325 |
| Figura 211. Análisis de agrupamientos (cluster) de peces grandes pelágicos en el bloque COL3, Caribe colombiano.....  | 326 |
| Figura 212. Proporción de sexos integrando todos los peces grandes pelágicos (A) y del atún aleta amarilla <i>Thunnus albacares</i> (B) capturados durante el crucero de peces grandes pelágicos en el bloque COL3, Caribe colombiano.....  | 328 |
| Figura 213. Histograma de frecuencia de tallas por estadío de madurez de hembras (A) y machos (B) del atún aleta amarilla <i>Thunnus albacares</i> capturados durante el crucero de peces grandes pelágicos en el bloque COL3, Caribe colombiano. II: Inmaduro, III: madurando, IV: maduro, V: en desove.....   | 328 |
| Figura 214. Porcentaje de individuos del atún aleta amarilla <i>Thunnus albacares</i> por estados de madurez sexual y estación de muestreo (E) durante el crucero de peces grandes pelágicos en el bloque COL3, Caribe colombiano. II: Inmaduro, III: madurando, IV: maduro, V: en desove. Se indica el valor del número de individuos al interior de las barras..... | 329 |
| Figura 215. Distribución espacial de la abundancia relativa o captura por unidad de esfuerzo - CPUE (kg/h*100 anzuelos) integrando todas las especies de peces capturadas en el bloque COL3, Caribe colombiano. E: estaciones de muestreo. Fuente: INVEMAR – LabSIS, 2017.....  | 329 |
| Figura 216. Distribución espacial de la abundancia relativa o captura por unidad de esfuerzo - CPUE (kg/h*100 anzuelos) del atún aleta amarilla ( <i>Thunnus albacares</i> ) capturado en el bloque COL3, Caribe colombiano. E: estaciones de muestreo. Fuente: INVEMAR – LabSIS, 2017.....   | 330 |
| Figura 217. Distribución espacial de la estructura de tallas (cm de longitud total) del atún aleta amarilla ( <i>Thunnus albacares</i> ) capturado en el bloque COL3. E: estaciones de muestreo. Fuente: INVEMAR – LabSIS, 2017.....  | 330 |
| Figura 218. Distribución espacial de la densidad acústica de peces (m <sup>2</sup> /mn <sup>2</sup> ) en el bloque COL3, Caribe colombiano. Fuente: INVEMAR – LabSIS, 2017.....   | 331 |
| Figura 219. Localización de las estaciones de muestreo evaluadas en el área del bloque GUA OFF 1 para caracterizar la macrofauna bentónica a partir de núcleos de sedimentos. Imagen: Vasquez, L. (Labsis – Invemar, 2017).....   | 338 |
| Figura 220. Número de familias y/o especies por phylum de la macrofauna bentónica encontrada en las muestras seleccionadas de piston core de GUA OFF 1.....   | 340 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 221. Número de taxones de la macrofauna bentónica encontrada por estación en las muestras seleccionadas de piston core de GUA OFF 1.....   | 341 |
| Figura 222. Número de taxones de la macrofauna bentónica encontrada por horizonte en las muestras seleccionadas de piston core de GUA OFF 1.....  | 341 |
| Figura 223. Abundancia por phyla de macrofauna bentónica encontrada por horizonte en las muestras seleccionadas de piston core de GUA OFF 1.....  | 341 |
| Figura 224. Abundancia por phyla por estación de la macrofauna bentónica en las muestras seleccionadas de piston core de GUA OFF 1.....   | 342 |
| Figura 225. Abundancia por horizonte a modo general de la macrofauna bentónica en las muestras seleccionadas de piston core de GUA OFF 1.....   | 343 |
| Figura 226. Abundancia de las familias de anélidos de la macrofauna bentónica en las muestras seleccionadas de piston core de GUA OFF 1.....  | 344 |
| Figura 227. Abundancia de las familias de anélidos por estación de la macrofauna bentónica en las muestras seleccionadas de piston core de GUA OFF 1.....   | 345 |
| Figura 228. Algunos representantes del phylum Annelida encontrados en las muestras de piston corer: a. Naididae (Oligochaeta), b. Paraonidae, c. Capitellidae, y d. Cirratullidae.....  | 345 |
| Figura 229. Abundancia de las familias de anélidos de la macrofauna bentónica en las muestras seleccionadas de piston core de GUA OFF 1.....  | 346 |
| Figura 230. Número de individuos por estación de las familias de artrópodos encontradas en las muestras de piston corer provenientes del bloque GUA OFF 1....   | 347 |
| Figura 231. Representante de la familia Trachyleberididae encontrada en las muestras de Piston core.....  | 347 |
| Figura 232. Representante del taxon Neomeniamorpha encontrada en las muestras de Piston core.....   | 348 |
| Figura 233. Organización según el hábito trófico propuesta por Wieser (1953). 1A. Alimentadores selectivos de material depositado. 1B. Alimentadores no selectivos de material depositado. 2A. Alimentadores del episustrato. 2B. Omnivoros/predadores. Modificado de Wieser, 1953..... | 349 |
| Figura 234. Representante de la familia Axonolaimidae encontrada en las muestras de Piston core. Escala: 30 µm.....   | 349 |
| Figura 235. Representante de la familia Golfingidae, phylum Sipuncula, encontrada en las muestras de Piston core: a. Musculatura longitudinal continua, b. Papillas en introvertido.....  | 350 |
| Figura 236. Composición porcentual de los órdenes de foraminíferos bentónicos encontrados en las estaciones analizadas del Bloque GUA OFF 1.....  | 352 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 237. Familias de foraminíferos bentónicos encontrados en las estaciones analizadas en el Bloque GUA OFF 1. (a): Riqueza de especies por familia. (b): Abundancia por familia.....  | 352 |
| Figura 238. Frecuencia de aparición de especies de foraminíferos bentónicos en las 10 estaciones analizadas del Bloque GUA OFF 1.....   | 353 |
| Figura 239. Representatividad de la tanatocenosis de foraminíferos bentónicos en las 10 estaciones evaluadas en el bloque GUA OFF 1. (a) Riqueza. (b) Abundancia. ....  | 354 |
| Figura 240. Análisis de agrupamiento de las especies de foraminíferos bentónicos en el bloque GUA OFF 1. (a) Dendograma de similaridad: las líneas cafés indican grupos conformados por el SIMPROF. Recuadro azul: As-A; Recuadro naranja: As-B; Recuadro verde: AS-C. (b) NMDS inicial mostrando la interferencia de escala donde se superponen las estaciones de un aparente grupo I. (c) Ampliación del NMDS para el grupo I (excluyendo el grupo II) evidenciando la conformación real de dos grupos diferentes estadísticamente: en círculo morado la asociación As-A; en círculo verde la asociación As-B. .... | 356 |
| Figura 241. Convenios interinstitucionales celebrados entre la ANH y el INVEMAR. .  | 373 |
| Figura 242. Mapa de conocimiento generado a partir de información recolectada en una década de investigación. ....  | 374 |

## LISTA DE TABLAS

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 1. Localización, profundidad y fecha de muestreo de estaciones oceanográficas ANH - COL3.....   | 36  |
| Tabla 2. Masas de agua reportadas para el Caribe colombiano. Fuente: varios autores. ....   | 36  |
| Tabla 3. Coordenadas de las estaciones de muestreo de sedimentos en el Bloque COL-3. ....   | 39  |
| Tabla 4. Descripción estadística de la variable temperatura.....  | 49  |
| Tabla 5. Descripción estadística de la variable salinidad.....  | 52  |
| Tabla 6. Descripción estadística de la variable concentración de oxígeno. ....  | 56  |
| Tabla 7. Distribución de tamaños de granos en las muestras de sedimentos analizadas. ....   | 70  |
| Tabla 8. Porcentaje de materia orgánica, CaCO <sub>3</sub> y su facies asociada en las muestras de sedimento. ....  | 71  |
| Tabla 9. Métodos utilizados en el LABCAM del INVEMAR, para establecer la línea base de calidad de aguas y sedimentos marinos en el área del bloque COL3. ....   | 82  |
| Tabla 10. Metales totales en sedimento de las 7 estaciones recolectadas con Box corer. Los valores de referencia se tomaron de Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008). (-) no indicado en Buchman, (2008).....  | 90  |
| Tabla 11. Representatividad de las morfoespecies en cada grupo fitoplanctónico presente en el bloque COL3.....  | 106 |
| Tabla 12. Principales descriptores ecológicos del bloque COL3. S: Riqueza, H': índice de diversidad Shannon-Wiener, J': índice de uniformidad de Pielou e ( $\lambda$ ) índice de dominancia de Simpson.....  | 112 |
| Tabla 13. Resultados del Análisis BIOENV entre las variables físicas y la estructura del fitoplancton en el bloque COL3. 1: Temperatura. 2: Salinidad. 3: Oxígeno. 4: Nitritos+Nitratos (N-NO <sub>2</sub> +N-NO <sub>3</sub> ) 5: Ortofósforatos (P-PO <sub>4</sub> ). 6: Silicatos (Si-SiO <sub>3</sub> ).... | 113 |
| Tabla 14. Número de géneros de la comunidad fitoplanctónica reportada por diferentes autores en el mar Caribe. ....   | 114 |
| Tabla 15. Densidades fitoplanctónica (cel/L) registrados en varios estudios para aguas oceánicas del Caribe. CM: capa de agua de mezcla. CS: capa de agua subsuperficial..  | 115 |
| Tabla 16. Riqueza de phyla encontradas en el bloque de exploración COL3. ....   | 117 |
| Tabla 17. Densidad promedio (ind/m <sup>3</sup> ) y representatividad porcentual por especie del zooplancton colectado en Bloque COL3, EE=Error estándar.....   | 121 |
| Tabla 18. Atributos ecológicos generales del bloque COL3. Max: valor máximo, Min: Valor mínimo, S=Riqueza de especies, d=Riqueza de Margalef, J'=Homogeneidad de  |     |

|  |     |
|--|-----|
| Pielou, H': Diversidad de Shannon, $\lambda$ = Predominio de Simpson; N1= número de Hill 1 (especies abundantes), N2= Numero de Hill 2 (especies muy abundantes). ....   | 122 |
| Tabla 19. Resultados del análisis SIMPER de clasificación. SIM= similitud; SD= desviación estándar. ....   | 124 |
| Tabla 20. Resultados del Análisis BIOENV entre las variables físicas y la estructura de la comunidad zooplanctónica en el bloque COL3.T: Temperatura (°C); OD: Oxígeno disuelto (mg/L); Sal: Salinidad. ....   | 124 |
| Tabla 21. Riqueza de morfotipos en los bloques de exploración offshore evaluados hasta el momento en el Caribe colombiano.....   | 125 |
| Tabla 22. Composición taxonómica de la fauna Ictioplanctónica presente en el bloque COL3:.....   | 131 |
| Tabla 23. Test de pruebas pareadas PERMANOVA entre las masas de agua del bloque COL3.....  | 134 |
| Tabla 24. Principales atributos ecológicos de las estaciones de los bloques COL3 por cada una de las masas de agua. H': índice de diversidad Shannon-Wiener, J': índice de uniformidad de Pielou e ( $\lambda$ ) índice de dominancia de Simpson. Los valores máximos (negro) y mínimos (rojo) de cada masa, resaltados en negrita ..... | 137 |
| Tabla 25. Listado de estaciones con coordenadas geográficas para el análisis del componente bentónico infaunal. ....   | 152 |
| Tabla 26. Índices que describen los atributos de la comunidad macrobentónica del bloque de exploración COL3 con base en las familias encontradas. S: riqueza, N: abundancia, J': uniformidad de Pielou, H' (loge): índice de diversidad de Shannon...158   | 158 |
| Tabla 27. Variables que mejor explican la distribución de las comunidades macrobentónicas del bloque COL3. ....  | 182 |
| Tabla 28. Abundancia relativa y frecuencia de ocurrencia por familias de foraminíferos predominantes (AR > 5% y FO > 50%). ....  | 191 |
| Tabla 29. Abundancia relativa y frecuencia de ocurrencia por familias predominantes (AR > 5% y/o FO > 50%). ....   | 191 |
| Tabla 30. Índices de diversidad para las familias meiofaunales encontradas en el bloque COL3.....  | 192 |
| Tabla 31. Variables ambientales medidas en el sedimento, usadas para el análisis BIOENV para el componente meiofaunal encontrado en el bloque COL3.....  | 194 |
| Tabla 32. Tipo de grano según las medidas granulométricas proporcionadas. ....   | 194 |
| Tabla 33. Correlación entre las variables medidas en el sedimento para el análisis BIOENV con la meiofauna bentónica.....  | 194 |
| Tabla 34. Clasificación taxonómica de los anélidos poliquetos meiofaunales encontrados en el bloque COL3.....  | 196 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 35. Clasificación taxonómica de los artrópodos meiofaunales encontrados en el bloque COL3.....  | 197 |
| Tabla 36. Clasificación taxonómica de los anélidos poliquetos meiofaunales encontrados en el bloque COL3.....   | 201 |
| Tabla 37. Clasificación taxonómica de los foraminíferos meiofaunales encontrados en el bloque COL3.....   | 203 |
| Tabla 38. Escala Beaufort utilizada para la medición de la fuerza del viento.....   | 228 |
| Tabla 39. Registro de avistamientos de mamíferos marinos observados durante la ejecución del Estudio Ambiental de la Línea Base en el Área del Bloque COL3 y la Cuenca Sedimentaria del Caribe. Fuente Fundación Omacha.....                    | 231 |
| Tabla 40. Avifauna registrada durante la ejecución del Estudio Ambiental de la Línea Base en el Área del Bloque COL3 y la Cuenca Sedimentaria del Caribe. Fuente Fundación Omacha.....  | 233 |
| Tabla 41. Sitios de muestreo de sedimento COL3.....   | 264 |
| Tabla 42. Resultados de la cuantificación de ADN metagenómico por espectrofotometría y fluorometría de los 6 métodos utilizados (E1-E6).....  | 271 |
| Tabla 43. Determinación de pureza mediante relación de absorbancias 260/280 nm (R1) y 260/230 nm (R2) del ADN metagenómico obtenido de los 6 métodos utilizados (E1-E6).....  | 271 |
| Tabla 44. Genes involucrados en la síntesis de biosurfactantes en bacterias.....  | 273 |
| Tabla 45. Primers degenerados empleados en la amplificación de genes involucrados en la síntesis de biosurfactantes en organismos marinos y terrestres.....   | 273 |
| Tabla 46. Recuento en placa de Unidades formadoras de Colonia (UFC.g <sup>-1</sup> ) de bacterias detectadas por gramo de sedimento húmedo de E551, E553, E556, E557, E568 y E569, incubadas a diferentes condiciones y medios de cultivo. .... | 282 |
| Tabla 47. Identificación molecular al menor nivel taxonómico posible a partir de los aislados bacterianos obtenidos del sedimento marino. ....  | 284 |
| Tabla 48. Coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo (E) con palangre horizontal de superficie durante el crucero de investigación de peces grandes pelágicos realizado en el bloque COL3, Caribe colombiano.....                    | 318 |
| Tabla 49. Composición de la captura de peces para diferentes bloques de hidrocarburos en el Caribe colombiano. *Se presentan solo las familias y especies más representativas en la captura en peso.....  | 323 |
| Tabla 50. Sexo y estados de madurez de peces grandes pelágicos capturados en el bloque COL3, Caribe colombiano. H: hembra, M: macho, IND: indeterminado, I y II: Inmaduro, III: madurando, IV: maduro, V: en desove.....                        | 327 |
| Tabla 51. Comparación de valores de densidad acústica de peces para diferentes bloques hidrocarburos en el Caribe colombiano.....   | 332 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 52. Estaciones seleccionadas para el análisis de núcleos de piston core. ....   | 337 |
| Tabla 53. Abundancia y total, Abundancia relativa (AR) y frecuencia de ocurrencia (FO), de los phyla encontrados en los núcleos seleccionados de piston core de GUA OFF 1. ....   | 342 |
| Tabla 54. Alcance y certeza en la identificación taxonómica de los foraminíferos bentónicos de las muestras analizadas para el Bloque GUA OFF 1. cf: especie por confirmar; aff.: especie afin; NID: especie no identificada, pero si diferenciada (p. ej. sp. 1, sp. 2, etc.).....   | 351 |
| Tabla 55. Relación del número de foraminíferos bentónicos encontrados con pared de tipo calcáreo hialino, calcáreo porcelanoide y aglutinado, con respecto a las profundidades evaluadas en el bloque GUA OFF 1.....  | 355 |
| Tabla 56. Atributos ecológicos univariados obtenidos con base en las familias y especies de foraminíferos bentónicos identificados. S: riqueza; N: abundancia; J': índice de uniformidad de Pielou, H': índice de diversidad de Shannon; Lambda ( $\lambda$ ): índice de predominio de Simpson; N1: número de Hill especies abundantes; N2: número de Hill especies muy abundantes..... | 357 |
| Tabla 57. Especies que definen la similitud y disimilitud dentro de las asociaciones analizadas a partir de la rutina SIMPER. AP: abundancia promedio; SP: similitud promedio; Sim: similitud; DS: desviación estándar; CT: contribución porcentual; AC: porcentaje acumulativo; DIP: disimilitud promedio; Dis: disimilitud. ....  | 358 |
| Tabla 58. Caracterización de los ensamblajes. Especies más importantes dentro de las asociaciones formadas por el dendograma de similitud de acuerdo con el análisis inverso modificado de Kaandorp. Ab: Abundancia. Fr: Frecuencia relativa.....   | 360 |
| Tabla 59. Matriz de presencia (1) y ausencia (0) a nivel de phylum de los grupos meiofaunales separados de los núcleos de piston core provenientes del bloque GUA OFF 1 .....   | 361 |

## Introducción

En el Plan de Inversión 2016 de la Agencia Nacional de Hidrocarburos, se destinaron importantes recursos económicos con miras al desarrollo de ciencia y tecnología para el sector de hidrocarburos. Este desarrollo estaba enfocado entre otros frentes, a la generación de conocimiento ambiental y social relacionado con las nuevas fronteras de desarrollo del sector de hidrocarburos, entre ellas la de las investigaciones científicas costa afuera. Es por esta razón, que para el año 2017, dentro de los Proyectos de Inversión de la ANH, se han asegurado recursos económicos enmarcados en “Generar conocimiento ambiental y social relacionado con las nuevas fronteras de desarrollo del sector de hidrocarburos”, buscando desarrollar estudios técnicos socio ambientales de línea base en áreas prioritarias.

Sobre la base de proporcionar conocimiento científico y tecnológico en nuevas áreas prioritarias de la industria hidrocarburífera, se firma en el mes de septiembre, el catorceavo convenio de Cooperación interinstitucional entre el INVEMAR y la ANH con el fin de obtener información de línea base socio ambiental, en un área acordada del mapa de tierras mar afuera del Caribe, generada según requerimientos de autoridades ambientales y marítimas y disponible para las decisiones y planeación de actividades del sector. El área seleccionada para llevar a cabo el estudio fue el bloque COL3 el cual se adjudicó a la operadora SHELL EXPLORATION AND PRODUCTION COLOMBIA GMBH, cuyo contrato figura en etapa de evaluación técnica.

El bloque COL3 se encuentra ubicado en la Cuenca Colombia en frente del litoral costero comprendido entre el límite externo del Parque Nacional Natural Tayrona en el departamento del Magdalena hasta Punta Canoas en el departamento de Bolívar, abarcando un área de 9.540 km<sup>2</sup>. La distancia desde el límite más cercano a la costa es de aproximadamente 20 km y la máxima de 130 km, medidos de forma paralela. Abarca profundidades desde los 400 m hasta los 3.700 metros.

El presente Informe Técnico Final resume los alcances y resultados de las actividades desarrolladas a lo largo del periodo de vigencia del Proyecto (desde el 4 de Septiembre de 2017). Responde a los Productos y Entregables comprometidos en la cláusula Quinta del Convenio Interadministrativo No. 379 de 2017 celebrado entre la ANH y el INVEMAR.

El Informe se encuentra organizado por capítulos, correspondientes a cada una de las 6 temáticas desarrolladas en el proyecto de investigación.

La primera temática, incluye la caracterización del componente geosférico, climatológico y oceanográfico del área. La segunda, abarca el levantamiento de información tendiente a evaluar la calidad de agua y sedimentos marinos en el área del bloque. La tercera temática, incluye la caracterización de comunidades biológicas asociadas tanto a la columna de agua (fitoplancton, zooplancton e ictioplancton) como al fondo oceánico (bentos: epifauna, macrofauna y meiofauna). Dentro de esta temática se incluye la evaluación de la presencia de tetrápodos marinos a partir de información

de observación directa y registros obtenidos durante el transcurso del crucero de investigación.

La cuarta temática incluye la continuación a la aproximación de la biodiversidad microbiana de sedimentos marinos y la búsqueda de potenciales aplicaciones de interés para la industria de hidrocarburos. La temática quinta, presenta una valoración biológica pesquera de los recursos de grandes pelágicos, de forma similar como se ha llevado a cabo en los informes de línea base de los bloques ya estudiados.

Sumada a la caracterización del bloque COL3, se presenta en el siguiente capítulo el resultado del análisis de organismos de la macrofauna de núcleos obtenidos mediante tecnología coring, que han sido entregados en custodia al INVEMAR, en el marco regulatorio que otorga permisos de exploración de hidrocarburos a empresas operadoras sobre varios bloques del mar territorial colombiano.

En complemento, se hace una mención especial al final del documento, de los beneficios obtenidos por la industria de hidrocarburos mar afuera, en el desarrollo de los alcances obtenidos por el desarrollo de este y otros proyectos de línea base, en el marco de la alianza estratégica entre el INVEMAR y la ANH.

Hacen parte integral de este Informe el Plan Detallado de Trabajo y el Informe de Gestión presupuestal.

## I. ESTUDIO OCEANOGRÁFICO Y GEOSFÉRICO DE LA INFLUENCIA DEL RÍO MAGDALENA EN LA ZONA

*Constanza Ricaurte Villota, Magnolia Murcia, Laura Catalina Cantor, Andrés Ordóñez Zúñiga, Paola Andrea Quintero, David Fernando Morales, Martha Bastidas Salamanca.*

### 1 Alcance

#### 1.1 Alcance general

Evaluar la influencia del río Magdalena en la zona del bloque de exploración COL3 a partir de la aproximación geosférica, climatológica y oceanográfica siguiendo las consideraciones del medio abiótico.

#### 1.2 Alcances específicos

- Estimar el aporte del río Magdalena en términos de nutrientes y cómo incide en las variables oceanográficas de la zona de estudio.
- Caracterizar el patrón de circulación en la zona en la época de muestreo.
- Describir la dinámica de la pluma turbia del río Magdalena en la zona.
- Evaluar el flujo de sedimentos provenientes del río Magdalena condicionados por las geoformas del fondo marino.

### 2 Problema y su justificación

El bloque de exploración de hidrocarburos Colombia-Offshore-3 (COL3) se encuentra influenciado por el aporte sedimentario del río Magdalena y el ambiente tectónico del cinturón de deformación del Caribe sur, los cuales causan una arquitectura geomorfológica en el fondo marino que permite u obstruye el transporte de sedimento del sistema turbidítico del río (Ercilla *et al.*, 2002). Adicionalmente, el río Magdalena constituye uno de los mayores moduladores de la productividad en la cuenca del Caribe colombiano, llegando incluso a fertilizar hasta la zona de la Reserva de la Biósfera-SeaFlower (Ricaurte Villota *et al.*, 2017).

El clima en la zona, especialmente el ciclo anual de la magnitud del viento, está asociado con los Alisios del noreste los cuales modifican también la dinámica de la pluma turbia del río Magdalena, que puede ser estudiada en términos de la carga de sedimentos y determinada a partir del color del agua en la zona (Delandmeter *et al.*, 2015, Romero *et al.*, 2017).

Teniendo en cuenta que mucha de la información abiótica con que cuenta el país es la registrada en bases de datos regionales, de escala muy gruesa, se hizo necesario realizar un estudio oceanográfico, sedimentológico y geomorfológico de mayor detalle que involucrara la región adyacente a la desembocadura del río Magdalena, así como, complementar la información para la región faltante entre los bloques COL 4 y 5 y COL 1 y 2, con el fin de identificar patrones, procesos y diferencias con respecto a los bloques adyacentes.

En este sentido, se plantean las siguientes preguntas de investigación:

¿Cuál es el aporte del río Magdalena en términos de nutrientes y cómo incide en las variables oceanográficas?, ¿Cómo es el patrón de circulación en la zona en la época de muestreo?, ¿Cómo el clima modifica la dinámica de la pluma turbia de la zona?, ¿Cómo las geoformas del fondo marino condicionan el flujo de sedimentos provenientes del río Magdalena, hacia mayores profundidades?

### 3 Desarrollo/Hallazgos/Resultados

#### 3.1 Metodología

##### 3.1.1 Estimar el aporte del río Magdalena en términos de nutrientes y cómo incide en las variables oceanográficas de la zona de estudio

El río Magdalena, con un área de drenaje de  $2.57 \times 10^5 \text{ km}^2$  es la fuente principal de agua dulce y sedimentos del mar Caribe (Higgins *et al.*, 2016). Aporta  $205.10 \text{ km}^3/\text{año}$  de agua (a la altura de la estación Calamar del IDEAM), que representa el 26% de la descarga total a la cuenca oceánica. Adicionalmente, transporta  $144 \times 10^6 \text{ ton/año}$  de sedimento, que es el 38% del total (Restrepo *et al.*, 2016), lo que significa que el comportamiento hidráulico tiene un efecto directo sobre la morfodinámica litoral y los procesos de circulación costera de la zona (Higgins *et al.*, 2016).

Las zonas influenciadas por descargas de ríos son diferentes de las zonas oceánicas, ya que son altamente dinámicas y complejas, los factores que controlan su circulación son: la batimetría, los materiales, las formas del lecho, los vientos (su dirección y variabilidad), el aporte de los ríos, las condiciones oceánicas (corrientes, salinidad y temperatura), las ondas (oleaje, ondas internas y externas), la rotación de la tierra, las condiciones climáticas (la radiación incidente, la temperatura del aire, la precipitación), los intercambios de materia y energía con las fronteras, entre otras (Montoya-Jaramillo, 2010).

Con el ánimo de identificar la influencia de la pluma de descarga del río Magdalena sobre el bloque de exploración COL3, se evaluaron algunos de los factores descritos anteriormente a través de información secundaria y se analizó la información *in situ* obtenida durante la campaña de campo realizada entre el 18 de septiembre y el 14 de octubre de 2017.

### 3.1.1.1 Precipitación

Los registros de precipitación fueron extraídos de la estación meteorológica del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), ubicada en el aeropuerto Ernesto Cortissoz en las coordenadas 10.91 N y 74.77 W (Figura 1), la cual tiene información promedio diaria desde el año 1978 hasta 2014.

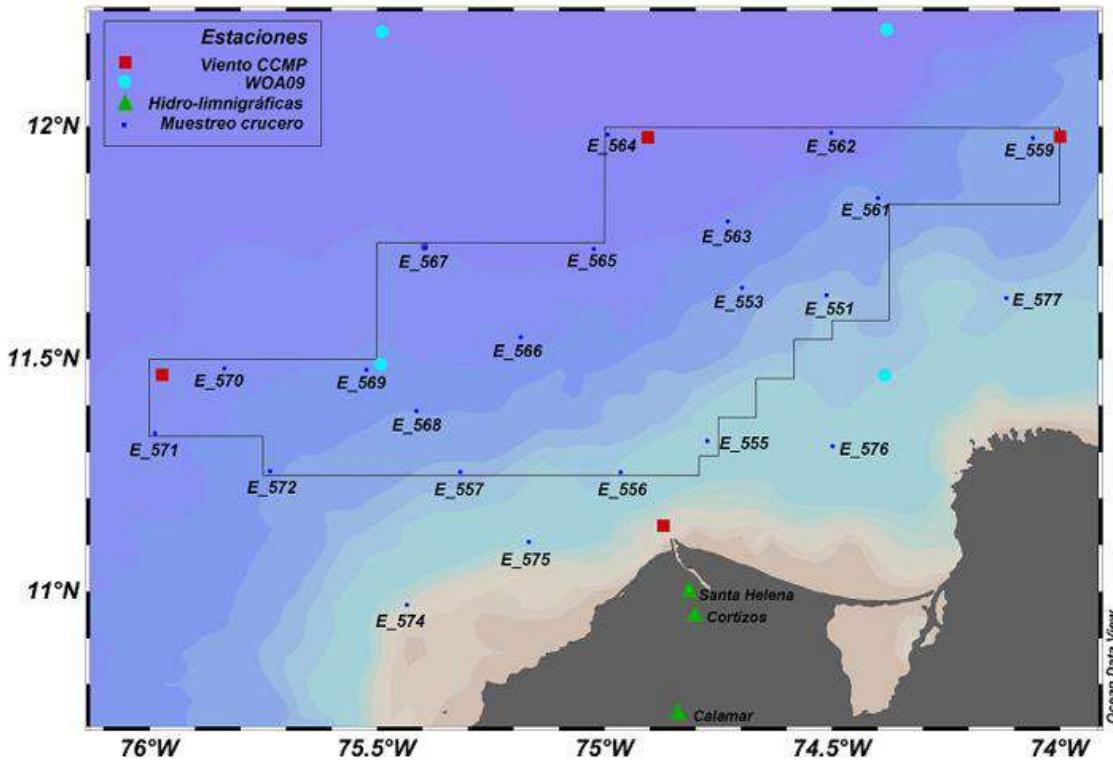


Figura 1. Mapa de estaciones del crucero oceanográfico COL3 2017. *in situ* y de información secundaria (IDEAM, CCMP, WOA09).

### 3.1.1.2 Caudales

De la estación hidrológica Calamar localizada en 10.25N y 74.91W (Figura 1), se utilizaron los caudales diarios promedio desde 1941 hasta 2014 para evaluar la variación hidrológica en la escala anual. Adicionalmente, se revisaron los datos máximos y mínimos mensuales para identificar la influencia de eventos tipo ENOS (El Niño – Oscilación del Sur). También se emplearon datos de la estación limnigráfica (niveles) del IDEAM en Santa Helena, localizada en 10.06N y 75.43W (Figura 1). Esta representa las descargas fluviales del río al canal del Dique que son menos del 6% del caudal total (Romero *et al.*, 2016).

### 3.1.1.3 Nutrientes y Clorofila-a *in situ*

Estas variables fueron analizadas a partir de información primaria, con las muestras de agua colectadas durante el crucero oceanográfico, para lo cual se utilizaron botellas

Niskin de 10 litros acopladas a una roseta oceanográfica. Fueron muestrados diferentes estratos de la columna de agua (0, 30, 80, 125, 250, 500-600, 900-1.000, 1.500, 2.300 y 2.600) dependiendo de la profundidad de la estación. A bordo se filtró 1 litro de agua por medio de un filtro GF/A con tamaño de poro de 0,47 µm e inmediatamente se llevó al punto de congelación para evitar la oxidación en el caso de los nutrientes; y para la clorofila-*a* se filtró 5 litros aproximadamente por medio de filtros de fibra de vidrio Whatman GF/F con tamaño de poro de 0,7 µm. El proceso de filtrado se llevó en la penumbra para evitar la degradación de los pigmentos. Posteriormente, el filtro se colocó en un sobre de papel aluminio previamente rotulado y se almacenó en un termo con nitrógeno líquido a -80°C para su posterior análisis en el laboratorio de Calidad Ambiental Marina del INVEMAR (LabCAM).

Adicionalmente a los datos *in situ*, se analizaron algunas estaciones de la base de datos mundial WOA09 (*World Ocean Atlas*, versión 2009), esto con el fin de realizar comparaciones y ver tendencias. Se utilizaron los datos de septiembre y octubre y se eligieron cuatro estaciones adyacentes a la zona del bloque COL3. Las estaciones fueron la 25826, 25827, 26091 y 26092. Se extrajeron los datos de nitratos, fosfatos y silicatos de la columna de agua (0-500 metros) y se realizaron interpolaciones gráficas tanto en superficie como en la máxima profundidad (500 m), usando el algoritmo *Diva Gridding* del software *Ocean Data View* versión 4.7.10 (Schlitzer, 2017) y procurando la menor anisotropía en la interpolación de los datos. También se realizaron perfiles para ver el comportamiento de éstos en las diferentes capas de la columna de agua.

### 3.1.1.4 Variables oceanográficas

El equipo utilizado para realizar perfiles en 18 estaciones dentro del polígono COL3 y 4 estaciones fuera de él (Tabla 1) (Figura 1), fue un perfilador CTDO SeaBird 19+V2, cuyos lances se efectuaron hasta la máxima profundidad de la estación para medir parámetros de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en la columna de agua.

Una vez pre-procesados los datos y con el control de calidad apropiado, se utilizó el programa *Ocean Data View* (ODV) para graficar los perfiles de cada estación, transectos y diagrama T-S para identificación de masas de agua. Emery y Meincke (1986), Giraldo, (1994) y Hernandez-Guerra y Joyce (2000) realizaron una caracterización de las principales masas de agua en el Caribe colombiano y encontraron que existen cinco masas de agua recurrentes en la zona (Tabla 2). Con base en los datos termohalinos del crucero y la clasificación presentada, fueron descritas las masas de agua identificadas para el bloque COL3. Los datos tomados en crucero también fueron comparados con la estación 25826, localizada en 11.50N y 75.50W, de la base de datos climatológica global (*World Ocean Atlas-WOA09*) (Figura 1) con el fin de establecer similitudes o diferencias en las variables de interés con respecto a la climatología descrita para la zona.

Tabla 1. Localización, profundidad y fecha de muestreo de estaciones oceanográficas ANH - COL3.

| COL3 - 18 de septiembre hasta 14 de octubre de 2017 |        |         |       |            |
|---|--------|---------|-------|------------|
| Nombre  | Lat.   | Lon.    | Prof. | Fecha      |
| E_551   | 11.638 | 74.5122 | 1242  | 20/09/2017 |
| E_553   | 11.471 | 74.6986 | 1250  | 22/09/2017 |
| E_555   | 11.450 | 74.7752 | 1394  | 23/10/2017 |
| E_556   | 11.324 | 74.9656 | 818   | 23/09/2017 |
| E_557   | 11.257 | 75.3174 | 1470  | 24/09/2017 |
| E_559   | 11.263 | 75.4345 | 1673  | 02/10/2017 |
| E_561   | 11.853 | 74.1455 | 2532  | 03/10/2017 |
| E_562   | 11.988 | 74.5023 | 3406  | 03/10/2017 |
| E_563   | 11.796 | 74.7299 | 2780  | 05/10/2017 |
| E_564   | 11.982 | 74.9938 | 3500  | 04/10/2017 |
| E_565   | 11.737 | 75.0236 | 3199  | 06/10/2017 |
| E_566   | 11.547 | 75.1844 | 2535  | 07/10/2017 |
| E_567   | 11.741 | 75.3954 | 3075  | 26/09/2017 |
| E_568   | 11.388 | 75.4132 | 1210  | 25/09/2017 |
| E_569   | 11.477 | 75.5233 | 2349  | 25/09/2017 |
| E_570   | 11.480 | 75.8358 | 2650  | 08/10/2017 |
| E_571   | 11.340 | 75.9878 | 2699  | 08/10/2017 |
| E_572   | 11.259 | 75.7353 | 1954  | 09/10/2017 |
| E_574   | 11.107 | 75.1668 | 60    | 30/09/2017 |
| E_575   | 11.313 | 74.4993 | 523   | 30/09/2017 |
| E_576   | 11.631 | 74.1172 | 811   | 01/10/2017 |
| E_577   | 11.975 | 74.0592 | 1073  | 01/10/2017 |

Tabla 2. Masas de agua reportadas para el Caribe colombiano. Fuente: varios autores.

| Masa de agua                             | Profundidad (m) | Temperatura (°C) | Salinidad | Autores   |
|--|-----------------|------------------|-----------|---|
| Agua superficial del Caribe (ASC)        | 0-50            | 28-30            | <35.5     | Hernandez-Guerra y Joyce (2000)                 |
| Agua Subsuperficial Subtropical (ASS)    | 50-200          | 22-23            | >36.6     | Giraldo (1994), Hernandez-Guerra y Joyce (2000) |
| Agua central del Atlántico Norte (ACAN)  | 0-500           | 7-20             | 35-36.7   | Emery y Meincke, (1986) y Emery(2001)           |
| Agua intermedia Subantártica (AIS)       | 500-1500        | 3-9              | 34-35.1   | Emery y Meincke, (1986) y Emery(2001)           |
| Agua profunda del Atlántico Norte (APAN) | >1500           | 1.5-4            | 34.8-35   | Emery y Meincke, (1986) y Emery(2001)           |

### 3.1.2 Circulación marina y dinámica de la pluma turbia del río Magdalena durante la época de muestreo

Un análisis del comportamiento de la pluma debe considerar posibles variaciones en las condiciones climáticas y oceanográficas para lograr una adecuada descripción del comportamiento de dicha zona. El delta del río Magdalena está clasificado como sistema dominado por las olas (Coleman, 1981), lo que significa que la extensión de la pluma de sedimentos del río está asociada principalmente a la dirección y altura de ola. Igualmente, Romero *et al.* (2017) exponen que la extensión de la pluma está asociada principalmente a los procesos físicos de resuspensión por vientos y oleaje que tienen una variabilidad estacional, más que a la descarga continental.

De esta manera, durante marzo hay mayor extensión de la pluma de sedimentos del río Magdalena hacia el sur de la región, incluso teniendo conectividad con los arrecifes de coral del PNNCRSB (Restrepo *et al.*, 2006; Moreno-Madriñán *et al.*, 2015; Higgins *et al.*, 2016) mientras en el mes de octubre aumenta la intensidad de la señal, más no la extensión (Romero *et al.*, 2017). También existen estudios que demuestran la influencia de la pluma de descarga del río sobre el sector de la Barra de Salamanca y la Ciénaga Grande de Santa Marta (INVEMAR-GEO, 2014). Por lo anterior fueron incluidas para el análisis las variables viento, oleaje e información satelital de color del océano.

#### 3.1.2.1 Vientos

Considerando que el viento es el principal generador de oleaje en superficie, el estudio de la variación de las olas en la zona de estudio debe partir de esta variable (Otero, Higgins y Henriquez, 2016). Se construyó el ciclo anual y las rosas de viento de la serie que se localiza en las coordenadas 11.125 N y 74.875 W (Figura 1), a 3 Km de distancia de la boca del río Magdalena. La serie empleada se extrajo de *Cross Calibrated Multiplatform (CCMP) Ocean Surface Winds* que incluye información desde el año 1987 hasta el 2015, en escala temporal de 6 horas y espacial de 0.25°, disponible en: (<ftp://podaacftp.jpl.nasa.gov/allData/ccmp/L3.0/flk/>). Se comparó la velocidad y dirección durante los meses climatológicos de septiembre y octubre con los datos de tres estaciones aledañas de la misma base de datos (Figura 1).

#### 3.1.2.2 Oleaje

La principal fuente de energía y causa de transporte de sedimentos en las costas es el régimen de oleaje, que al igual que el viento y otras variables climáticas marinas, presentan variabilidad en diferentes escalas temporales (diarias, semanales, mensuales, estacionales, etc.). Se realizó la recopilación de antecedentes de los cambios en el oleaje en la zona de estudio y se utilizó información (del 16 al 22 de septiembre) de la boya del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH) ubicada frente a bocas de ceniza para describir el fenómeno durante parte del crucero oceanográfico.

### 3.1.2.3 Circulación marina

La circulación para la época del crucero fue descrita a partir de dos aproximaciones: satelital e *in situ*. En cuanto a la aproximación satelital, los datos de magnitud y dirección de las corrientes marinas fueron derivados de altimetría satelital. Los datos fueron descargados a través de la plataforma *Copernicus* (<https://http://marine.copernicus.eu>) que es la encargada de la recolección de información satelital de todas las misiones pertenecientes a la Unión Europea. Fueron descargados datos semanales: del 18 al 30 de septiembre y del 1 al 14 de octubre con una resolución espacial de 16 km.

En cuanto a la aproximación *in situ*, durante el crucero oceanográfico fueron medidas magnitud y dirección de las corrientes en 22 estaciones (Tabla 1) (Figura 1) empleando un perfilador acústico tipo ADCP con rango de operación entre 1 y 65 m y frecuencia de 300 KHz. Los datos fueron medidos en celdas de 5 m y se presentan como mapas de circulación para dos profundidades seleccionadas.

### 3.1.2.4 Imágenes satelitales

La pluma de descarga del río Magdalena ha sido estudiada a través del color del océano, ya que éste está asociado a la carga de sedimentos, clorofila y las características geológicas y oceanográficas de la zona (Delandmeter *et al.*, 2015). Se procesaron imágenes satelitales de septiembre y octubre climatológicos, así como de 2017 de Rrs555 (asociada a los sedimentos en suspensión) y clorofila-*a* que hacen parte del sensor *MODIS*, las cuales tienen resolución espacial de 4 Km y están disponibles en: (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/atbd/rrs/>). Con toda esta información se realizó la caracterización del comportamiento de la pluma de descarga del río durante la época húmeda.

## 3.1.3 Evaluar el flujo de sedimentos provenientes del río Magdalena condicionados por las geoformas del fondo marino.

La evaluación de los sedimentos provenientes del río Magdalena y su relación con la geoformas del fondo marino en el Bloque COL3 se realizó a partir de análisis sedimentológico de perfiles de sedimentos superficiales (<50 cm) y la caracterización de geoformas en el bloque de interés.

### a. Caracterización geomorfológica

Para la descripción geomorfológica del área de estudio se realizó la recopilación bibliográfica (Ercilla *et al.*, 2002; INVEMAR-ANH, 2008) donde se presentan las principales unidades y procesos a nivel regional del delta o abanico del Magdalena y el antiguo bloque Tayrona. La información fue digitalizada y organizada en un sistema de información geográfica para la delimitación de unidades y rasgos geomorfológicos. El procedimiento para delimitación de unidades sigue las recomendaciones de Carvajal (2012) de clasificación en estructura jerárquica a partir del ambiente tectónico y los procesos que forman el paisaje. Se presenta una aproximación cartográfica del área de interés debido a la ausencia de información batimétrica de alta resolución en la ANH.

Para corroborar el origen y evolución de las geoformas descritas se requiere análisis de la estructura del subsuelo y así aumentar la certeza de las unidades y rasgos definidos.

### b. Caracterización sedimentológica

Los insumos primarios para la caracterización sedimentológica se obtuvieron durante el crucero de investigación del proyecto, y el análisis de dos sub-muestras superficiales en núcleos de perforación del área de estudio, en custodia del Programa de Geociencias Marinas y Costeras (GEO) del INVEMAR. Adicionalmente, se consultó como información secundaria, los análisis sedimentológicos realizados en los trabajos de Muñoz (1966) e INVEMAR-ANH (2008 y 2010).

Desde noviembre del 2011, el Programa GEO custodia núcleos de perforación en el repositorio del Laboratorio de Instrumentación Marina (LabIMA), entregados por Transmares durante el proyecto de cableado submarino del año 2011, de los cuales se analizaron sub-muestras superficiales (<30 cm) en los núcleos GC\_0001 y GC\_003 (Tabla 3).

*Tabla 3. Coordenadas de las estaciones de muestreo de sedimentos en el Bloque COL-3.*

| Estación      | Latitud       | Longitud      | Entidad encargada |
|---------------|---------------|---------------|-------------------|
| <b>E1</b>     | 11°38'16.61"N | 74°30'43.96"W | ANH- INVEMAR      |
| <b>E3</b>     | 11°28'15.75"N | 74°41'54.82"W | ANH- INVEMAR      |
| <b>E6</b>     | 11°15'23.82"N | 74°57'56.25"W | ANH- INVEMAR      |
| <b>E7</b>     | 11°15'28.54"N | 75°19'2.52"W  | ANH- INVEMAR      |
| <b>E9</b>     | 11°58'31.70"N | 74° 3'33.06"W | ANH- INVEMAR      |
| <b>E13</b>    | 11°47'46.54"N | 74°43'47.48"W | ANH- INVEMAR      |
| <b>E15</b>    | 11°44'13.64"N | 75° 1'24.79"W | ANH- INVEMAR      |
| <b>E16</b>    | 11°32'50.18"N | 75°11'4.00"W  | ANH- INVEMAR      |
| <b>E17</b>    | 11°44'26.66"N | 75°23'43.43"W | ANH- INVEMAR      |
| <b>E18</b>    | 11°23'18.16"N | 75°24'47.37"W | ANH- INVEMAR      |
| <b>E19</b>    | 11°28'37.95"N | 75°31'23.88"W | ANH- INVEMAR      |
| <b>GC_001</b> | 11°02.9912'   | 75°01.7290'   | INVEMAR           |
| <b>GC_003</b> | 11°09.8054'   | 75°09.2948'   | INVEMAR           |

Durante el crucero de investigación se recolectaron 11 perfiles de sedimentos superficiales en el fondo marino. Los perfiles se obtuvieron de la muestra de Box Core con la ayuda de un coronador de PVC (Figura 2). Las coordenadas de las estaciones de recolección se listan en la Tabla 3.

La condición de conservación de las muestras durante el crucero, fue almacenamiento en posición vertical de los coronadores en una caja refrigerada, hasta el traslado al LabIMA. Previo al desarrollo de los análisis, las muestras se almacenaron en un cuarto frío a una temperatura de -20°C. Cada perfil fue cortado por la mitad y luego se examinó visualmente para identificar la presencia de estratos, sin embargo, no se observaron diferencias y se decidió realizar el análisis sedimentológico en cada perfil como una muestra puntual de la estación (Figura 3). A cada muestra se le realizó análisis de granulometría, contenido de materia orgánica, calcimetría y mineralogía de la fracción de sedimento mayor a 63 µm.

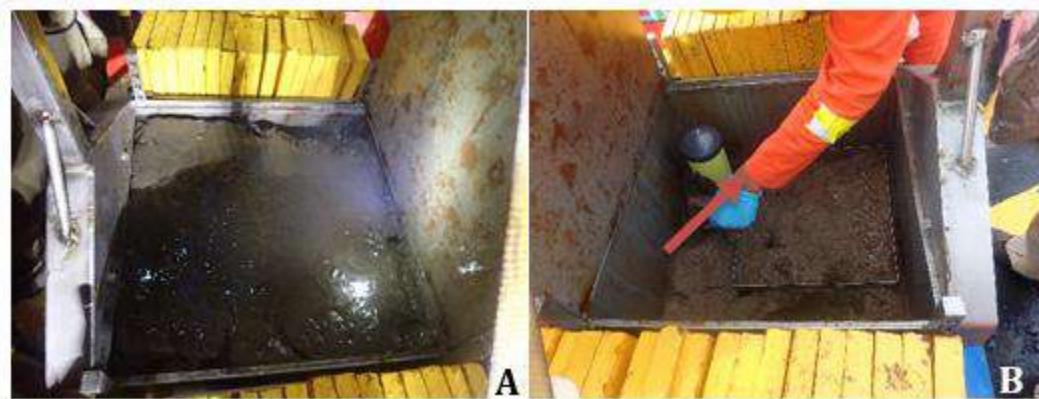


Figura 2. Muestra en Box Core (A) y coronador PVC (señalado con la flecha roja) para obtener el perfil de sedimento (B).

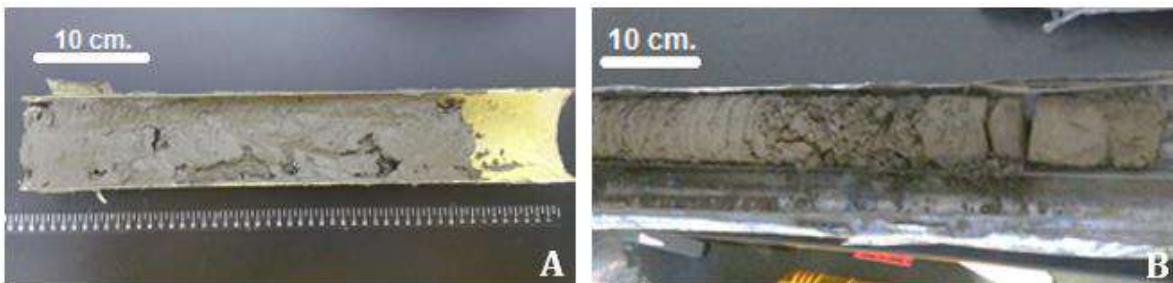


Figura 3. Corte a la mitad del perfil de sedimento en la estación E9, no se observa estratificación interna (A) y núcleo de perforación GC\_001 (B).

El análisis de granulometría inicia secando las muestras en horno a una temperatura de 60°C durante un tiempo aproximado de 48 a 72 h. Esto considerando que las arcillas o minerales hidratados pueden verse afectados por la reducción de humedad en la muestra. Basados en la metodología propuesta por el laboratorio, PR-LABIMA-02, versión 00 (LabIMA - INVEMAR), se tomó aproximadamente 100 g de sedimento y se separó sus fracciones granulométricas en una batería de seis tamices (aberturas de malla de 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,125 mm, 0,063 mm y base), durante 15 minutos, las cuales fueron pesadas en la balanza analítica. Posteriormente, se realizó un análisis estadístico de tamaño de grano por medio de aritmética y logaritmos, utilizando los gráficos de clasificación de sedimentos de Folk y Ward (1957), utilizando el software GRADISTAT (Blott y Pye, 2001).

Siguiendo el procedimiento PR-LABIMA-08 versión 00, se realizó un conteo de partículas en la fracción arenosa con un microscopio binocular, esto con el fin de realizar la identificación mineralógica de las fracciones granulométricas obtenidas del tamizado en la muestra. Los porcentajes de los minerales se determinaron por medio de comparación visual con diagramas de estimación de porcentajes (Terry y Chilingar, 1955).

El método de pérdida de peso por ignición (Loss on ignition (LOI)) se utilizó para determinar el contenido de materia orgánica en el sedimento. Se tomaron 5g de muestra seca en crisos previamente pesados, los cuales fueron calcinados en mufla a

550°C durante 8 horas. Transcurrido este tiempo se bajó la temperatura de la mufla a temperatura ambiente y se pasaron las muestras al desecador durante una hora para luego pesar los crisoles con la muestra. Finalmente, se halló la diferencia de pesos y se pasaron los resultados a una matriz de datos.

El método de calcímetro de Bernard fue la base para calcular el contenido de carbonato de calcio en sedimento. Este consiste en pulverizar muestra seca y agregar 100 mg de ésta en un tubo de ensayo. Luego se acopló al tubo del calcímetro y se registró la lectura inicial en la bureta. Por medio de una jeringa se adicionaron 2 ml de HCl, generando un cambio en la lectura de la bureta (lectura final), producto de la reacción química. Previo a todo este análisis se realizó una curva de calibración con diferentes cantidades de CaCO<sub>3</sub> (2, 5, 10, 20, 40, 60, 80 y 100 mg), del cual se obtuvo la fórmula:  $x = y - 2,1634/0,1683$ , donde X es la concentración de CaCO<sub>3</sub> y Y el volumen desplazado en la bureta. Finalmente, se reemplazó los datos obtenidos de cada muestra y se obtuvo el resultado final.

## 3.2 Presentación de los Hallazgos y Resultados:

### 3.2.1 Estimar el aporte del río Magdalena en términos de nutrientes y cómo incide en las variables oceanográficas de la zona de estudio.

#### 3.2.1.1 Precipitación

Como se mencionó anteriormente, la interacción de variables climáticas y oceanográficas son el motor de la dispersión de la pluma del río, tanto en superficie como en la columna de agua, lo que implica que las propiedades termohalinas de la zona están en parte condicionadas por la pérdida o ganancia de agua a través de la evaporación, precipitación o descarga de aguas de origen continental (Stewart, 2000).

A partir del análisis de datos de precipitación de la estación IDEAM ubicada en el aeropuerto Cortissoz, se identificó que la zona de estudio presenta el mismo comportamiento bimodal descrito por otros autores (Poveda, 2004; Bernal *et al.*, 2006), con temporada seca a principios de año entre diciembre y abril (estación seca principal) y una temporada húmeda que se presenta el resto del tiempo, con interrupción o descenso entre junio, julio y agosto conocida como “veranillo de San Juan” (Figura 4). Como es señalado por otros autores (Bernal *et al.*, 2014), se encontró que septiembre, octubre y noviembre es la época húmeda principal. Durante el mes de octubre se presentan los mayores registros de precipitación del año (168.90 mm); mientras que durante enero, febrero y marzo se registraron los menores: 1.01, 0.37 y 1.08 mm respectivamente.

En cuanto a las precipitaciones acumuladas anuales, se identificó que los máximos registros ocurrieron en los años 1995, 1996 y 2010 (Figura 5), años de ocurrencia de evento ENOS en su fase La Niña. Particularmente durante la época húmeda de 1995, el acumulado fue en promedio 300 mm y en noviembre de 2010 se alcanzó un máximo de 394.50 mm, que desencadenó un aumento en las descargas del río Magdalena.

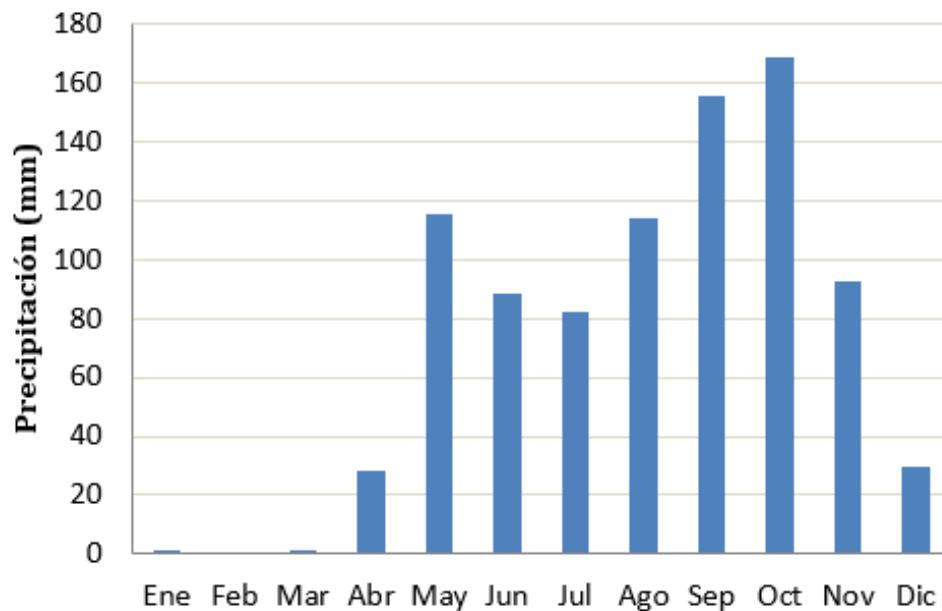


Figura 4. Ciclo anual de precipitación. Fuente de datos: Estación meteorológica Cortissoz del IDEAM desde 1972 hasta 2013.

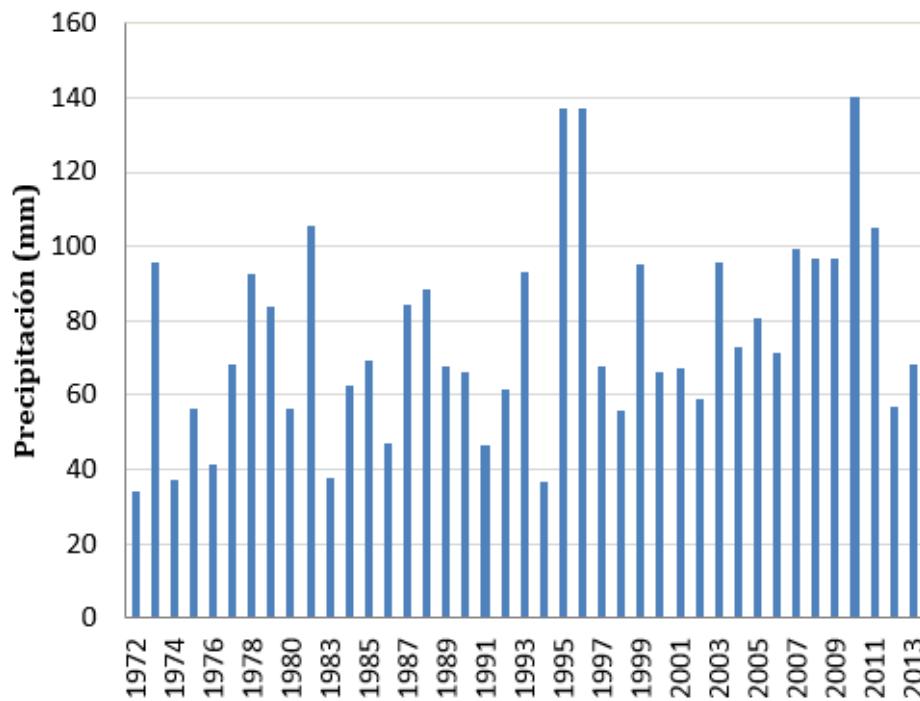


Figura 5. Precipitación multianual. Fuente de datos: Estación meteorológica Cortissoz del IDEAM desde 1972 hasta 2013.

### 3.2.1.2 Caudales

Las desembocaduras de los ríos son los ambientes marinos con dinámica sedimentaria más activa debido a la confluencia de la marea, el oleaje, el viento y la deposición de sedimentos transportados desde el continente (GIOC, 2010). Las características geológicas y geomorfológicas, la naturaleza de los sedimentos, el régimen de descarga fluvial junto con la dinámica temporal de las variables oceánicas y atmosféricas, hacen que los modos de sedimentación sean diferentes de una desembocadura a otra (Alvarez, 2010).

La pluma de descarga del río Magdalena se caracteriza por ser de baja salinidad, alto contenido de nutrientes y sólidos suspendidos y por presentar variabilidad en la dispersión durante el año (Moller et al., 2010). El promedio de descarga del río es 7214 m<sup>3</sup>/s a la altura de calamar y 366 m<sup>3</sup>/s en la estación Santa Helena, que representa la descarga fluvial del río en el Canal del Dique. El ciclo anual del río Magdalena es también de variación bimodal: durante la época húmeda los caudales son altos y encuentran el máximo valor en el mes de noviembre con 9882 m<sup>3</sup>/s en Calamar y 484 m<sup>3</sup>/s en Santa Helena, mientras durante la época seca sus caudales son bajos, con mínimo en marzo de 4138 m<sup>3</sup>/s en la estación Calamar y 202 m<sup>3</sup>/s en la conexión con el Canal del Dique (Figura 6).

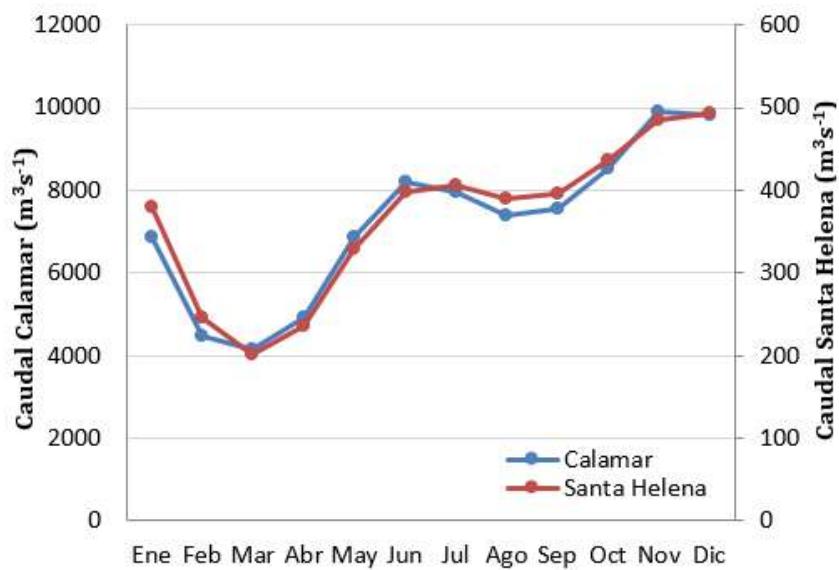


Figura 6. Ciclo anual de caudal del río Magdalena (1941-2015). Fuente de datos: Estación Calamar y Santa Helena IDEAM.

El máximo valor registrado por la estación Calamar del IDEAM se presentó en noviembre del año 1975 con 16913 m<sup>3</sup>/s, otros valores máximos se presentaron en noviembre y diciembre de 2007 con 14524 y 14347 m<sup>3</sup>/s, respectivamente y noviembre de 2010 con un valor de 14460 m<sup>3</sup>/s. De igual manera, en la estación Santa Helena se registraron los máximos valores en diciembre de 2010 y enero de 2011 con 835 y 720 m<sup>3</sup>/s, estos registros coinciden con ocurrencia de eventos La Niña.

### 3.2.1.3 Nutrientes y Clorofila-a

Los nutrientes en los ambientes oceánicos constituyen el mayor limitante para la red trófica pelágica, debido a que son la fuente para desarrollar los procesos metabólicos primarios del fitoplancton, que a su vez constituye la base de la red trófica (Lalli y Parson, 1997). El bloque COL3 se encuentra en la zona de influencia directa del río Magdalena; el cual como ya se mencionó anteriormente, presenta sus máximos caudales en los últimos meses del año. Estos caudales se ven reflejados en un incremento en la concentración de nutrientes y por ende en la productividad primaria en la zona.

Tanto los valores de nitratos, silicatos y clorofila-a demuestran dicha relación registrándose a nivel superficial un incremento en las estaciones más costeras con influencia del río y el golfo de Salamanca. Sin embargo, debido a que los fosfatos y el silicato presentan dos núcleos de alta concentración en la zona Este y Oeste, parecen estar respondiendo a otra fuente de fertilización diferente al río Magdalena, posiblemente asociada a los ríos que bajan de la zona oriental de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) (Figura 7).

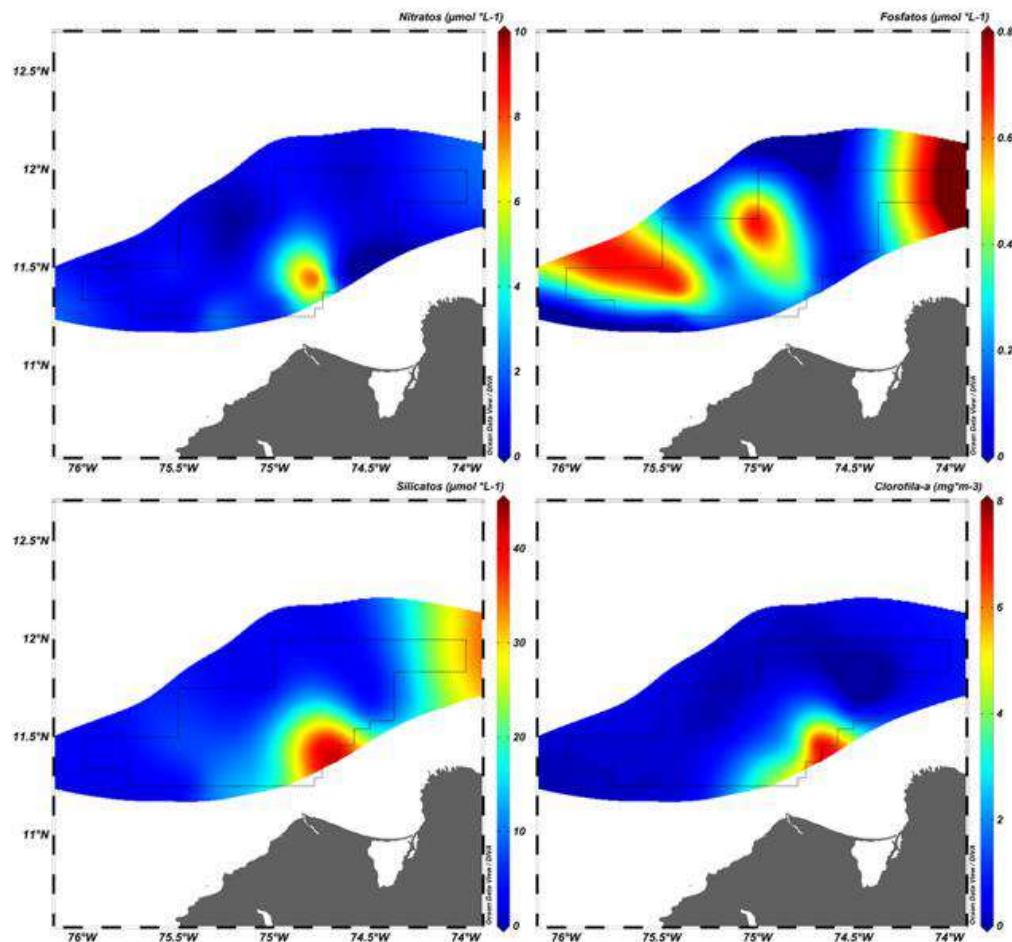


Figura 7. Nitratos, fosfatos, silicatos y clorofila-a a nivel superficial durante la campaña oceanográfica 2017.

Al analizar los datos de la climatología WOA09 en los dos meses en los cuales se realizó el crucero (septiembre y octubre), se encontró en los nitratos, que a nivel superficial hay un incremento en septiembre con respecto a octubre, pasando de concentraciones de  $2.5 \mu\text{mol/L}$  a  $0.6 \mu\text{mol/L}$  (Figura 8a y b); sin embargo, los valores registrados *in situ* durante el crucero son cuatro veces mayores.

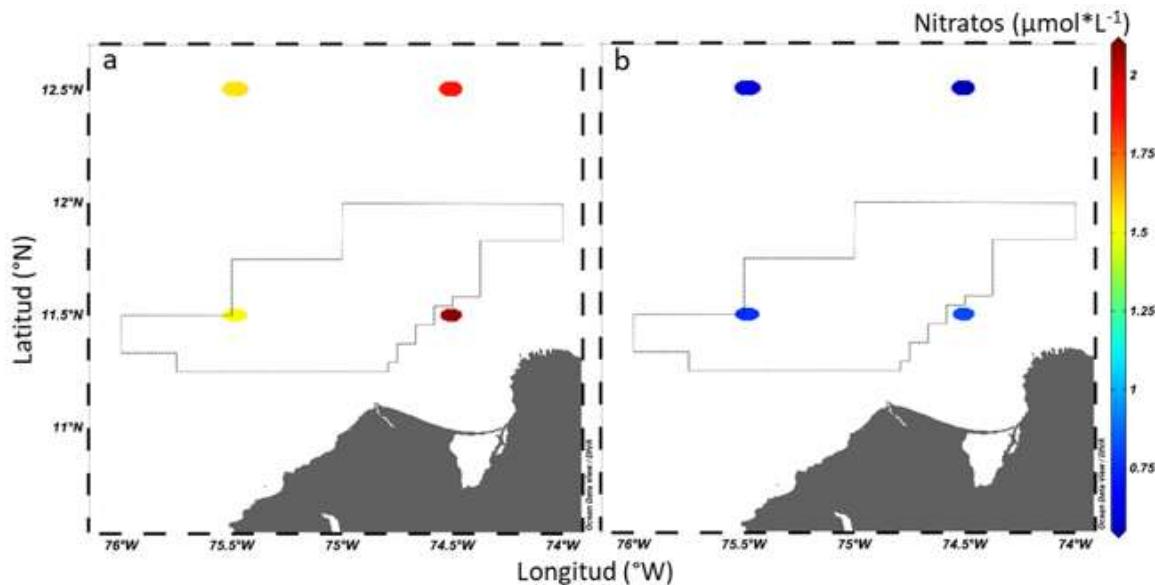


Figura 8. Nitratos superficiales en la zona adyacente al bloque COL3 durante los meses de septiembre (a) y octubre (b)  
Fuente: WOA 09

A nivel superficial, los fosfatos presentan en el ciclo anual una disminución hacia la costa en septiembre; mientras que en octubre aumenta su concentración en toda la zona (Figura 9a y b). Los valores de esta climatología están muy por debajo de lo registrado en el presente crucero ( $0.07 \mu\text{mol/L}$  en comparación con  $0.8 \mu\text{mol/L}$ ).

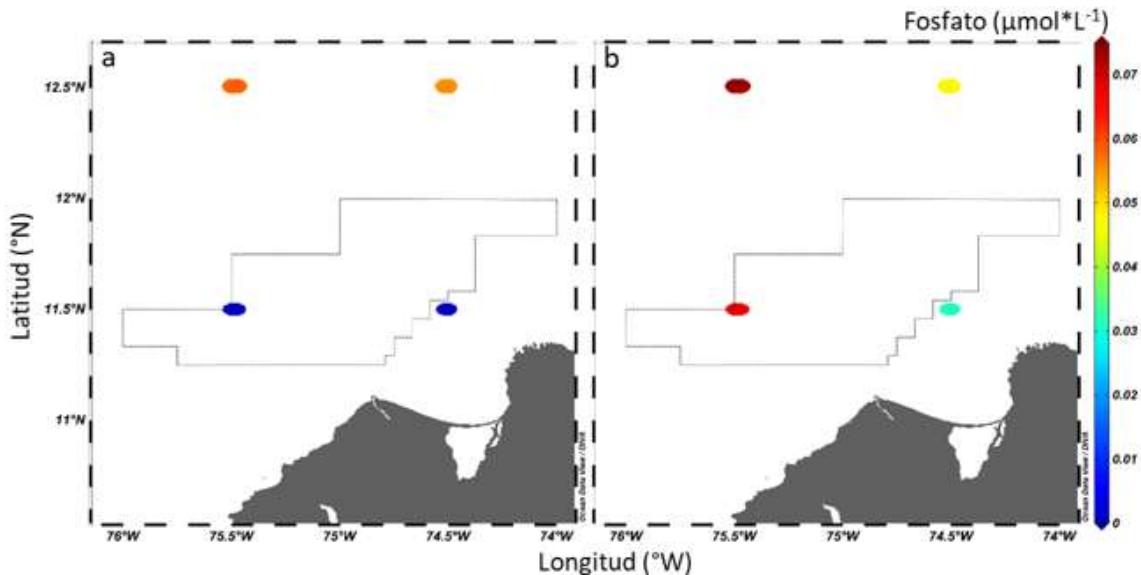


Figura 9. Fosfatos superficiales en la zona adyacente al bloque COL3 durante los meses de septiembre (a) y octubre (b).  
Fuente: WOA 09.

Finalmente, al analizar los silicatos a nivel climatológico, se encuentra que las mayores concentraciones se presentan en el mes de octubre (Figura 10 a y b). Estos resultados indican que en los meses donde se encuentran los pulsos más altos de descarga del río Magdalena coinciden con el incremento en éste nutriente, el cual constituye el mayor indicador de aportes continentales.

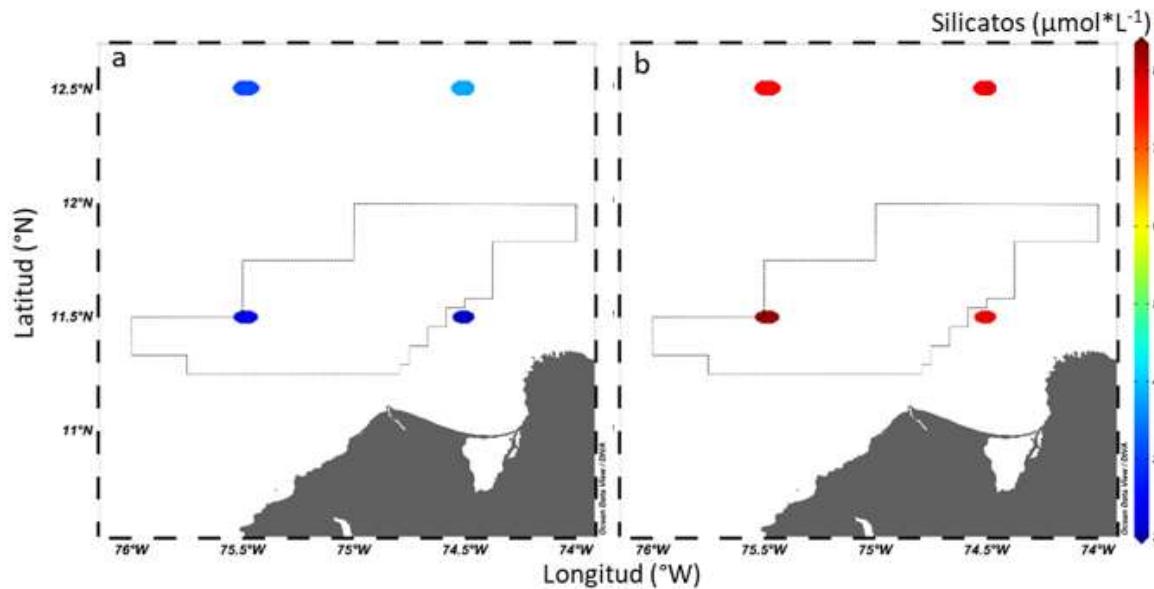


Figura 10. Silicatos superficiales en la zona adyacente al bloque COL3 durante los meses de septiembre (a) y octubre (b). Fuente: WOA 09.

No obstante; de acuerdo con el ciclo del silicio, las fuentes potenciales son las descargas de los ríos, las aguas subterráneas, la atmósfera y el océano. El silicio entra al océano en forma directa (silicato disuelto) o en forma indirecta a través de partículas como silicato biogénico y silicato litogénico, las cuales posteriormente se disuelven. En consecuencia, las diatomeas utilizan el silicato disuelto a través del reciclado interno del silicato biogénico que se efectúa en la columna de agua y en la interfase agua-sedimento.

Una vez que las condiciones son óptimas para el crecimiento del fitoplancton, estas tienden a ser las dominantes (Guillard y Kilham, 1978). Dichas condiciones se cumplen fundamentalmente cuando hay aporte de plumas fluviales (Nelson y Dortch, 1996; Ragueneau *et al.*, 2002), afloramientos transitorios en el océano abierto provocados por episodios de mezcla causados por el viento (Marra *et al.*, 1990) y el hundimiento de parcelas de agua en el océano causado por remolinos (Nelson *et al.*, 1989; Brzezinski *et al.*, 1998). Pero básicamente en el caso de la zona del bloque COL3, el aporte de silicato es principalmente desde la pluma del río Magdalena y de los ríos que bajan de la zona oriental de la SNSM.

A nivel de la columna de agua y analizando los datos *in situ*, se encontró que las mayores concentraciones de nitratos se registraron a partir de los 150 m aproximadamente, encontrando un mayor gradiente después de los 250 m y hasta los 1500 m, profundidad a partir de la cual tienden a estabilizarse (Figura 11a). En consecuencia, el aumento de

la concentración de nitrato en profundidad se debe a que en las capas más profundas ocurren procesos de nitrificación y remineralización de la materia orgánica. Al comparar con los valores registrados para la climatología WOA09, éstos se encuentran dentro del rango de valores y siguen la misma tendencia, aunque en algunas estaciones fueron mayores. Cabe destacar que a nivel de la columna de agua solo se consideró la estación cercana al golfo de Salamanca (E25827) para comparar con los datos del presente estudio.

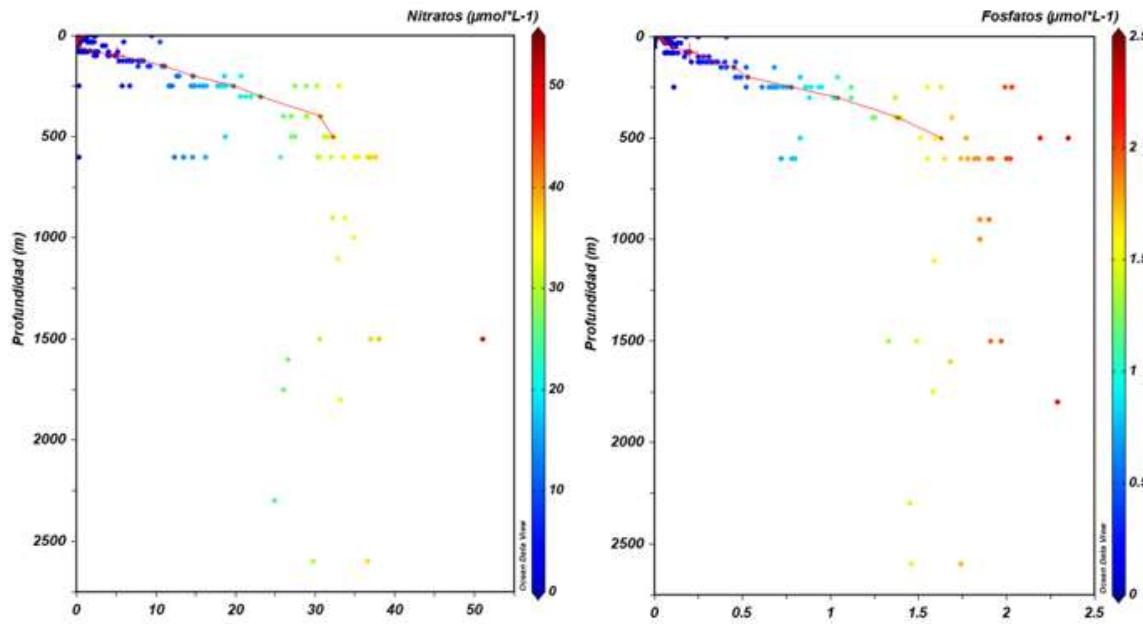


Figura 11. Perfil de nitratos en la columna de agua en comparación con registros climatológicos de septiembre y octubre WOA09 (línea roja) (a). Perfil de fosfatos en la columna de agua en comparación con registros climatológicos de septiembre y octubre WOA09 (línea roja) (b).

Con respecto a los fosfatos, las concentraciones fueron más altas entre los 500 y los 1800 m, registrándose valores de hasta 2.5  $\mu\text{mol/L}$  (Figura 11b). En el océano abierto, la regeneración de los compuestos de fósforo disueltos ocurre por el hundimiento de las partículas y el afloramiento de estos en la zona eufótica, el cual es un paso crítico que regula la disponibilidad de fósforo y la producción biológica en las aguas superficiales (Benítez-Nelson, 2000; Paytan *et al.*, 2003). Precisamente, las mayores concentraciones tanto de nitratos como de fosfatos, se detectaron donde se localiza la parcela de agua de menor concentración de oxígeno disuelto (Figura 11a y b), lo cual es normal debido al consumo de oxígeno en la oxidación de la materia orgánica.

Los silicatos presentaron concentraciones más altas a nivel superficial en las estaciones con influencia directa del río Magdalena y el golfo de Salamanca (E556, 561, 555, 553) y a los 600 m aproximadamente (Figura 12 a), encontrándose un gradiente marcado hasta dicha profundidad, a partir de la cual tienden a estabilizarse. La mayor concentración en estratos profundos se debe a una mayor acumulación y menor consumo por parte del fitoplancton, dado que las células fitoplancónicas realizan su proceso de fotosíntesis en los primeros 125 m donde se encuentra el óptimo lumínico.

No obstante, los nutrientes en la columna de agua responden de manera diferente de acuerdo a la profundidad donde sean muestreados, esto debido a los procesos bioquímicos como respiración y degradación bacteriana y a la utilización por parte del fitoplancton para sus procesos metabólicos.

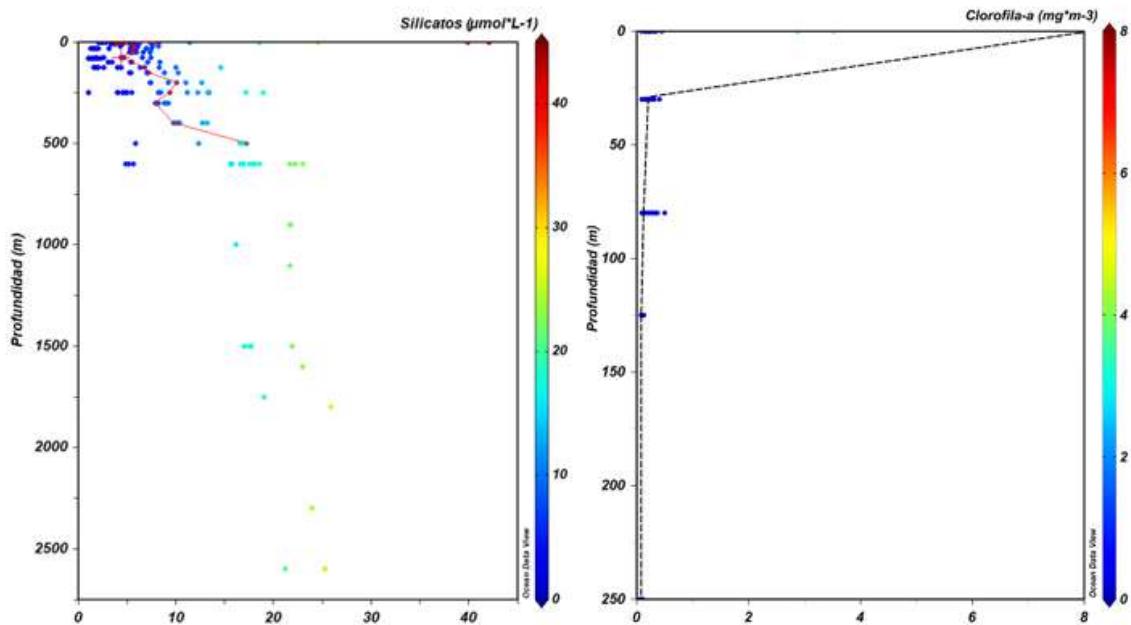


Figura 12. Perfil de silicatos en la columna de agua en comparación con registros climatológicos de septiembre y octubre WOA09 (línea roja) (a). Perfil de clorofila-a en la columna de agua durante la campaña oceanográfica 2017. La línea punteada corresponde a la estación E553 (b).

Finalmente, la concentración de clorofila-a en la columna de agua mostró una clara disminución con la profundidad (Figura 12 b) y no se detectó un máximo subsuperficial. La mayor concentración se registró a nivel superficial en la estación E553 ( $7.95 \text{ mg/m}^3$ ) (línea punteada en la (Figura 12 b)), la cual coincide con la mayor concentración de silicatos ( $42.09 \mu\text{mol/L}$ ), corroborando de ésta manera lo discutido anteriormente respecto a la contribución de los nutrientes a la productividad primaria. Es probable que el aporte de silicatos por parte del río Magdalena y el golfo de Salamanca sea mayor al que los productores primarios (fitoplancton) estén utilizando y por esta razón se detecte este núcleo en la superficie; es decir, que el sistema esté produciendo más de lo que el fitoplancton esté consumiendo.

### 3.2.2 Variables oceanográficas

El bloque de exploración COL3 y sus aledaños COL1 y COL2, presentan características típicas de aguas tropicales estratificadas con una capa de mezcla y termoclina bien definida (Garrido-Linares *et al.*, 2014; Murcia *et al.*, 2016). Las mayores temperaturas han sido reportadas cerca del borde costero sobre bocas de ceniza y la variable salinidad no presentó en los estudios preliminares diferencias significativas en la cercanía a la desembocadura del río, posiblemente debido al déficit hídrico del año 2015.

Las propiedades termohalinas en las zonas donde se encuentran el mar y los ríos, son variables oceanográficas que usualmente se utilizan como indicadores ambientales por su relación con aspectos como corrientes marinas, vientos superficiales, dinámica de la capa de mezcla, precipitación y afloramientos. La estratificación vertical del flujo es uno de los procesos hidrodinámicos más relevantes de las desembocaduras, ya que por la diferencia de salinidad, temperatura y por lo tanto densidad entre el agua de mar y los afluentes, se establece una tendencia de las masas de agua a no mezclarse en la vertical (Bernal *et al.*, 2014).

### 3.2.2.1 Temperatura

El perfil de temperatura de las estaciones muestreadas durante el crucero oceanográfico, muestra que los mayores valores de la variable se encontraron en la capa de mezcla ( $29.45 \pm 0.45^{\circ}\text{C}$ ) que está contenida por la capa superficial y limitada por la termoclina presente entre los 15 y 38 m (Tabla 4). Este rango es menor a los registros de 2014 y 2015 durante época húmeda en la misma área de estudio (Murcia *et al.*, 2016) cuando se localizó entre 26-44 y 40-47 m de profundidad, respectivamente, pero se ubica dentro del rango de los registros WOA09 que varía entre 20 y 30 metros de profundidad en el año.

Tabla 4. Descripción estadística de la variable temperatura.

| Capa                  | Profundidad | Temperatura |        |          |      |
|-----------------------|-------------|-------------|--------|----------|------|
|                       |             | Mínimo      | Máximo | Promedio | DE   |
| <b>Capa de mezcla</b> | 0- 29       | 28.21       | 31.06  | 29.54    | 0.45 |
| <b>Superficial</b>    | 0-200       | 17.57       | 31.06  | 24.26    | 3.64 |
| <b>Intermedia</b>     | 201-1250    | 4.64        | 19.44  | 9.12     | 3.81 |
| <b>Profunda</b>       | 1251-2730   | 4.10        | 4.73   | 4.33     | 0.19 |

La capa superficial en general estuvo a 200 m de profundidad con una temperatura promedio de  $24.26 \pm 3.64^{\circ}\text{C}$ , siendo  $3.39$  y  $1.90^{\circ}\text{C}$  mayor a los registros de 2014 y 2015 reportados en Murcia *et al.* (2016). Posteriormente, la temperatura descendió gradualmente desde superficie hacia las zonas más profundas, como es característico de las aguas tropicales del Caribe (Stewart, 2000). La capa intermedia se ubicó entre los 201 y 1250 m donde en promedio estuvo a  $9.12 \pm 3.81^{\circ}\text{C}$  y finalmente, se identificó una capa profunda entre 1251 y 2730 m donde la temperatura se mantuvo estable a  $4.33 \pm 0.19^{\circ}\text{C}$  (Figura 13 a y b). A excepción de la capa superficial, todas presentaron promedios de temperatura menores a los registrados en los años 2014 y 2015 por Murcia *et al.* (2016).

Con respecto a los valores en superficie, durante el crucero oceanográfico de 2017 la TSM fue mayor que los registros climatológicos WOA09 (en promedio  $29.83^{\circ}\text{C}$ ) y se presentó un gradiente entre los sectores noreste (NE) y suroeste (SO) (Figura 14). Entre el centro y el SO del bloque, cerca de las costas, se identificó un intervalo de 30 a  $30.5^{\circ}\text{C}$ , el cual disminuyó gradualmente hacia el noreste donde predominaron temperaturas de 29 a  $29.5^{\circ}\text{C}$ . El análisis de los registros WOA09 indicó que durante la época seca, el

gradiente térmico es aproximadamente  $1^{\circ}\text{C}$ , mientras en la época húmeda el área es más homogénea y la diferencia se reduce a  $0.2^{\circ}\text{C}$ ; sin embargo, el gradiente térmico durante el crucero oceanográfico fue de  $\sim 1^{\circ}\text{C}$  (Figura 14).

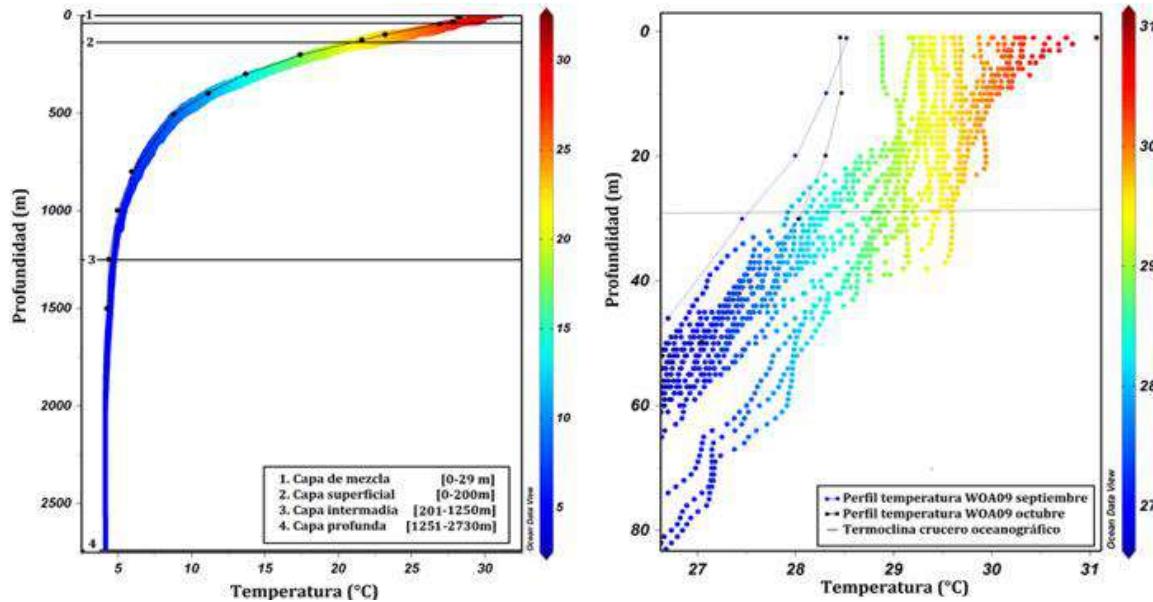


Figura 13. Perfil de temperatura de la columna de agua en comparación con registros climatológicos de septiembre y octubre WOA09 (a) Perfil completo (b) identificación de termoclina.

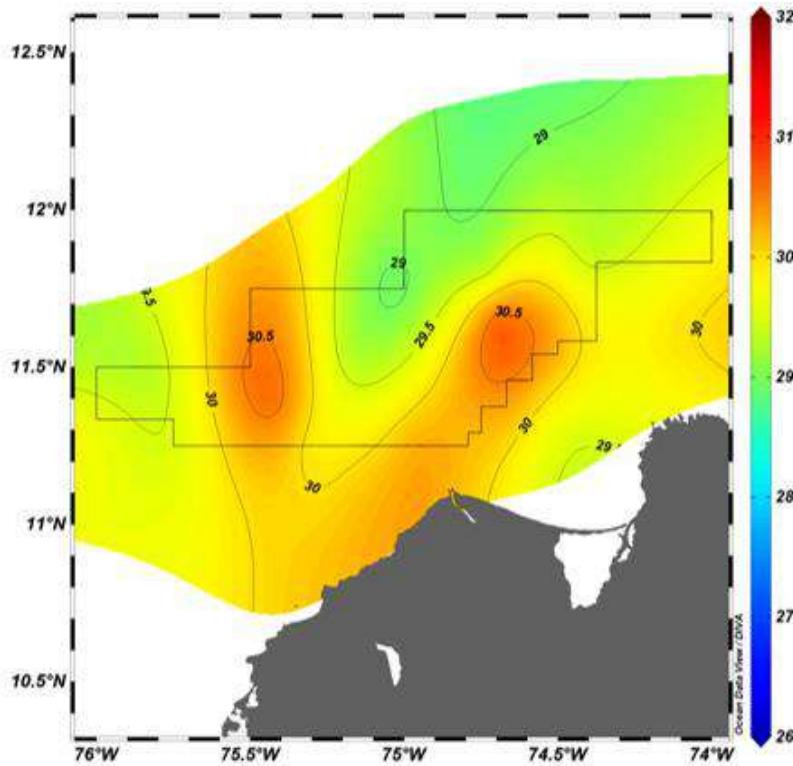


Figura 14. Temperatura superficial del mar durante campaña oceanográfica 2017.

Según los registros WOA09 y de acuerdo con Romero *et al.* (2016) y Bernal *et al.* (2006), la TSM del área de estudio presenta variabilidad consistente con la dinámica de los vientos Alisios, ya que éste es el principal factor que modula la variable en el norte y centro del Caribe colombiano. Durante la época seca, las temperaturas son bajas, en promedio 26.89 °C, con mínimo en 26.44 °C durante febrero cuando los vientos y la surgencia de La Guajira son más fuertes. Por otro lado, en época húmeda se presentan temperaturas cercanas a 28.02 °C, ya que los vientos Alisios se encuentran débiles y la contracorriente Panamá-Colombia a nivel superficial está más desarrollada, septiembre y octubre presentan los máximos valores con 28.54 y 28.34 °C respectivamente.

Por otro lado, Murcia *et al.* (2016) reportan que para el mes de octubre de 2014, la TSM fue 30°C (mismo resultado que arrojó la campaña oceanográfica de 2017) (Figura 14) cerca de bocas de ceniza, ya que la pluma de descarga del río Magdalena acarrea aguas turbias que viajan a través de la corriente oceánica generando una densa capa superficial que impide la mezcla del agua. Esto ocasiona que la temperatura en la superficie sea cálida en comparación con la época seca de 2015 y 2016, cuando se reportaron 28.5°C y 29°C, respectivamente.

Se ha planteado que las aguas cercanas a bocas de ceniza tienen un comportamiento intermedio entre las aguas frías del noreste y las cálidas del suroeste del Caribe colombiano (Bastidas *et al.*, 2017). Los resultados aquí presentados sugieren que ese sector tiene un comportamiento fuertemente asociado a las aguas del suroeste durante la época de muestreo.

Tanto el transecto paralelo (Figura 15) como el perpendicular a la costa frente a bocas de ceniza (Figura 16), muestran una distribución homogénea de la temperatura, la columna es estratificada principalmente en los primeros 400 m, presenta los mayores valores en superficie y decrece al aumentar la profundidad.

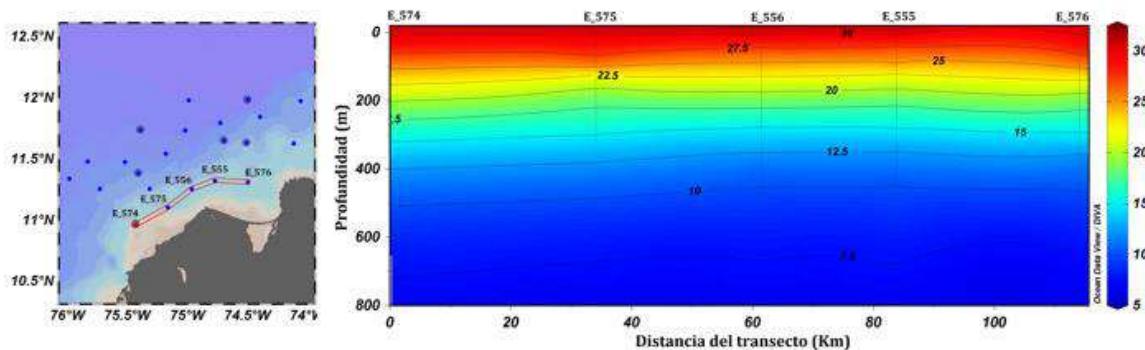


Figura 15. Transecto de Temperatura paralelo a la costa.

Por otro lado, el ciclo anual de los caudales del río Magdalena y el de la temperatura de la estación WOA09 más cercana, junto con los resultados de los transectos, no presentan evidencia de influencia de la descarga del río en la temperatura de la columna de agua del bloque COL3 (Figura 6) (Figura 15) (Figura 16), ya que el mar tiende al equilibrio térmico rápidamente.

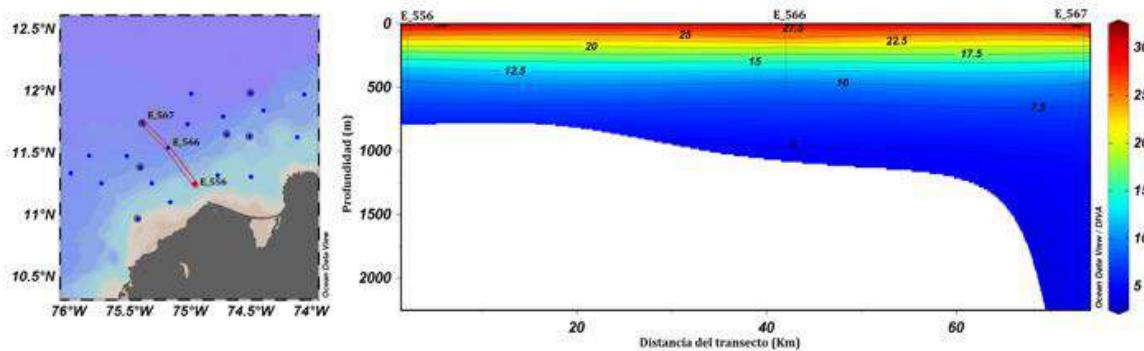


Figura 16. Transecto de Temperatura perpendicular a la costa.

### 3.2.2.2 Salinidad

El factor que determina la variación en la concentración de sal en el océano es la pérdida o ganancia de agua por evaporación, precipitación o descarga de aguas de origen continental (Stewart, 2000). Los registros del crucero del año 2017 muestran un perfil típico de época húmeda, con un valor bajo en la capa de mezcla (35.15), una salinidad promedio de  $36.53 \pm 0.82$  en la capa superficial, en la cual se ubicó la haloclina estacional a los 105 m (Tabla 5) (Figura 17). Posterior a esto la salinidad disminuye en la columna de agua conforme se desciende en profundidad, y aproximadamente a los 200 m se da paso a la capa intermedia donde la concentración promedio es  $35.17 \pm 0.47$ . Alrededor de 550 m se ubica la haloclina permanente, la variable se estabiliza cerca de los 1000 m que aún hace parte de la capa intermedia y mantiene dicho comportamiento hasta la capa profunda ( $34.96 \pm 0.005$ ) (Figura 17) (Tabla 5).

Tabla 5. Descripción estadística de la variable salinidad.

| Capa                  | Profundidad | Salinidad |        |          |       |
|-----------------------|-------------|-----------|--------|----------|-------|
|                       |             | Mínimo    | Máximo | Promedio | DE    |
| <b>Capa de mezcla</b> | 0- 29       | 24.67     | 36.58  | 35.15    | 1.43  |
| <b>Superficial</b>    | 0-200       | 24.68     | 36.53  | 36.53    | 0.82  |
| <b>Intermedia</b>     | 201-1250    | 34.75     | 36.66  | 35.17    | 0.47  |
| <b>Profunda</b>       | 1251-2730   | 34.94     | 34.96  | 34.96    | 0.005 |

La salinidad presenta una variación estacional en la columna de agua (Figura 18). Durante la época seca la variable en superficie oscila entre 36 y 36.5 (según los registros WOA09), alcanzando el valor máximo en febrero, cuando la precipitación y los registros de caudales de descarga del río son mínimos (Figura 6), adicionalmente la evaporación es mayor y predomina el agua proveniente del noreste que se caracteriza por ser más salada (Murcia *et al.*, 2016).

De otro lado, cuando el caudal del río Magdalena y la precipitación son máximos (época húmeda), se presentan las menores concentraciones de sal en superficie: 34.8 y 34.6 en octubre y noviembre respectivamente (registros WOA09), que van en aumento junto con la profundidad para alcanzar cerca de los 100 m las máximas concentraciones, las

cuales vuelven a descender hasta estabilizarse en la capa profunda, lo que genera una cuña salina evidente en el mes de octubre (Figura 18 b).

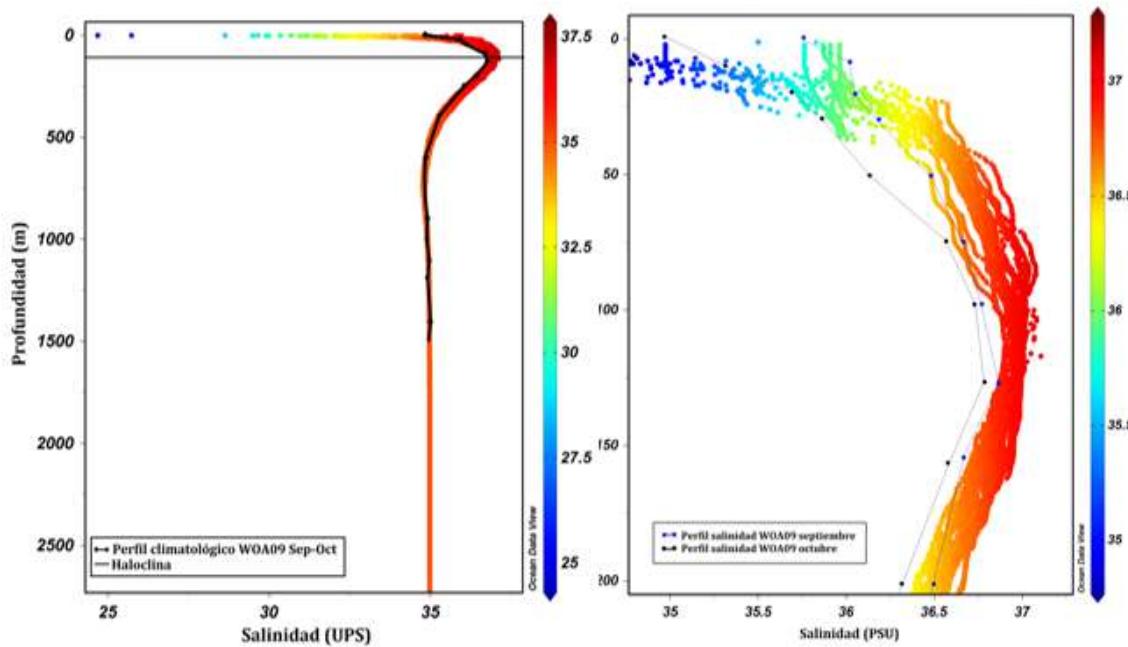


Figura 17. Perfil de salinidad comparado con climatología WOA09.

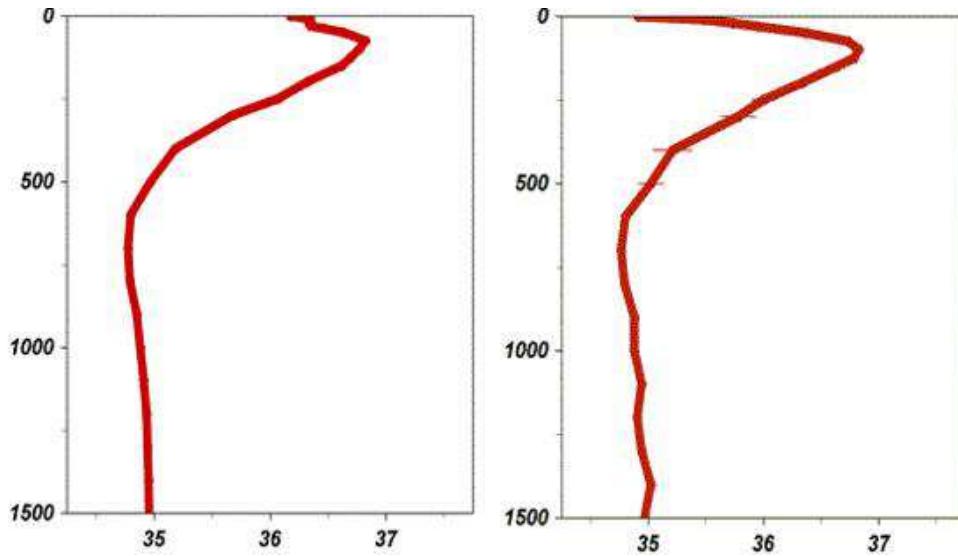


Figura 18. Perfil de salinidad climatológico del bloque COL3 durante marzo (a) y octubre (b). Fuente: Datos WOA09.

Debido a los procesos de evaporación, precipitación y descarga del río, la salinidad registrada durante el crucero oceanográfico fue menor (entre los 0 y 20 m de profundidad) que los datos climatológicos WOA09 de septiembre y octubre (Figura 17). En otro escenario, la disminución en las descargas de aguas continentales como consecuencia del fuerte evento “El Niño” de 2014-2015, ocasionó que en el crucero oceanográfico de dichos años se reportara salinidades en superficie mayores a las de la climatología WOA09 (Murcia *et al.*, 2016).

Restrepo *et al.* (2016) reportan que la variable en esta zona presenta marcados gradientes salinos en superficie y haloclinas bien definidas, que no superan los 2 Km de extensión desde tierra en la zona más cercana a la boca del río donde la salinidad en superficie varía en el rango 0-6 y en profundidad 26-33, lo que significa la existencia de una cuña salina que varía en extensión dependiendo de la magnitud del caudal.

A nivel superficial, durante la época del crucero se presentó un gradiente de tres unidades entre la parte norte y sur del bloque; mientras que el mínimo valor registrado fue de 28.63 en la estación E\_555 ubicada a 27.9 Km de la desembocadura en dirección NE y el máximo de 35.96 en la estación E\_572 100.49 Km al NO (Figura 19). A partir de estos resultados, es evidente la influencia de la descarga del río en la salinidad del bloque COL3, aunque al parecer no es la única fuente, ya que como se dijo anteriormente esta variable también muestra aportes continentales desde la zona oriental de la SNSM.

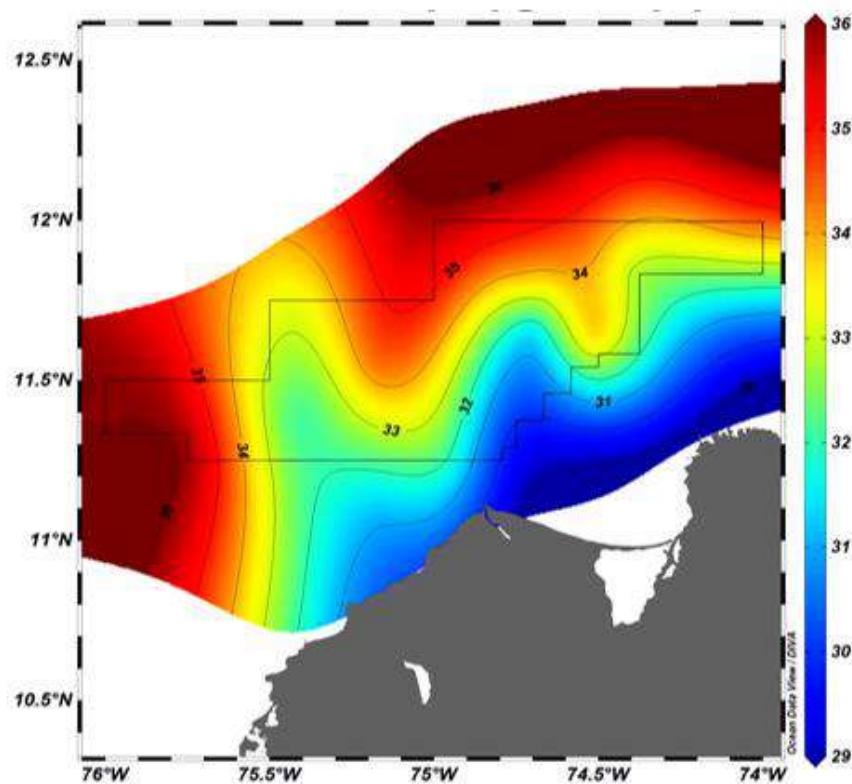


Figura 19. Salinidad superficial del mar durante campaña oceanográfica.

El análisis de un transecto paralelo a la costa muestra un perfil de salinidad estratificado hasta los 10 m aproximadamente, para posteriormente tornarse homogéneo (Figura 20). Se registran las menores concentraciones en superficie del bloque COL3 ya que es el área más cercana a la costa y a la desembocadura del río. Las estaciones E\_555 y E\_576 registran los mínimos valores en superficie y su estratificación alcanza mayor profundidad que las estaciones del Oeste de la desembocadura, lo que sugiere el efecto conjunto de la pluma del río Magdalena con los aportes provenientes de la SNSM.

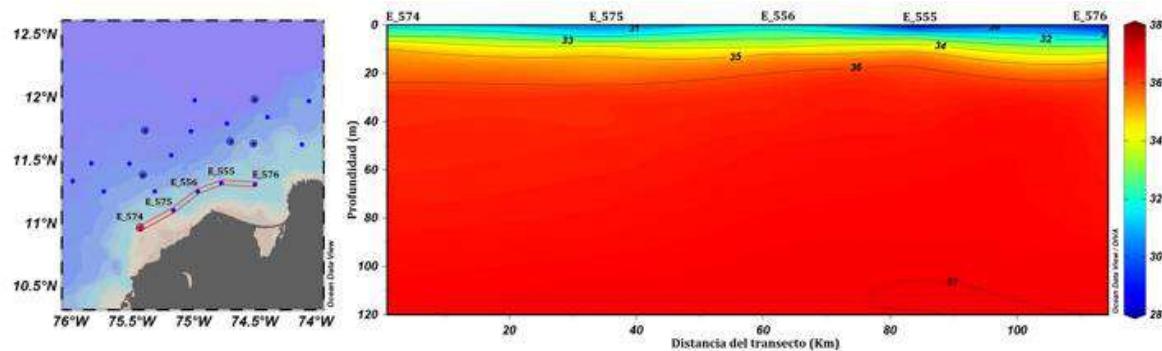


Figura 20. Transecto de salinidad paralelo a la costa, estaciones E\_574, E\_575, E\_556, E\_555, E\_576.

Los transectos perpendiculares a la costa frente a la desembocadura del río (Figura 21 y Figura 22), muestran aumento de la concentración de sal en superficie conforme se aleja de la costa, siendo menos marcada esta tendencia para el transecto en dirección noreste. De esta manera, las estaciones E\_562, E\_553 y E\_555 registran 32.9, 30.7 y 28.63 unidades respectivamente; mientras las estaciones E\_567, E\_566 y E\_556, registran 34.26, 34.23 y 31.39. Estos resultados evidencian el transporte de la pluma (superficialmente) en dirección NE desde la desembocadura.

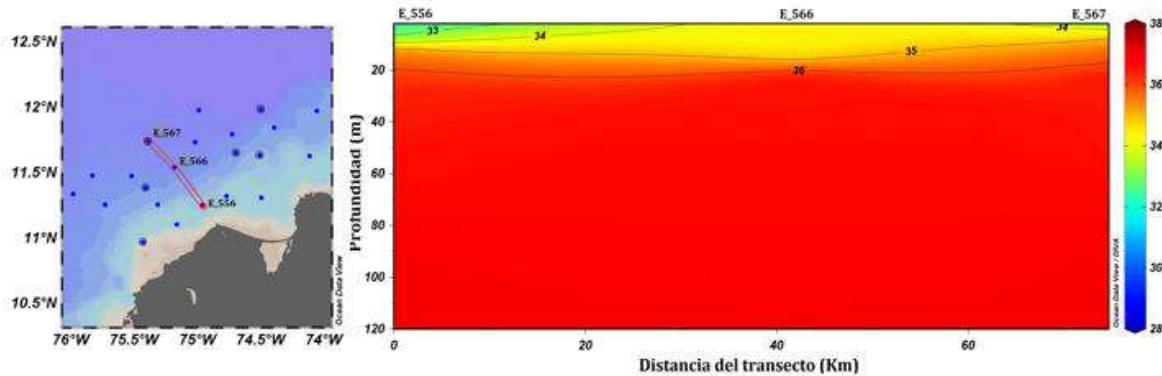


Figura 21. Transecto de salinidad perpendicular a la costa, estaciones E\_556, E\_566 y E\_567.

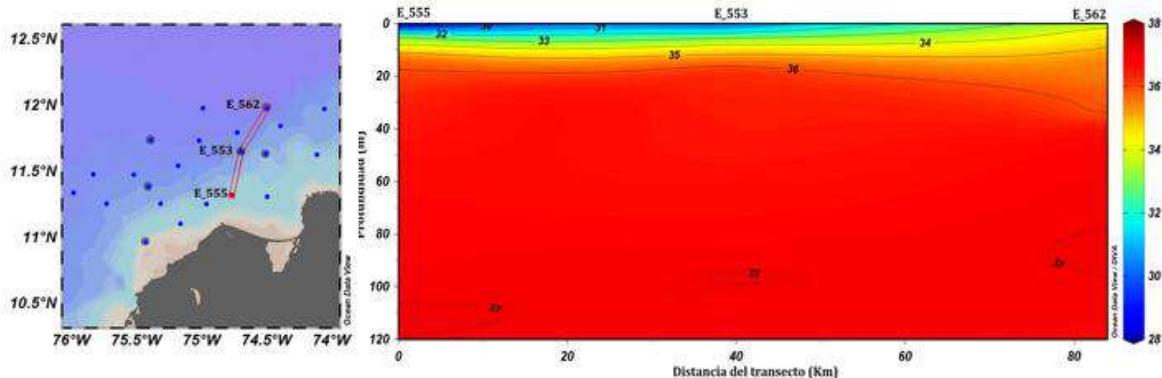


Figura 22. Transecto de salinidad perpendicular a la costa, estaciones E\_555, E\_553 y E\_562.

A partir de los 20 m de profundidad, la variable tiene el mismo comportamiento en la columna que el transecto paralelo. Esto concuerda con lo expuesto por Montoya-Jaramillo (2010), al afirmar que cuando el volumen de agua del río es mucho mayor que el volumen de agua de la marea, la columna se caracterizan porque el agua dulce fluye en una delgada capa sobre el agua de mar, restringiendo la mezcla a una pequeña zona de transición entre el agua proveniente del continente en la parte superior y la salada de la parte inferior. Así, los perfiles de salinidad muestran bajas concentraciones en superficie y salinidades oceánicas cerca del fondo, tal como en la Figura 20, Figura 21 y Figura 22.

### 3.2.2.3 Oxígeno disuelto

La concentración de oxígeno disuelto (OD) en la columna de agua alcanzó los mayores valores en la capa de mezcla, con un promedio de  $3.25 \pm 0.09$  mL/L (Tabla 6) asociados al intercambio permanente entre la superficie del océano y la atmósfera, junto con la producción por actividad fotosintética.

Tabla 6. Descripción estadística de la variable concentración de oxígeno.

| Capa                  | Profundidad | Oxígeno disuelto |        |          |      |
|-----------------------|-------------|------------------|--------|----------|------|
|                       |             | Mínimo           | Máximo | Promedio | DE   |
| <b>Capa de mezcla</b> | 0- 29       | 3.20             | 4.26   | 3.35     | 0.09 |
| <b>Superficial</b>    | 0-200       | 2.25             | 4.26   | 2.79     | 0.40 |
| <b>Intermedia</b>     | 201-1250    | 1.91             | 3.32   | 2.29     | 0.38 |
| <b>Profunda</b>       | 1251-2730   | 3.19             | 3.52   | 3.41     | 0.08 |

Entre 180 y 520 m de profundidad se evidencia un marcado descenso en la concentración de OD, alcanzando el mínimo a 516 m de profundidad (1.91 mL/L), dentro de la capa intermedia, la cual hace parte de la zona de mínimo oxígeno (ZMO) ubicada entre 260 y 780 m, limitada por concentraciones menores a 2.25 mL/L (Gilly *et al.*, 2013). Posteriormente aumenta la concentración hasta estabilizarse en 3.40 mL/L a 1440 m (Figura 23) (Tabla 6). Seiwell (1983) describe que la amplia capa de baja concentración de oxígeno es un comportamiento típico para esta zona del Caribe, producto de la influencia de masas de agua provenientes de otras latitudes y la actividad de descomposición de la materia orgánica que reduce la concentración de la variable.

La concentración de oxígeno en la columna de agua durante la época de muestreo fue menor a los registros climatológicos de septiembre y octubre de la base de datos WOA09 y los cruceros oceanográficos de 2014 y 2015 (Murcia *et al.*, 2016)

El análisis de la concentración de oxígeno disuelto en su distribución espacial (transecto perpendicular y transversal), muestra una estratificación en donde las capas que están por encima de 100 m contienen las concentraciones más altas; mientras que entre 500 y 800 m se evidencia una disminución, asociada a la ZMO (Figura 24 y Figura 25).

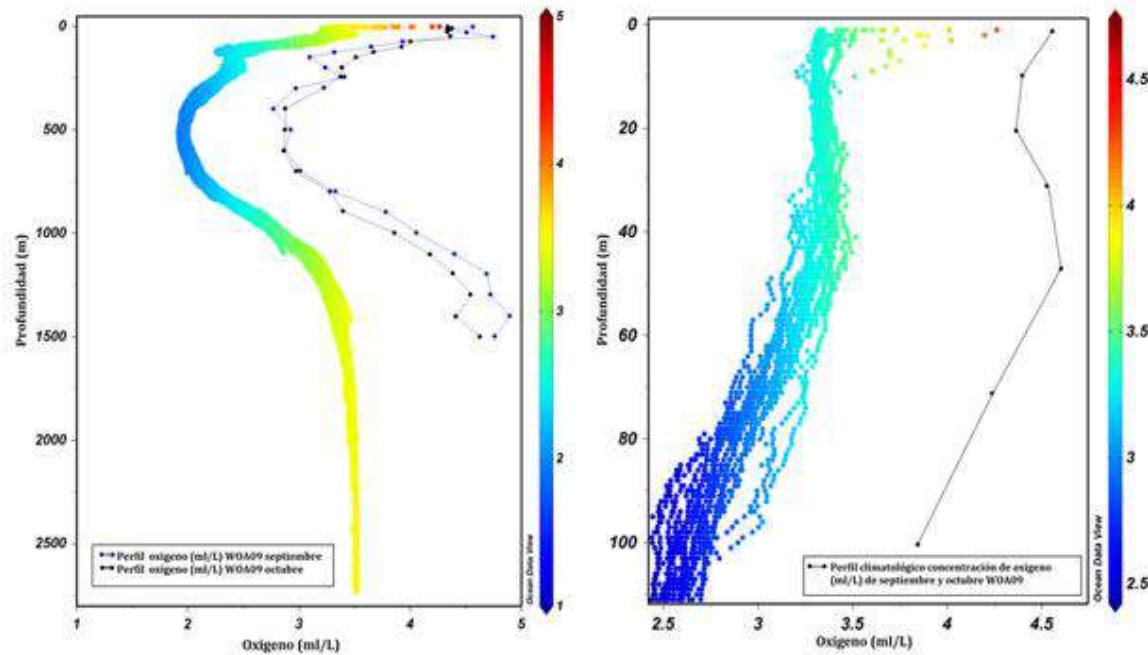


Figura 23. Perfil de concentración de oxígeno (ml/L) de la columna de agua en comparación con registros climatológicos de septiembre y octubre WOA09.

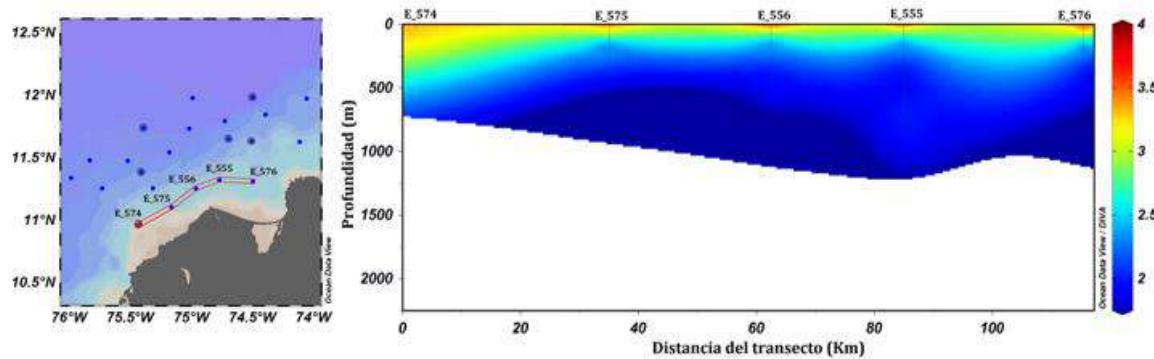


Figura 24. Transecto de Oxígeno disuelto paralelo a la costa, estaciones E\_574, E\_575 y E\_556, E\_555, E\_576.

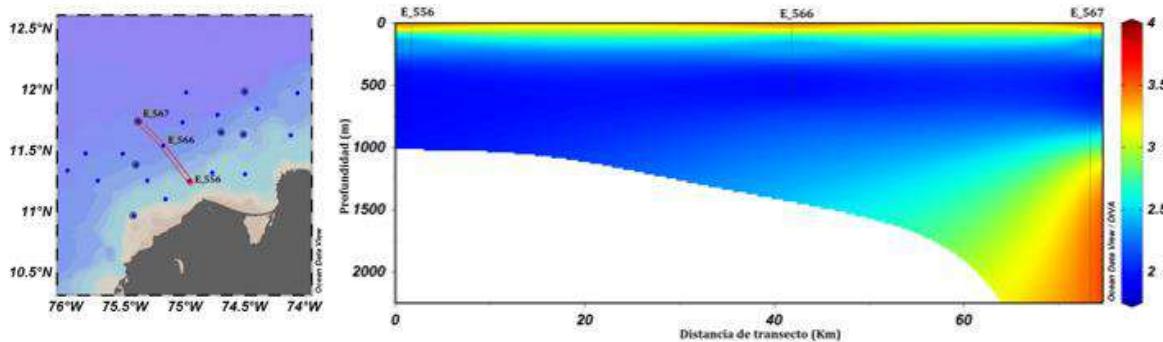


Figura 25. Transecto de Oxígeno disuelto perpendicular a la costa, estaciones E\_556, E\_566, E\_567.

### 3.2.2.4 MASAS DE AGUA

En la campaña oceanográfica de 2017 fueron identificadas cinco masas de agua (Figura 26): Agua superficial del Caribe (ASC), Agua Subsuperficial Subtropical (ASS), Agua central del Atlántico Norte (ACAN), Agua intermedia Subantártica (AIS) y Agua profunda del Atlántico Norte (APAN).

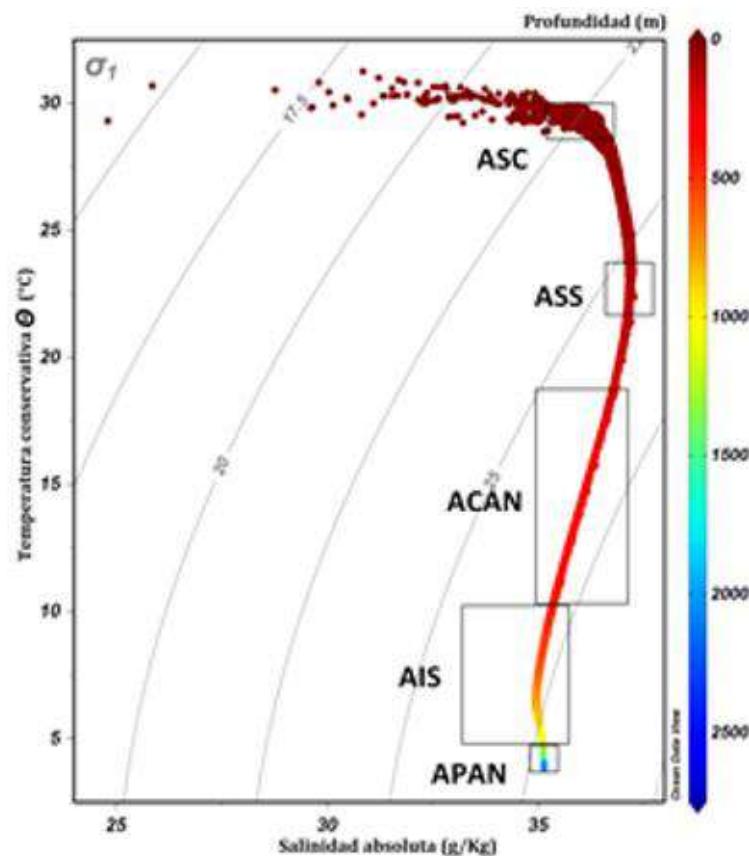


Figura 26. Diagrama T-S para la identificación de masas de agua durante septiembre y octubre de 2017. Fuente de datos: crucero oceanográfico ANH-COL3 2017.

Desde los 9 m hasta los 30 de m de profundidad se identificó la ASC, la cual estuvo ausente durante las campañas oceanográficas de los años 2014 y 2015 en COL3 (Murcia *et al.*, 2016) y en los bloques COL1 y COL2 (INVEMAR-ANH, 2016) no fue identificada o se ubicó entre 0 y 16 m (campaña del año 2014 en COL3). La presencia de esta masa de agua está fuertemente influenciada por la precipitación local, la escorrentía del continente y los procesos de interacción océano-atmósfera (Hernandez-Guerra y Joyce, 2000). Lo encontrado en los otros bloques (altas salinidades y ausencia de la ASC), fue atribuido a la época de sequía ocasionada por el evento El Niño 2015 y la distancia que existe entre el continente y los bloques COL 1 y 2 (INVEMAR-ANH, 2016).

La masa de Agua Subsuperficial Subtropical (ASS), se ubicó entre los 122 y 126 m, la masa de Agua Central del Atlántico Norte (ACAN) entre los 170 y los 470 metros, el agua Intermedia Subantártica (AIS) entre los 471 y los 1300 metros y finalmente el Agua profunda del Atlántico Norte (APAN) desde los 1301 hasta los 2058 metros (Figura 26).

### 3.2.3 Dinámica de la pluma turbia del río Magdalena

La interacción de factores geomorfológicos, climáticos y oceanográficos sobre la circulación de un determinado cuerpo de agua costero, constituye el punto de partida para la comprensión de procesos físico-químicos y biológicos que en él se presentan (Montoya-Jaramillo, 2010). El efecto de los vientos, olas y mareas inhiben o facilitan la formación de una pluma boyante superficial que dispersa sedimentos y contaminantes a grandes distancias, dependiendo de la transferencia de momentum del viento a la capa superficial que pueden potenciar o impedir el movimiento y la mezcla en la vertical (Chapman y Lentz, 1994).

#### 3.2.3.1 Vientos

La migración latitudinal de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), los vientos alisios del NE y la acción de dos chorros superficiales, contrarios en dirección, conocidos como el chorro superficial de San Andrés y el chorro superficial del Chocó, son los fenómenos físicos que más influyen en la hidro-climatología del Caribe Colombiano (Poveda, 2004; Bernal *et al.*, 2006).

Desde diciembre hasta marzo, la ZCIT está localizada sobre Sudamérica. Al mismo tiempo en el Caribe, los centros de alta presión son altos y los vientos alisios del NE máximos (Poveda, 2004), lo que concuerda con el ciclo anual de la velocidad del viento (Figura 27), que para la época seca registra las mayores magnitudes con valores entre 7.50 m/s en marzo y logra el máximo de 8.20 m/s en febrero. En estos meses el viento proviene principalmente del Este - Noreste (ENE) y Noreste (NE) con una probabilidad de ocurrencia de 40.10% y 39.60% respectivamente, les sigue la dirección Este (E) con una probabilidad de 9.10% y 4.00% para el Norte - Noreste (NNE) (Figura 28a).

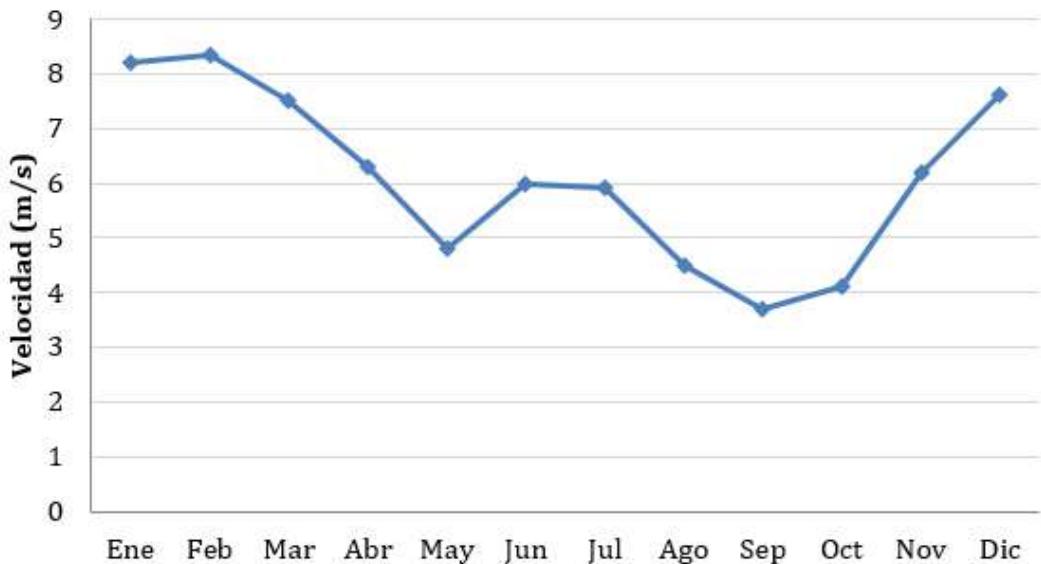


Figura 27. Ciclo anual de viento en la zona de estudio. Fuente de datos: CCMP Ocean Surface Winds.

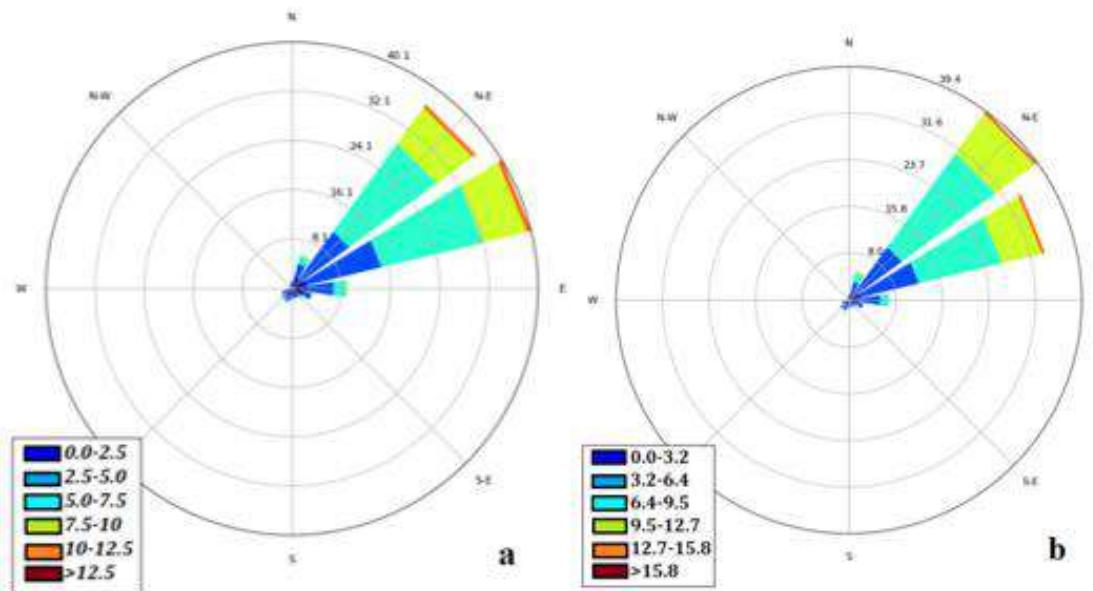


Figura 28. Rosas de viento climatológica de época seca (a) y húmeda (b). Fuente de datos: CCMP Ocean Surface Winds.

De otro lado, durante la época húmeda se presentan los menores valores que oscilan entre 3.80 m/s en septiembre y 4.20 m/s en octubre, cuando el chorro del Chocó presenta su mayor intensidad y el de San Andrés la menor (Bernal *et al.*, 2014). Para esta época, los vientos provienen principalmente del Nor-Este (NE) y del Este -Noreste (ENE) con probabilidad de ocurrencia de 39.40% y 31.70% respectivamente (Figura 28b), con valores menores en comparación con la época seca (Figura 28a). Adicionalmente, se presentan mayores aportes de los otros cuadrantes 2 (90°-180°), 3 (180°-270°) y 4 (270°-0°).

El ciclo anual presentado por Romero *et al.* (2017) con datos de vientos del proyecto NARR, presenta el mismo comportamiento estacional de la variable, con máximos y mínimos en las mismas temporadas pero con diferencia en la magnitud, que es mayor durante la época seca cuando las velocidades alcanzan los 8 m/s en diciembre y superan los 10 m/s en febrero; de igual manera son menores durante la época húmeda con velocidades de 1 m/s en octubre. Sin embargo, durante el “veranillo” las dos bases de datos concuerdan con magnitudes entre cercanas a 5 m/s.

### 3.2.3.2 Oleaje

El ciclo anual de la variable presenta un comportamiento bimodal influenciado por los vientos del NE. Durante la época seca, se presentan olas intensas y baja precipitación; mientras que en la época húmeda, el comportamiento es opuesto (Mesa, 2010). La época de muestreo en el crucero oceanográfico coincidió con una temporada de huracanes muy activa: dos eventos que alcanzaron categoría 5 en el mes de septiembre. La boya de oleaje del CIOH ubicada en bocas de ceniza, reportó alturas máximas de ola que alcanzaron los 4.00 y 4.50 m durante la semana del 16 al 22 de septiembre de 2017 (Figura 29).

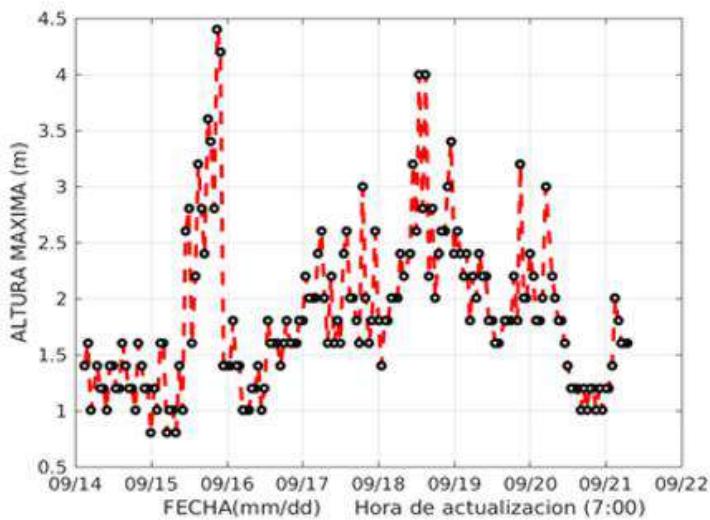


Figura 29. Altura de ola máxima Bocas de ceniza semana 16 – 22 de septiembre de 2017. Tomado de: Boya oleaje CIOH Barranquilla-Bocas de ceniza. Disponible en: (<https://www.cioh.org.co/meteorologia/ObMaritimas.php?obm=bar>).

El delta del Magdalena experimenta condiciones de alta energía entre enero y marzo asociadas a frentes fríos y de junio a noviembre por temporada de tormentas y huracanes. Los valores máximos de Hs reportados han sido de 4 a 5 m en aguas profundas durante eventos de olas extremas (Restrepo *et al.*, 2016). Estos mismos autores reportan que entre diciembre y julio, el sistema de olas del delta está dominado por la presencia de oleajes desde el noreste (96%) y presentan Hs de  $2.20 \pm 1.10$  m con periodo pico Ts de  $6.70 \pm 2.30$  s.

Otero *et al.* (2016) a través de datos de reanálisis y datos reales de boyas dispuestas sobre el litoral del Caribe colombiano, afirma que sobre la zona de estudio, los frentes fríos son el motor principal de generación de eventos extremos de oleaje; mientras que las olas de menor energía son dominadas por ciclones tropicales.

### 3.2.3.3 Circulación marina

El conocimiento de la circulación del mar Caribe colombiano reviste especial importancia para el entendimiento de los procesos que condicionan los ecosistemas marinos, el recurso pesquero y el emplazamiento de estructuras offshore (Bastidas-Salamanca *et al.*, 2015). Sin embargo, Colombia adolece de instrumentación oceanográfica en mar abierto que permita tener un seguimiento de las condiciones hidrodinámicas prevalecientes en determinada zona; razón por la cual la tecnología satelital constituye una alternativa para el estudio de la circulación en nuestros mares.

El análisis de la circulación en la zona de estudio para algunos días de desarrollo del crucero, evidenció que al interior del bloque COL3 las corrientes tienen una velocidad de 0.2 m/s; sin embargo, al norte del mismo son mayores, llegando a ser de 0.5 m/s. La Figura 30 muestra la circulación marina para el día 27/09/2017, donde se evidencia que el bloque se encuentra inmerso dentro un giro anticiclónico (hacia la derecha). Para

el día 01/10/2017 (Figura 30b), este se ha desplazado hacia el NO y las corrientes al norte del bloque se incrementan, conservando siempre la dirección este.

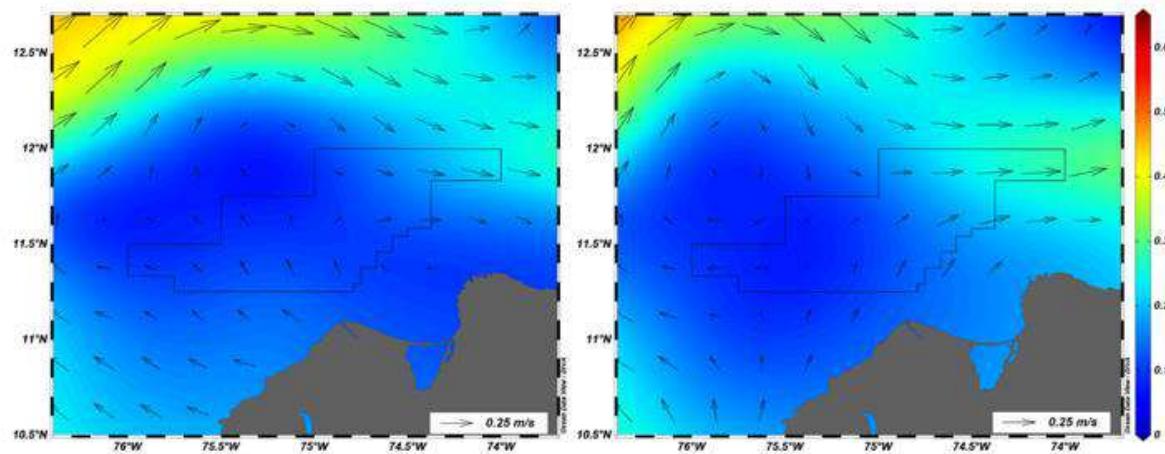


Figura 30. Circulación marina derivada de altimetría satelital para el 27/09/2017 (a) y el 01/10/2017 (b) en el bloque COL3. Fuente de datos: COPERNICUS.

Con respecto a las corrientes medidas con ADCP durante el crucero, se encontró un comportamiento similar en cuanto a magnitud en la primera capa medida (7 m), puesto que al noreste del bloque se encontraron las mayores magnitudes y al sureste las menores (Figura 31a). La primera medición a los 7 m corresponde a la de la primera celda y su profundidad está relacionada con la profundidad de inmersión del equipo y zona de *blanking* (zona ciega del equipo, propia de la tecnología acústica). El sector centro del bloque presentó valores intermedios y el Oeste los menores.

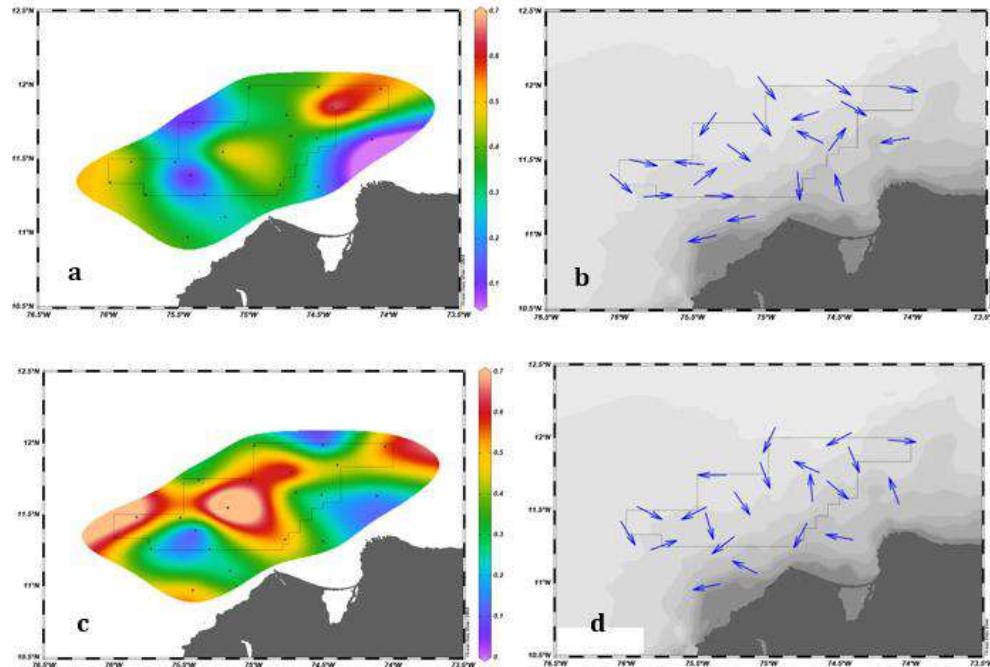


Figura 31. Corrientes marinas medidas durante el crucero oceanográfico en el bloque COL3: magnitud a los 7 m (a), dirección normalizada a los 7 m (b), magnitud a los 52 m (c), dirección normalizada a los 52 m (d).

Con respecto a las direcciones, estas se muestran como vectores normalizados; es decir, todos llevados a magnitud unitaria para poder advertir los cambios de forma más evidente. Al norte del bloque se encontraron corrientes predominantes hacia el Este (Figura 31b); mientras que en la zona suroeste se encontró una pequeña celda de circulación ciclónica. Por su parte, las estaciones más cercanas a la desembocadura, evidenciaron dirección hacia el sur.

Al realizar el mismo análisis a 52 m (Figura 31c), se encontraron diferencias con respecto a la primera capa, puesto que es evidente el incremento de la magnitud con la profundidad. Las mayores magnitudes se encontraron en el centro del bloque; aunque con respecto a las direcciones (Figura 31d), se encontró un patrón similar al registrado a los 7 m.

Con respecto a las variaciones en columna, se encontró que con excepción de una estación, todas aumentan la magnitud con la profundidad (Figura 32a). Las menores magnitudes de la corriente se encontraron en las estaciones más cercanas a la costa; mientras que las mayores, se registran en las más alejadas. Al analizar por componentes, en la componente Este-Oeste (U) se encontraron valores tanto positivos como negativos (Figura 32b), indicando corrientes en ambos sentidos; mientras que en la componente Norte – Sur (V), dominaron las negativas (Figura 32c), indicando un predominio en el área de estudio de la dirección hacia el sur.

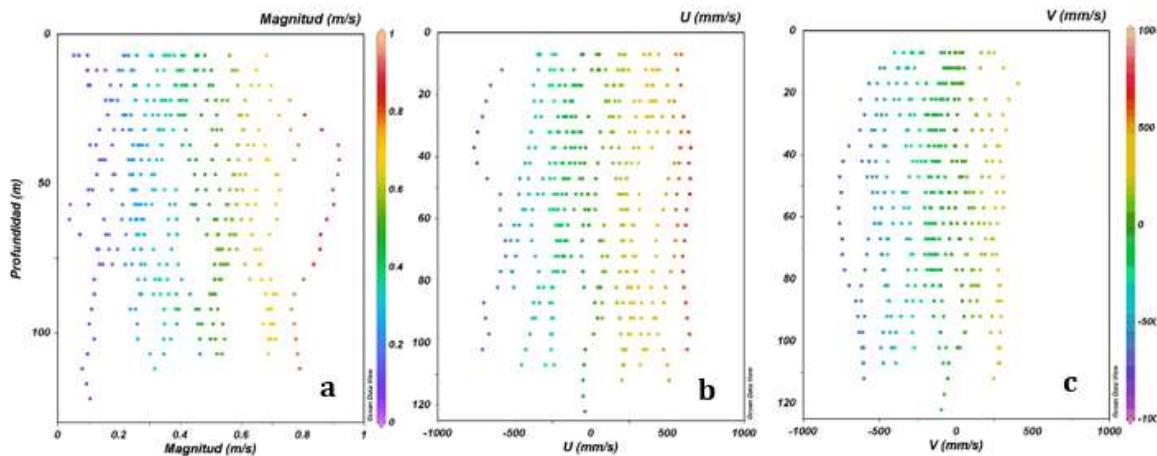


Figura 32. Variación de las corrientes marinas con la profundidad: magnitud (a), componente Este-Oeste, U (b) y componente Norte-Sur, V (c).

### 3.2.4 Imágenes satelitales

#### 3.2.4.1 Sedimentos

La banda Rrs555 asociada a carga de sedimentos, refleja la forma de dispersión de la descarga del río Magdalena, que para septiembre y octubre climatológicos tiene dirección NE (Figura 33a y Figura 34a). Esto concuerda con lo expuesto por Romero *et al.* (2017) al afirmar que la extensión de la pluma está asociada a los procesos físicos de resuspensión por viento y oleaje, lo cual se hace más evidente en los primeros meses

del año. En este sentido, durante marzo hay mayor extensión de la pluma desde el borde costero hacia el sector sur de la zona, incluso se registra conectividad entre el flujo del río Magdalena y los arrecifes de coral del Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo (Restrepo *et al.*, 2006).

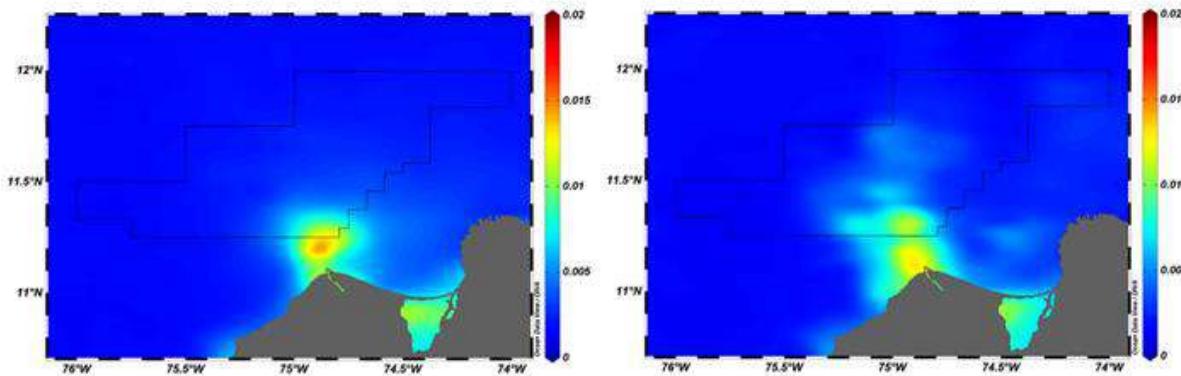


Figura 33. Banda Rrs555 del sensor MODIS durante septiembre climatológico (a) y septiembre de 2017 (b). Fuente de datos: sensor MODIS (2003-2017).

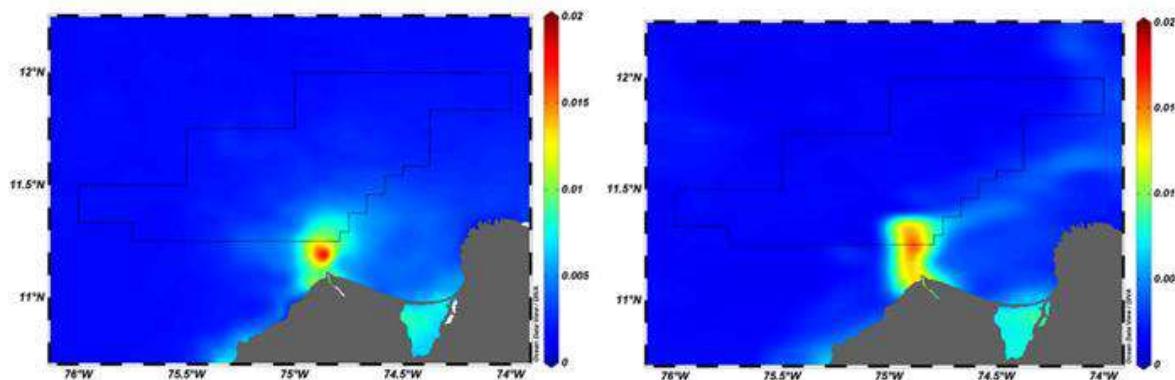


Figura 34. Banda Rrs555 del sensor MODIS durante octubre climatológico (a) y octubre de 2017 (b). Fuente de datos: sensor MODIS (2013-2017).

Con respecto al año 2017, se encontró que septiembre presentó una mayor extensión de la pluma de sedimentos sobre el bloque COL3 con registros entre  $0.01$  y  $0.015 \text{ sr}^{-1}$  (Figura 33b), e incluso se orientó hacia el oeste, cubriendo una parte del sector sur del bloque que no había sido observado en el septiembre climatológico (Figura 33a). Por su parte octubre de 2017, presentó una pluma muy definida (Figura 34b) y de mayor intensidad con respecto al octubre climatológico (superiores a  $0.015 \text{ sr}^{-1}$ ) en el sector central y suroccidental del área de estudio.

### 3.2.4.2 Clorofila-a

Los registros climatológicos de septiembre y octubre muestran frente a la desembocadura del río, concentraciones de  $9.04$  y  $5.47 \text{ mg/m}^3$  respectivamente. Los máximos valores registrados son  $4.04$  y  $3.27 \text{ mg/m}^3$ , que son menores a los de septiembre y octubre de 2017 (Figura 35 a y b) cuando alcanzaron  $5$  y  $5.37 \text{ mg/m}^3$  en

la zona más cercana a la desembocadura del río (concentración en la desembocadura: 11.85 mg/m<sup>3</sup> y 5.98 mg/m<sup>-3</sup>). La concentración de clorofila desciende en dirección N y NE hasta alcanzar 0.3 y 0.15 mg/m<sup>-3</sup>. La diferencia entre los valores climatológicos y los de la época de muestreo, pueden ser debidos a que el año 2017 se caracterizó por presentar altas precipitaciones, lo que representa mayores caudales de descarga del río, fuente principal de nutrientes que contribuye a que haya una mayor producción fitoplanctónica, reflejada en altos valores de clorofila-a. También se puede observar la influencia de las aguas de la Ciénaga Grande de Santa Marta y de los ríos de la zona oriental de la SNSM.

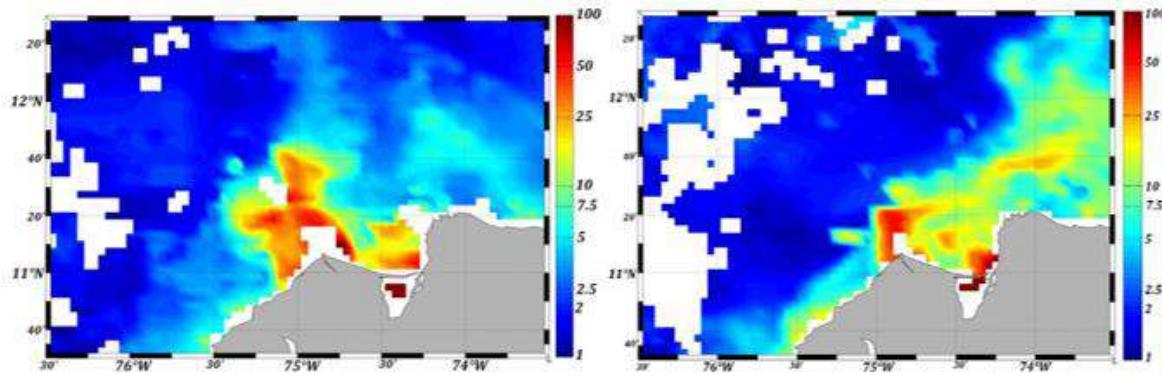


Figura 35. Banda clorofila-a del sensor MODIS durante septiembre (a) y octubre de 2017 (b). Fuente de datos: sensor MODIS (2013-2017).

### 3.2.5 Evaluar el flujo de sedimentos provenientes del río Magdalena condicionados por las geoformas del fondo marino.

#### a. Caracterización geomorfológica

El bloque de exploración COL3 se encuentra sobre la parte superior del sistema turbidítico del delta del río Magdalena en el margen continental del Caribe (Invemar-ANH, 2008; Ercilla *et al.*, 2002). Las características morfológicas, acústicas y sedimentológicas del delta permiten dividirlo en tres partes (Kolla y Buffler, 1983). El abanico superior, se caracteriza por un cañón irregular en el fondo marino y el desarrollo de complejos canales-levee. El abanico medio, aumenta la cantidad de canales con levees de poca altura en comparación a los que se desarrollan en el abanico superior. El abanico inferior disminuye o puede ser ausente la presencia de levees y canales.

Este Sistema Turbidítico del Magdalena se encuentra al frente de la desembocadura del río del mismo nombre. Inició su desarrollo durante el Plioceno medio, formando una cuña de sedimentación que se ha mantenido sin deformación (Kolla *et al.*, 1984; Kolla y Buffler, 1983). Cubre un área de 53 000 km<sup>2</sup>, posee un volumen de 180 000 km<sup>3</sup> y se extiende dentro del agua hasta profundidades mayores a 4 000 m (Wetzel, 1993; Reading y Richards, 1994).

La configuración del talud continental ha sido modificada por diferentes canales y diques producto de actividad reciente, los cuales constituyen las principales vías de

transporte de sedimentos dentro del sistema turbidítico. Gran parte de los sedimentos descargados por el río Magdalena son depositados de forma directa sobre el talud continental debido a la estrecha plataforma adyacente a la llanura deltaica (Ercilla *et al.*, 2002).

En esta área convergen las placas tectónicas del Caribe y Suramérica formando el Cinturón de Deformación del Caribe Sur. El diapirismo es uno de los fenómenos geológicos que más se presenta en esta región y que modifica intensamente el lecho marino en este amplio sector (Vernette *et al.*, 1992). La geomorfología del sistema turbidítico se describe con las siguientes unidades (Invemar-ANH, 2008; Ercilla *et al.*, 2002) (Figura 36):

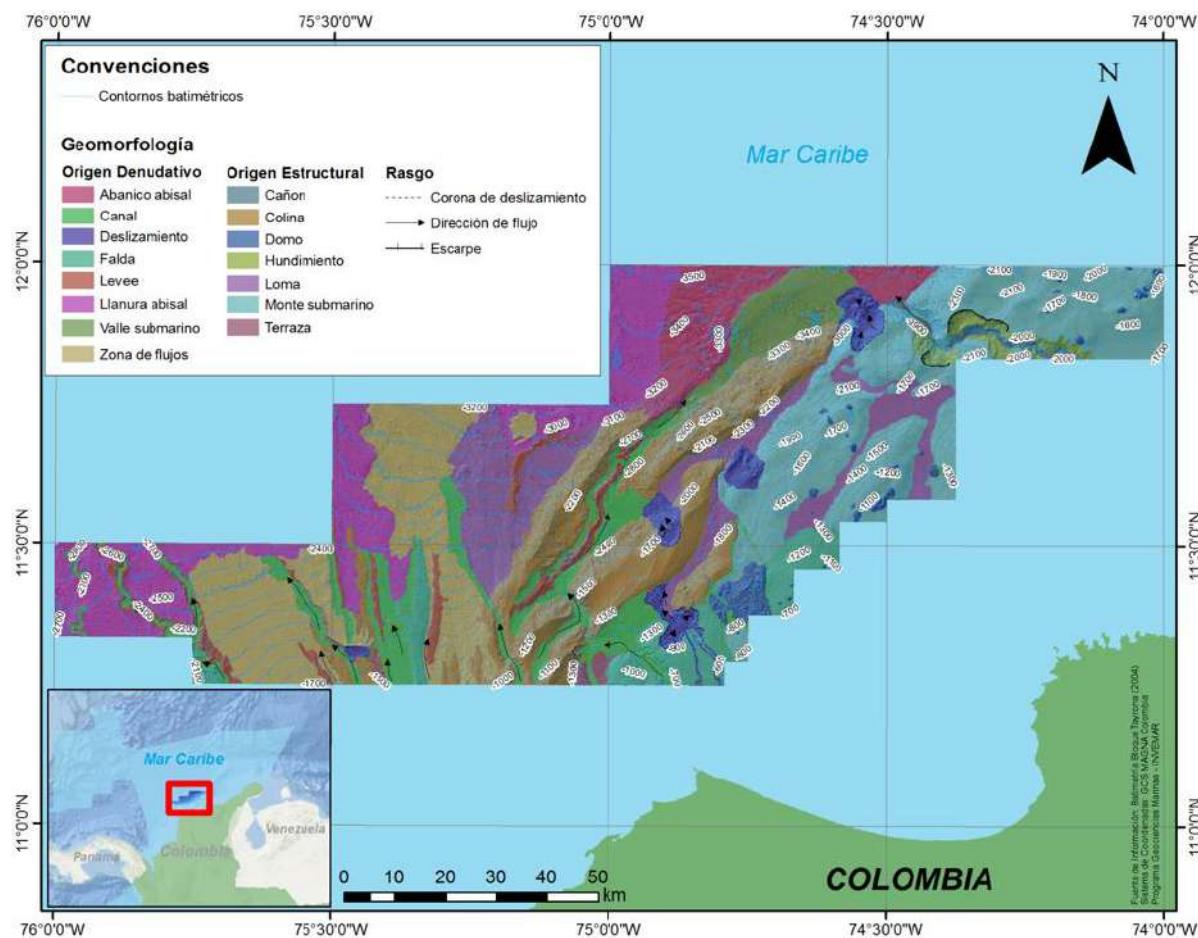


Figura 36. Geomorfología del bloque de exploración COL3, Mar Caribe colombiano.

Unidades de origen denudativo definidas por sus características de transporte y sedimentación relativamente reciente:

- Abanico abisal: caracterizado por presentar los máximos valores de profundidad (3.200 m – 3.450 m) y pendientes entre 1° y 3°. Se localiza en la desembocadura del cañón de La Aguja, al norte del área de interés.

- Canales: depresiones delgadas y alargadas, con pendientes suaves, se encuentran principalmente en la parte suroriental de la zona. Son los que transportan sedimentos dentro del complejo turbidítico del río Magdalena y cortan colinas o altos estructurales
- Deslizamientos: se encuentran asociados principalmente a las colinas o altos estructurales, los cuales se generan debido a las altas pendientes que presentan. Los escarpes localizados en las coronas de estos alcanzan hasta 100 m de altura. El cuerpo del flujo presenta una superficie muy irregular.
- Falda: superficies de pendientes suaves, de origen sedimentario, en la base de una pendiente más profunda. Se denominó de esta manera a áreas con pendientes entre 3° y 5° al lado de la zona de flujo al sur del área de interés.
- Levee: acumulación de sedimentos que bordea canales. Se identificaron en el sector centro de la zona, sus superficies son bastante irregulares con pendientes entre 6° y 16°. Junto a los canales forman complejos que reflejan la evolución del sistema turbidítico.
- Llanura abisal: zonas extensas caracterizadas por superficies sub-horizontales o de muy baja pendiente. Están localizadas en la zona centro, presentan pendientes entre 0,8° y 1,6° y profundidades entre -2.650 m y -2.900 m.
- Valle submarino: corresponde a la depresión alargada de pendiente continua en la terminación nororiental de uno de los canales, limitado por colinas o lomas submarinas. Presenta profundidades mayores a 3.300 m.
- Zona de flujo: está localizada al sur de la zona, compuesta por canales y flujos de sedimento, asociados al sistema turbidítico del Magdalena. Sus pendientes se encuentran entre 2,5° - 5°, a profundidades entre -1.350 y -2.300 m.

Unidades de origen estructural asociadas a la evolución del cinturón de deformación causante de elevaciones y relieves de mayor pendiente en ocasiones con cambios abruptos:

- Cañones: depresiones profundas, relativamente angostas con paredes abruptas. El principal cañón se observa en la parte noroccidental de la zona de estudio, conocido como el Cañón de La Aguja, el cual posee una forma sinuosa en esta zona, y alcanza profundidades hasta de 750 m desde sus partes altas (bordes) un ancho de 5 km y una longitud aproximada de 40 km.
- Colinas (Altos estructurales): relieves positivos, localizados en el sector más oriental del sistema turbidítico, las curvas batimétricas se orientan con tendencia 40°N. Se observan principalmente tres altos estructurales sub-paralelos con direcciones NE-SW, longitudes que varían entre 30 y 100 km, formas y crestas redondeadas, y paredes hasta de 15° de inclinación. Estos son cortados por canales y llanuras abisales. Sus bases se encuentran a profundidades entre 2.750 y 2.800 m y alcanzan elevaciones máximas a la cota de -2.000 m.
- Domo: Son elevaciones en forma de cono, que están asociados comúnmente a diapirios de lodo. Se encuentran al noreste de la zona hasta profundidades de 2000 m, con diferentes morfologías de diámetro y elevación.

- Hundimiento: Término general para cualquier parte de la superficie relativamente hundida, rodeada por tierras más altas. Estas depresiones presentan pendientes entre 15° y 17° y están localizadas principalmente al norte de la zona de interés, en los bordes del Cañón de La Aguja.
- Monte submarino: áreas extensas (montañas) que presentan elevaciones fuertes y superficies bastante irregulares. Se localiza en el borde oriental de la zona de interés a profundidades entre -2.300 (base) y -1.400 m (crestas) con pendientes entre 3° y 14°.
- Terraza: superficies relativamente planas, sub-horizontales, limitadas por superficies con pendientes mayores a lado y lado. Se localizan al surorientante y noroccidente de la zona asociadas a canales. Está limitado por pendientes entre 4° y 6.5°.

#### *Rasgos geomorfológicos:*

- Escarpe: Pendiente submarina abrupta, característicamente lineal o sinuosa que está dividiendo las zonas planas o suavemente inclinadas del fondo marino. Están localizados en el centro y sur de la zona, exactamente al occidente de los altos estructurales, alcanzan hasta 100 m de altura y hasta 25 km de longitud.
- Coronas de deslizamiento: Corresponde al cambio abrupto de pendiente en el tope de los movimientos en masa identificados en el talud continental.
- Direcciones de flujo: Se trazaron siguiendo la variación de la pendiente dentro de las unidades morfológicas que representan el movimiento y transporte de sedimentos a profundidad.

Una descripción de la morfología de la parte superior del delta submarino del Magdalena con base en batimetría y sísmica de reflexión, muestra el estado actual y la estructura interna del abanico en la plataforma y el talud continental (Idárraga-García, 2016). El sector oriental del abanico está asociado a la boca actual del Magdalena, con al menos cuatro canales que conducen la mayoría de los sedimentos transportados por el río. Estos sedimentos se depositan en cuencas, entre circulares a elongadas dentro del talud, limitadas por altos estructurales del cinturón de deformación del Caribe sur, el material residual es transportado a mayor profundidad hacia la Cuenca Colombia. El área presenta abundantes movimientos en masa representados por cicatrices de deslizamientos, depósitos de bloques y flujos.

En el área occidental se desarrollaron complejos de canales y levees afectados por fallas en el talud y movimientos de flujos. Estos complejos se formaron por los probables aportes del río Magdalena durante el Mioceno-Plioceno (Kolla *et al.*, 1984). Los efectos de los movimientos en masa se observan en la geomorfología deformada de los complejos a través de canales abandonados, eventos de avulsión y rompimientos de levees (Idárraga-García, 2016).

## b. Caracterización sedimentológica

Kolla y Buffler (1983) definen un modelo de evolución en el abanico del río Magdalena (Figura 37), el cual presenta un mejor desarrollo de canales en el abanico superior, que han estado activos en diferentes tiempos, provocando una migración en el espacio. Dicha dinámica espacio-temporal ha permitido encontrar en perfiles de sedimento facies como turbiditas, lodos pelágicos, limos terrígenos y sedimentos hemipelágicos (Kolla y Buffler, 1983), evidencia de una evolución en la sedimentación.

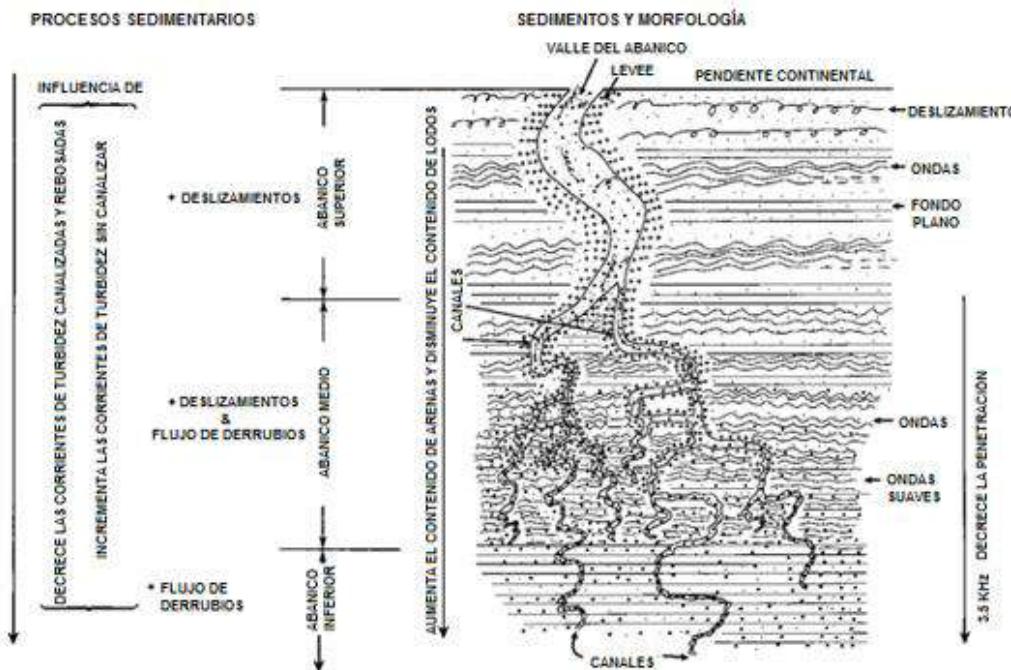


Figura 37. Representación esquemática de las características y modelo de procesos que ocurren en el delta del Magdalena durante un episodio de sedimentación en su evolución (Tomado de Kolla y Buffer, 1983).

En el abanico medio, los canales tienen una baja profundidad y anchura, y las alturas de los levees decrecen gradualmente, en parte como indicadores de la menor disponibilidad de sedimentos finos. Allí las corrientes turbidíticas probablemente están menos confinadas en canales. Esto conlleva a la sedimentación de abundantes sedimentos gruesos (Kolla y Buffler, 1983).

Muñoz (1966), analizó el núcleo V12-119, el cual fue tomado cerca del límite de la zona de cañones submarinos entre el Cono del Magdalena y el Plano Abisal de Colombia. Este núcleo estuvo compuesto enteramente por material arenoso. Pareciendo ser una sola y gruesa turbidita sin gradación aparente, extremadamente rica en detritus de plantas. En el abanico inferior con escasos canales, las corrientes turbidíticas no confinadas en canales juegan un mayor papel, reflejado en la extendida presencia de sedimentos de grano grueso (Kolla y Buffler, 1983). La distribución del tamaño de grano en los sedimentos del bloque COL3 mostró predominancia de lodos (partículas con diámetro  $\leq 63 \mu\text{m}$ ). Se presentaron seis grupos texturales, limo muy fino, limo fino, limo medio, limo medio arenoso, limo grueso y limo muy grueso (Tabla 7 y Figura 38).

Tabla 7. Distribución de tamaños de granos en las muestras de sedimentos analizadas.

| Estación      | % Gravas | % Arenas | %Lodos | Grupo textural     |
|---------------|----------|----------|--------|--------------------|
| <b>E1</b>     | 0        | 1,59     | 98,41  | Limo fino          |
| <b>E3</b>     | 0        | 0,52     | 99,48  | Limo muy grueso    |
| <b>E6</b>     | 0        | 0,76     | 99,24  | Limo muy grueso    |
| <b>E7</b>     | 0        | 1,36     | 98,64  | Limo muy grueso    |
| <b>E9</b>     | 0        | 4,38     | 95,62  | Limo fino          |
| <b>E13</b>    | 0        | 1,51     | 98,49  | Limo muy grueso    |
| <b>E15</b>    | 0        | 14,90    | 85,10  | Limo medio arenoso |
| <b>E16</b>    | 0        | 2,21     | 97,79  | Limo muy fino      |
| <b>E17</b>    | 0        | 5,35     | 94,65  | Limo fino          |
| <b>E18</b>    | 0        | 0,58     | 99,42  | Limo muy grueso    |
| <b>E19</b>    | 0        | 4,33     | 95,67  | Limo grueso        |
| <b>GC_001</b> | 0        | 2,30     | 97,70  | Limo grueso        |
| <b>GC_003</b> | 0        | 0,80     | 99,20  | Limo medio         |

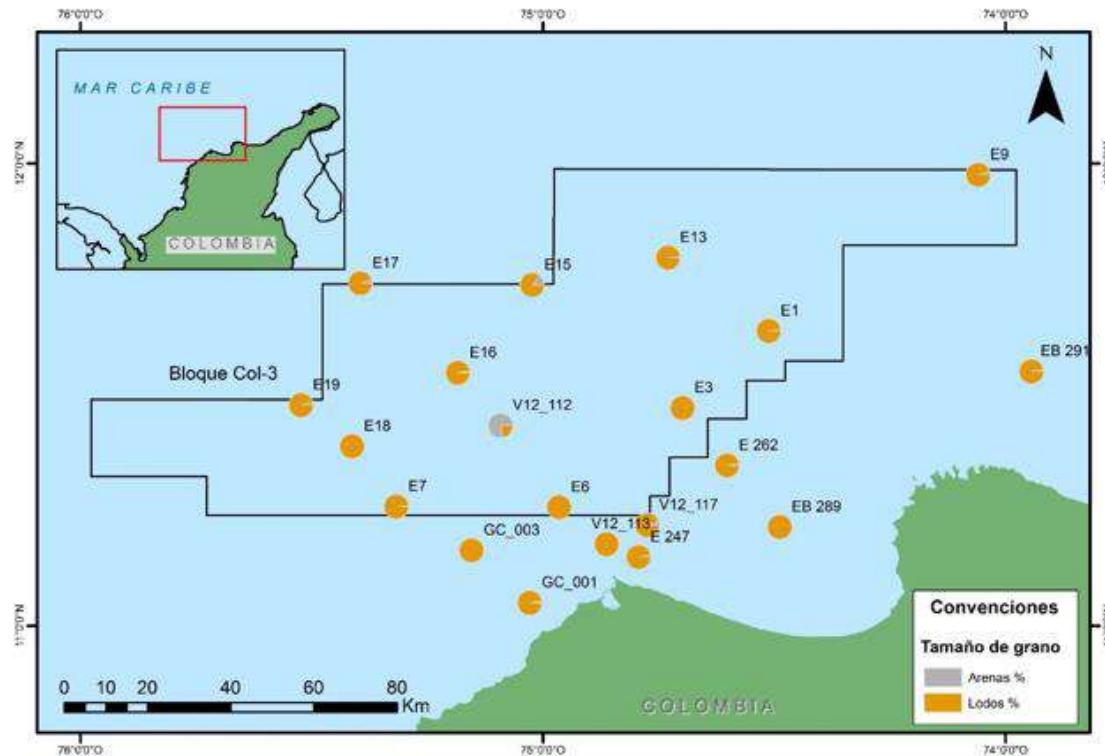


Figura 38. Distribución de tamaño de grano en las muestras de sedimentos correspondientes al presente proyecto, muestras otorgadas por Transmares (GC\_001, GC\_003), muestras del trabajo INVEMAR-ANH 2008 (E247, E262), INVEMAR-ANH 2010 (EB289, EB291) y Muñoz 1966 (V12\_112, V12\_113, V12\_117).

De acuerdo a la distribución granulométrica de los sedimentos (Figura 38), el material que llega a la desembocadura del río Magdalena se transporta sobre el Bloque COL3 con muy poca alteración en su proporción entre arenas y lodos, conservando la predominancia de sedimento lodoso. Mientras que, La muestra V12\_112 tiene un mayor porcentaje de arenas respecto a los lodos, asociada con un deposito arenoso proveniente de un cañón submarino desde la boca del río Magdalena (Muñoz, 1966).

El sedimento arenoso contiene material terrígeno de origen continental (cuarzo, moscovita, máficos y fragmentos líticos) y material biogénico de origen marino (foraminíferos) (Figura 39). La distribución de los minerales en las muestras analizadas no presentó algún patrón espacial, sin embargo, las muestras que superaron el 40% de material terrígeno están asociadas a geoformas de canal, zona de flujo y faldas rodeadas de canales (E6-E7-E18), de acuerdo a la interpretación geomorfológica obtenida en éste proyecto, o es la estación más cercana a la desembocadura del río Magdalena (GC\_001).

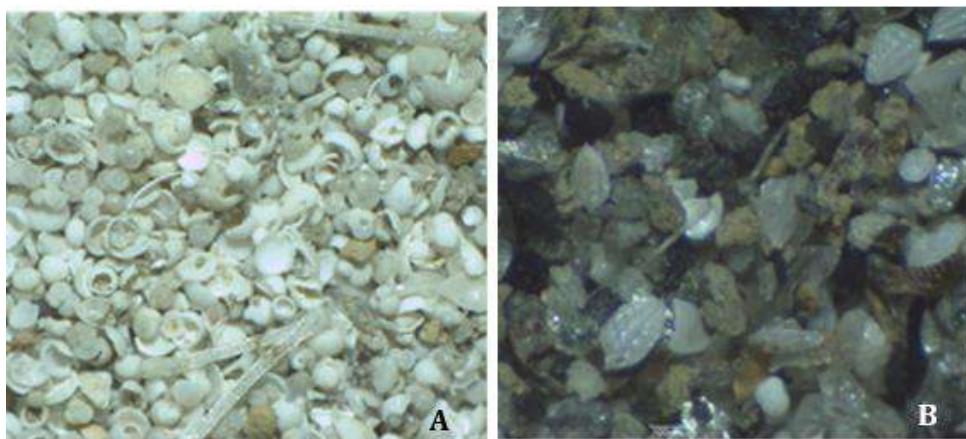


Figura 39. Sedimento con 95% de material biogénico y 5% de material terrígeno (E1) (A) y sedimento con 57% de material biogénico y 43% de material terrígeno (GC\_001) (B).

Los sedimentos son de carácter litoclástico con contenido de CaCO<sub>3</sub> entre 0.2% y 14.35%, y de materia orgánica entre 8.41% y 15.07%, a excepción de la estación E9 con un 18.17% de CaCO<sub>3</sub> y 15.14% de materia orgánica, categorizada de acuerdo a esto como litobioclástica.

El porcentaje de CaCO<sub>3</sub> y materia orgánica de las muestras presentan una similitud con las estaciones E247-E262 en ANH-INVERMAR (2008) y EB289 en ANH-INVERMAR (2010), conservando el tipo de facies de lodo litoclástico (Tabla 8).

Tabla 8. Porcentaje de materia orgánica, CaCO<sub>3</sub> y su facies asociada en las muestras de sedimento.

| Estación      | % Materia orgánica | %CaCO <sub>3</sub> | Facies                    |
|---------------|--------------------|--------------------|---------------------------|
| <b>E1</b>     | 13,06              | 6,24               | Lodo litoclástico         |
| <b>E3</b>     | 11,07              | 0,20               | Lodo litoclástico         |
| <b>E6</b>     | 11,25              | 0,74               | Lodo litoclástico         |
| <b>E7</b>     | 15,07              | 0,76               | Lodo litoclástico         |
| <b>E9</b>     | 15,14              | 18,17              | Lodo litobioclástico      |
| <b>E13</b>    | 9,89               | 8,54               | Lodo litoclástico         |
| <b>E15</b>    | 11,17              | 7,94               | Lodo arenoso litoclástico |
| <b>E16</b>    | 11,13              | 1,95               | Lodo litoclástico         |
| <b>E17</b>    | 14,40              | 10,67              | Lodo litoclástico         |
| <b>E18</b>    | 9,75               | 0,21               | Lodo litoclástico         |
| <b>E19</b>    | 14,69              | 14,35              | Lodo litoclástico         |
| <b>GC_001</b> | 8,41               | 1,28               | Lodo litoclástico         |
| <b>GC_003</b> | 8,41               | 1,34               | Lodo litoclástico         |

### c. Evaluación del flujo de sedimento del río Magdalena y las geoformas del Bloque COL3

Los aportes sedimentarios del río Magdalena han sido transportados a través del talud siguiendo diferentes complejos de canales y levees afectados por eventos estructurales. El abanico actual muestra la dirección de flujo de sedimentos siguiendo una pendiente hacia el norte-noroeste. La presencia de altos estructurales modifica la dirección del flujo hacia el nororiente. Hacia el área oriental la presencia de la elevación submarina asociada a presencia de diapirismo de lodo genera un límite para la dispersión y crecimiento del sistema en esa dirección. Los rasgos morfológicos como escarpes y coronas de deslizamiento muestran la actividad denudativa asociada a eventos tectónicos presente en la actividad del cinturón de deformación.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis granulométrico y contenido de materia orgánica en las muestras de sedimento, no se observó ninguna distribución o patrón relacionado a las geoformas y rasgos geomorfológicos del Bloque COL-3; sin embargo, Muñoz (1996) identificó arenas lodosas en valles de cañones y canales que se originan en el delta del río Magdalena.

La distribución espacial del carbonato de calcio en las muestras de sedimentos analizadas y en la configuración geomorfológica de la zona, permitió delimitar la influencia de los sedimentos provenientes del río Magdalena sobre el Bloque COL-3, en tres zonas (Figura 40), definidas como:

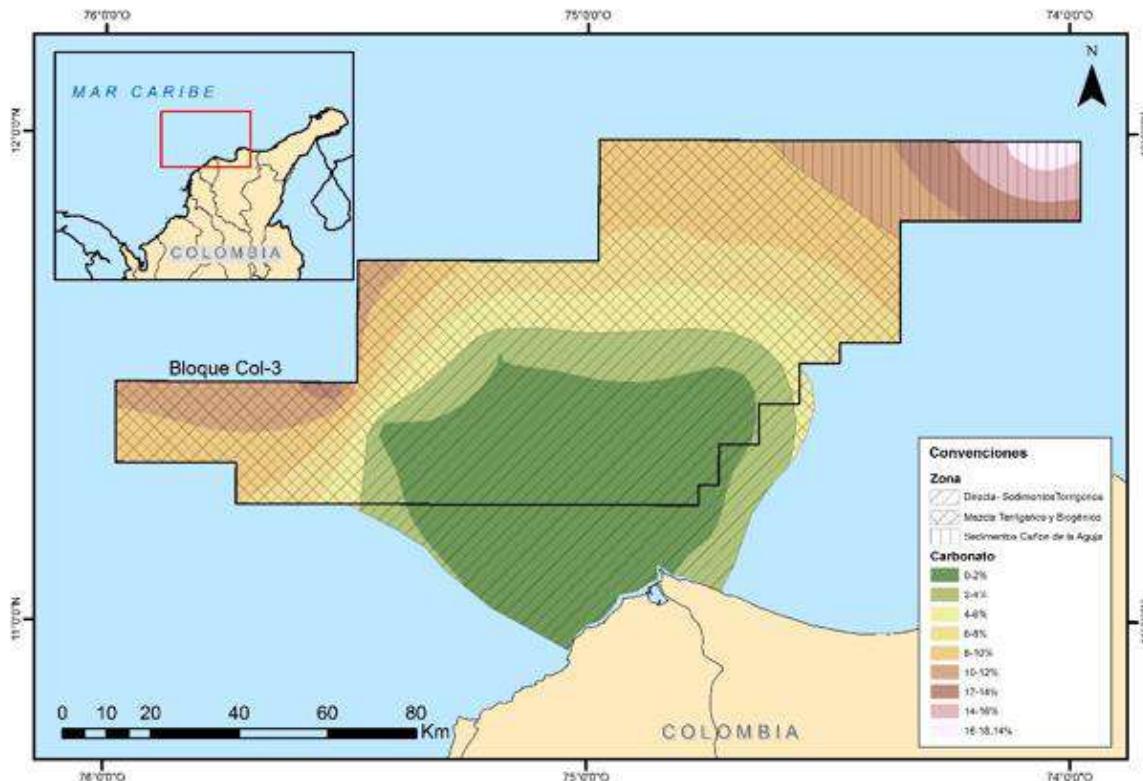


Figura 40. Distribución espacial del  $\text{CaCO}_3$  desde la desembocadura del Río Magdalena hasta el Bloque COL-3. Aproximación de zonas de acuerdo a la influencia de los sedimentos provenientes del río Magdalena.

- Directa- Sedimentos Terrígenos: corresponde al área con un porcentaje de CaCO<sub>3</sub> menor a 4% del contenido total de las muestras, permitiendo inferir que aproximadamente el 96% del material es terrígeno proveniente del río Magdalena.
- Mezcla de Terrígenos y Biogénico: el porcentaje de CaCO<sub>3</sub> varía de 4 a 12% del contenido total de las muestras, asociado con un aumento de foraminíferos y disminución significativa de los terrígenos provenientes del río Magdalena, en el Bloque COL3.
- Sedimentos Cañón de la Aguja: se localiza en la parte NE del Bloque COL3. Presenta valores de CaCO<sub>3</sub> entre 10 y 18,14% de su contenido total, que de acuerdo a la geomorfología se asocia a sedimentos provenientes del Cañón de la Aguja.

## 4 Conclusiones

La dinámica del río Magdalena está modulada por los vientos (oleaje) y las descargas, cuya variabilidad condicionan la influencia de la pluma del río sobre el bloque de exploración COL3: la dispersión de la pluma depende del régimen de viento y olas; mientras que su intensidad depende de las descargas, asociadas directamente a la época climática. Las menores corrientes se encontraron en el costado noreste del bloque y al suroeste del mismo; aunque estas aumentan en profundidad, a tal punto que, en el centro del bloque, se encontraron corrientes superiores a los 0.7 m/s.

El mes de septiembre de 2017 se caracterizó por exhibir una pluma hacia el Oeste teniendo influencia sobre el sector sur del bloque; mientras que en octubre la pluma se tornó hacia el Este, aunque nuevamente incidiendo sobre la zona sur del bloque COL3. Esto fue puesto de evidencia en los datos satelitales; mientras que en los *in situ*, la señal de baja salinidad fue paralela al borde costero y más marcada hacia el Este.

El río Magdalena claramente está fertilizando la zona adyacente, esto se pudo comprobar por los núcleos de nitratos, silicatos y clorofila-*a* en las estaciones más cercanas al río, pero no es la única fuente en la zona de estudio, observándose aportes desde el sector oriental de la SNSM. El patrón de circulación que predominó hizo que los altos pulsos se encontraran en dirección NNE.

El bloque presentó un gradiente de 1°C en la temperatura superficial y las aguas cercanas a la costa resultaron más cálidas que en mar adentro. La columna de agua resultó estratificada: en superficie se encontraron los mayores registros de temperaturas que disminuyen a medida que aumenta la profundidad.

La salinidad en superficie fue en promedio 36.53 y la columna de agua presentó un perfil típico de época húmeda con bajos valores en superficie, que aumentan hasta encontrar el valor máximo cerca de los 100 m de profundidad. En comparación con los registros de los años 2014 y 2015 y la climatología WOA09, la salinidad en superficie fue significativamente menor en el año 2017, lo cual se explica con los caudales de descarga y la precipitación que resultaron mayores con respecto a los otros años.

El máximo y mínimo de concentración de oxígeno fue 3.25 y 1.91 ml/L, respectivamente. El primero se presentó en superficie y el segundo en la zona de mínimo oxígeno (ZMO) que se encuentra entre los 500 y 780 m de profundidad. Los mayores valores en superficie están ligados con la magnitud y dirección del viento por ser la conexión entre el océano y la atmósfera.

Se identificaron 5 masas de agua en el bloque de exploración: Agua superficial del Caribe (ASC), Agua Subsuperficial Subtropical (ASS), Agua central del Atlántico Norte (ACAN), Agua intermedia Subantártica (AIS), Agua profunda del Atlántico Norte (APAN). En superficie se evidencian aguas de bajas salinidades (<35.5) y temperatura superior a 28°C, que es una señal del aporte del río en el bloque.

De acuerdo a la división del sistema turbidítico del río Magdalena, planteada por otros autores, el bloque de exploración COL-3 se encuentra sobre el sector superior del sistema en el margen continental del Caribe.

Las geoformas desarrolladas desde el delta del río Magdalena hasta el Bloque COL-3, evidencia aporte de sedimentos desde el río transportados a través del talud siguiendo diferentes complejos de canales y levees, con dirección de flujo Norte-Noroeste, afectados por altos estructurales en la parte central y este del Bloque, que modifica la dirección del flujo hacia el noroeste.

El material que alcanza la desembocadura del río Magdalena se transporta sobre el Bloque COL-3 con muy poca alteración en su proporción entre arenas y lodos, conservando la predominancia de sedimento lodoso. Según registros sedimentológicos anteriores, en algunas zonas se ha registrado presencia de arena gruesa mezclada con detritus de plantas, las cuales se asocian a turbiditas, producto de corrientes de turbidez. Además, se identificó una distribución en forma de cono del material terrígeno proveniente del río Magdalena, con un crecimiento gradual del material biogénico en los sedimentos a medida que se aleja de la desembocadura del río.

## 5 Recomendaciones

Se recomienda tomar núcleos de sedimentos, mínimo de dos metros de longitud y realizar análisis de difracción de rayos X, para obtener la cristalográfia del material fino identificado desde la desembocadura del río Magdalena hasta el Bloque COL3, como insumo en la identificación de las turbiditas u otros procesos.

Además, se propone realizar este tipo de investigaciones en los Bloques de exploración Off Shore, hacia el norte y este del Bloque COL3, debido a que la influencia de los sedimentos del río Magdalena puede tener mayor cobertura.

## 6 Bibliografía

Alvarez S, O. a. 201). Modelación Morfodinámica de Desembocaduras a Escala Intra-Anual, 120 p.

ANH, I.-. (2016). Levantamiento de información ambiental de sistemas marinos y

- costeros sobre el Caribe colombiano. PRY-BEM-008-16-ITF. Santa Marta.
- Bastidas-Salamanca, M., Artal-Arrieta, O., & Ricaurte-Villota, C. (2015). Simulación de la circulación y estructura térmica en el Caribe colombiano. In XVI COLACMAR – XVI SENALMAR. Santa Marta.
- Benitez-Nelson, C. R. 2000. The biogeochemical cycling of phosphorus in marine systems. *EarthScience Reviews*. 51 (1–4): 109–135.
- Bernal, G., Poveda, G., Roldán, P., & Andrade, C. (2006). Patrones de variabilidad de las temperaturas superficiales del mar en la costa caribe colombiana. *Ciencias de La Tierra*, 30(115), 195–208.
- Bernal, G., Ruiz-ochoa, M., & Beier, E. (2014). Variabilidad Estacional e Interanual Océano-Atmósfera en la Cuenca Colombiana. *Revista Cuadernos Del Caribe*, 14, 56–90. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/38317/#sthash.4ZeKpZ9N.dpuf>
- Blott, S. y K. Pye. 2001. GRADISTAT: A grain size distribution y statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes y Landform*, 26: 1237-1248.
- Brzezinski, M. A, T. A. Villareal, y F. Lipschultz. 1998. Silica production and the contribution of diatoms to newand primaryproduction in the central North Pacific. *Marine Ecology Progress Series* 167:89–104.
- Carvajal-Perico, J.H. 2012. Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia. Serv. Geol. COL., Bogotá. 83 p.
- Chapman;, D., y S. Lentz. 1994. Trapping of a coastal density front by the bottom boundary layer. *Journal of Marine Systems*, 21. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/249614372\\_Trapping\\_of\\_a\\_Coastal\\_Density\\_Front\\_by\\_the\\_Bottom\\_Boundary\\_Layer](https://www.researchgate.net/publication/249614372_Trapping_of_a_Coastal_Density_Front_by_the_Bottom_Boundary_Layer)
- Coleman, J. (1981). Deltas: Processes of Deposition and Models for Exploration. In Burgess Publishing Company (second, p. 102). Minneapolis.
- Delandmeter, P., S.E. Lewis, J. Lambrechts, E. Deleersnijder, V. Legat y E. Wolanski. 2015. The transport y fate of riverine fine sediment exported to a semi-open system. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 167: 336-346.
- Ercilla, G., B. Alonso, F. Estrada. F.L. Chiocci, J. Baraza y M. Farran. 2002. The Magdalena turbidite system (Caribbean Sea): present-day morphology y architecture model. *Marine Geology* 185. 303-318.
- Folk, R.L. y W.C. Ward. 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27: 3–26.
- Garrido-Linares, M., Alonso;, D., Gutierrez-Salcedo;, J. ., Cadavid;, E. M., Rodriguez;, A., Bastidas;, M., ... Jimenez;, A. (2014). Base ambiental preliminar del bloque de exploración de hidrocarburos Guajira offshore 3 en el Caribe Colombiano. Santa Marta.

- Giannini, a, Kushnir, Y., & Cane, M. a. (2000). Interannual variability of the Caribbean rainfall ENSO and the Atlantic Ocean. *Journal of Climate*, 13, 297–311. [http://doi.org/10.1175/1520-0442\(2000\)013<0297:Ivocre>2.0.Co;2](http://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<0297:Ivocre>2.0.Co;2)
- Guillard, R. R. L y P. Kilham. 1978. The ecology of marine planktonic diatoms. Pp. 372–469 in *The biology of diatoms*. University of California Press.
- Gilly, W. F., Beman, J. M., Litvin, S. Y., & Robison, B. H. (2013). Oceanographic and Biological Effects of Shoaling of the Oxygen Minimum Zone. *Annual Review of Marine Science*, 5(1), 393–420. <http://doi.org/10.1146/annurev-marine-120710-100849>
- GIOC (Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas). (2000). Documento de referencia. Volumen II. Procesos litorales. España: Ministerio de Medio Ambiente, Universidad de Cantabria.
- Giraldo, L. (1994). Análisis de masas de agua y control de calidad de la información oceanográfica. *Boletín Oceanográfico CIOH*, 1, 17–38. Retrieved from [http://cecoldodigital.dimar.mil.co/144/1/dimarcioh\\_1994\\_boletincioh\\_15\\_17-38ok.pdf](http://cecoldodigital.dimar.mil.co/144/1/dimarcioh_1994_boletincioh_15_17-38ok.pdf)
- Hernandez-Guerra, A., & Joyce, T. M. (2000). Water masses and circulation in the surface layers of the Caribbean at 66°W. *Geophysical Research Letters*, 27(21), 3497–3500. <http://doi.org/10.1029/1999GL011230>
- Higgins, A., Restrepo, J. C., Ortiz, J. C., Pierini, J., & Otero, L. (2016). Suspended sediment transport in the Magdalena River (Colombia, South America): Hydrologic regime, rating parameters and effective discharge variability. *International Journal of Sediment Research*, 31(1), 25–35. <http://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2015.04.003>
- Idárraga-García, J. 2016. Modelo geodinámico de los sistemas de subducción de Colombia a partir de mediciones de anisotropía sísmica y su relación con el contexto morfotectónico regional de los márgenes continentales Caribe y Pacífico. PhD Thesis. Universidad Nacional de Colombia.
- INVEMAR-GEO. 2014. Dispersión de sedimentos mediante el estudio de la dinámica meteomarina en el sector isla Salamanca-PNN Tayrona (Departamento del Magdalena). Informe técnico final. Actividad GEO-BPIN INVEMAR. Sanata Marta.
- INVEMAR-ANH. 2008. Especies, ensamblajes y paisajes de los bloques marinos sujetos a exploración de hidrocarburos. Informe técnico final, Santa Marta, 461p.
- INVEMAR-ANH, 2010. Especies, ensamblajes y paisajes de los bloques marinos sujetos a exploración de hidrocarburos – Fase II – Caracterización de la megafauna y el pláncton del Caribe colombiano. Informe Técnico Final INVEMAR –ANH Fase II, Santa Marta, 342p.
- Kolla, V. y R.T Buffler. 1983. Morphologic, Acoustic, y Sedimentologic Characteristics of the Magdalena Fan. *GEO-MARINE Letters*, 3: 85-91.
- Kolla, V., R.T. Buffler y J.W. Ladd. 1984. Seismic stratigraphy y sedimentation of Magdalena Fan, Southern Colombian Basin, Caribbean Sea. *Am. Assoc. Pet. Geol.*

Bull. 68: 316-332.

- Mesa, J. (2010). Metodología para el reanálisis de series de oleaje para el caribe colombiano [Methodology for the re-analysis of wave series for the Colombian Caribbean]. Universidad Nacioanal de Colombia, Medellín.
- Moller, G. S. F., Novo, E. M. L. d. M., & Kampel, M. (2010). Space-time variability of the Amazon River plume based on satellite ocean color. *Continental Shelf Research*, 30(3-4), 342–352. <http://doi.org/10.1016/j.csr.2009.11.015>
- Montoya Jaramillo, L. J. (2010). Dinámica oceanográfica del golfo de Urabá y su relación con los patrones de dispersión de contaminantes y sedimentos. Univ. Nal. de COL, Medellín. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/5226/1/Cap.1-5.pdf>
- Moreno-Madriñán, M. J., Rickman, D. L., Ogashawara, I., Irwin, D. E., Ye, J., & Al-Hamdan, M. Z. (2015). Using remote sensing to monitor the influence of river discharge on watershed outlets and adjacent coral Reefs: Magdalena River and Rosario Islands, Colombia. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 38, 204–215. <http://doi.org/10.1016/j.jag.2015.01.008>
- Muñoz N.G. 1966. Turbiditas en sedimentos profundos de la cuenca oceánica de Colombia e influencia del río Magdalena. *Geos* (UCV, Caracas). 15:7-101, 87 ilust.
- Murcia, M., Bastidas, M., & Ricaurte, C. (2016). Informe técnico final. Capítulo 6: Componente oceanográfico. Caracterización ambiental del área de interés extendida del bloque Colombia offshore 3, épocas lluvia y seca, Caribe colombiano. Snata Marta.
- Nelson, D. M y Q. Dortch. 1996. Silicic acid depletion and silicon limitation in the plume of the Mississippi River: Evidence from kinetic studies in spring and summer. *Marine Ecology Progress Series* 136:163–178.
- Otero, L. J., Higgins, A. E., & Henriquez, S. A. (2016). Storms or cold fronts : what is really responsible for the extreme waves regime in the Colombian Caribbean coastal region ?, 391–401. <http://doi.org/10.5194/nhess-16-391-2016>
- Paytan, A. B. J. Cade-Menum, K. McLaughlin y K. L Faul. 2003. Selective phosphorus regeneration of sinking marine particles: evidence from <sup>31</sup>P NMR. *Marine Chemistry* 82 (1-2), 55–70.
- Poveda, G. (2004). Hidroclimatología De Colombia : Una Síntesis Desde La Escala Inter-Decadal. *Ciencias de La Tierra*, 201.
- Ragueneau, O. L. Chauvaud, A. Leynaert, G. Thouzeau, Y.-M. Paulet, S. Bonnet, A. Lorrain, J. Grall, R. Corvaisier, M. Le Hir, F. Jean y J. Clavier. 2002. Direct evidence of a biologically active coastal silicate pump: Ecological implications. *Limnology and Oceanography* 47 (6):1849–1854.
- Rangel-Buitrago, N. y J. Idárraga-García. 2010. Geología general, morfología submarina y facies sedimentarias en el margen continental y los fondos oceánicos del mar Caribe Colombiano. 16-51. En INVEMAR. Biodiversidad del margen continental del Caribe Colombiano. Serie de Publicaciones Espaciales, Invemar No. 20p. 4588.

- Reading, H.G. y M. Richards. 1994. Turbidite systems in deepwater basin margins classified by grain size y feeder system. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.* 78: 792-822.
- Restrepo, J. C., Schrottke, K., Traini, C., Ortíz, J. C., Orejarena, A., Otero, L., ... Marriaga, L. (2016). Sediment Transport and Geomorphological Change in a High-Discharge Tropical Delta (Magdalena River, Colombia): Insights from a Period of Intense Change and Human Intervention (1990–2010). *Journal of Coastal Research*, 319(3), 575–589. <http://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-14-00263.1>
- Restrepo, J. D., Zapata, P., Di, J. M., Garzo, J., & Garcí, C. B. (2006). Fluvial fluxes into the Caribbean Sea and their impact on coastal ecosystems : The Magdalena River , Colombia, 50, 33–49. <http://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2005.09.002>
- Ricaurte-Villota, C., M. Murcia-Riaño y S.A. Ordóñez-Zúñiga. 2017. Región 3: Caribe Insular. Pp 62-81. En Ricaurte-Villota, C. y M.L. Bastidas-Salamanca (Eds.). 2017. Regionalización oceanográfica: una visión dinámica del Caribe. INVEMAR. Serie de Publicaciones Especiales de INVEMAR N°14. Santa Marta. 180 p.
- Romero, D., C. Peña, A. Ordoñez, C. Ricaurte y M. Bastidas. 2017. Región 6: Ciénaga Grande de Santa Marta, río Magdalena, Bolívar. In Regionalización oceanográfica. Un aviso dinámica del Caribe (pp. 108–123). Santa Marta (Magdalena): Invemar.
- Scranton, M. G. Taylor, Y. Astor y F. Müller-Karger. 2006. Temporal variability in the nutrient chemistry of the Cariaco Basin. In: Neretin, L.N. (Ed.), Past and Present Marine Water.
- Schlitzer, R. (2017). Ocean data view.
- Seiwell, H. (1983). Application of the distribution of oxygen to the physical oceanography of the Caribbean sea region. *Papers in Physical Oceanography and Meteorology*, v.6(no.1).
- Stewart, R. H. (2000). Introduction to Physical Oceanography. Texas: Department of oceanography Texas A&M University. <http://doi.org/10.11119/1.18716>
- Terry, R.D. y G.V. Chilingar. 1955. Summary of "concerning Some Additional Aids in Studying Sedimentary Formations" by M. S. Shvetsov. *Journal of Sedimentary Research*, vol. 25, no 3.
- Vernette, G., A. Mauffret, C. Bobier, L. Briceno and J. Gayet. 1992. Mud diapirism, fan sedimentation and strike-slip faulting, Caribbean Colombian Margin. *Tectonophysics*, 202: 335-349.
- Wetzel, F.C. 1993. The transfer of river load to deep-sea fans: A quantitative approach. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.* 77: 1679-1692.
- Wolanski;, P. D. S. L. J. L. E. D. V. L. E. (2015). The transport and fate of riverine fine sediment exported to a semi-open system. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 336e346. Retrieved from [https://ac.els-cdn.com/S0272771415301013/1-s2.0-S0272771415301013-main.pdf?\\_tid=8969ad8a-cdfa-11e7-8850-0000aab0f02&acdnat=1511186347\\_27843b420776db2f322c64c31b5ed634](https://ac.els-cdn.com/S0272771415301013/1-s2.0-S0272771415301013-main.pdf?_tid=8969ad8a-cdfa-11e7-8850-0000aab0f02&acdnat=1511186347_27843b420776db2f322c64c31b5ed634)



## II. LEVANTAMIENTO DE LÍNEA BASE CALIDAD DE AGUAS Y SEDIMENTOS

Cesar A. Bernal.

### 1 Alcance

Establecer la línea base de calidad de aguas y sedimentos marinos en el área del bloque COL3.

### 2 Problema y su justificación

El área dentro del bloque COL3, se ubica frente a la desembocadura del río Magdalena, el cual, a lo largo del país, recibe por descarga directa diferentes contaminantes, incluyendo aguas residuales municipales e industriales, desechos contaminados de la minería, residuos de actividades relacionadas con el petróleo y escorrentía de la agricultura (Benítez, *et al.*, 2016), los cuales pueden ingresar en la cadena trófica biomagnificando su toxicidad. El río Magdalena provee una carga de sedimentos en suspensión promedio de 142,6 x10<sup>6</sup> toneladas/año, un 38 % de la carga de sedimento total estimada para la zona litoral del mar caribe entre los años 2000 y 2010 (Restrepo, *et al.*, 2017).

La importancia de levantar la línea base de calidad de aguas marinas sobre el bloque COL3, radica en disponer de información y generar conocimiento a través de la aplicación de metodologías aprobadas y estándar, que permitan a las autoridades ambientales identificar posibles problemáticas existentes, generando las medidas de manejo requeridas para su control, prevención o mitigación. El presente informe contiene la línea base de calidad de aguas y sedimentos marinos del bloque COL3, en base al crucero realizado durante septiembre y octubre de 2017.

### 3 Desarrollo/Hallazgos/Resultados

#### 3.1 Metodología utilizada

Durante el crucero de investigación realizado del 19 de septiembre a 18 de octubre del presente, se recolectaron muestras de agua en diez (10) estaciones a nivel superficial y a profundidades de 30, 80 y 250 m (Figura 41), 7 muestras de sedimento superficial empleando un box corer (Figura 42) y 4 perfiles de sedimento empleando un pistón corer (Figura 43) el cual fue seccionado cada 5 cm, para el levantamiento de línea base de calidad de aguas y sedimentos, usando los métodos descritos en la Tabla 9.

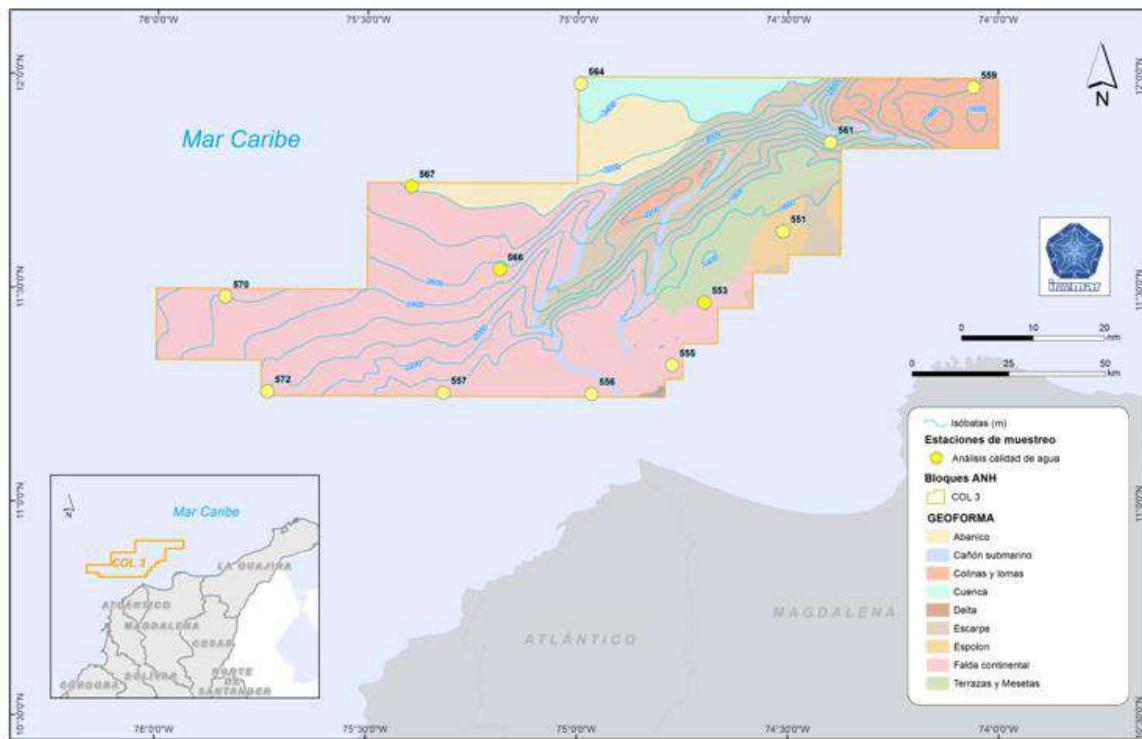


Figura 41. Mapa donde se presenta el bloque COL3 y las estaciones de muestreo de agua recolectadas a nivel superficial y profundidades de 30, 80 y 250 m.

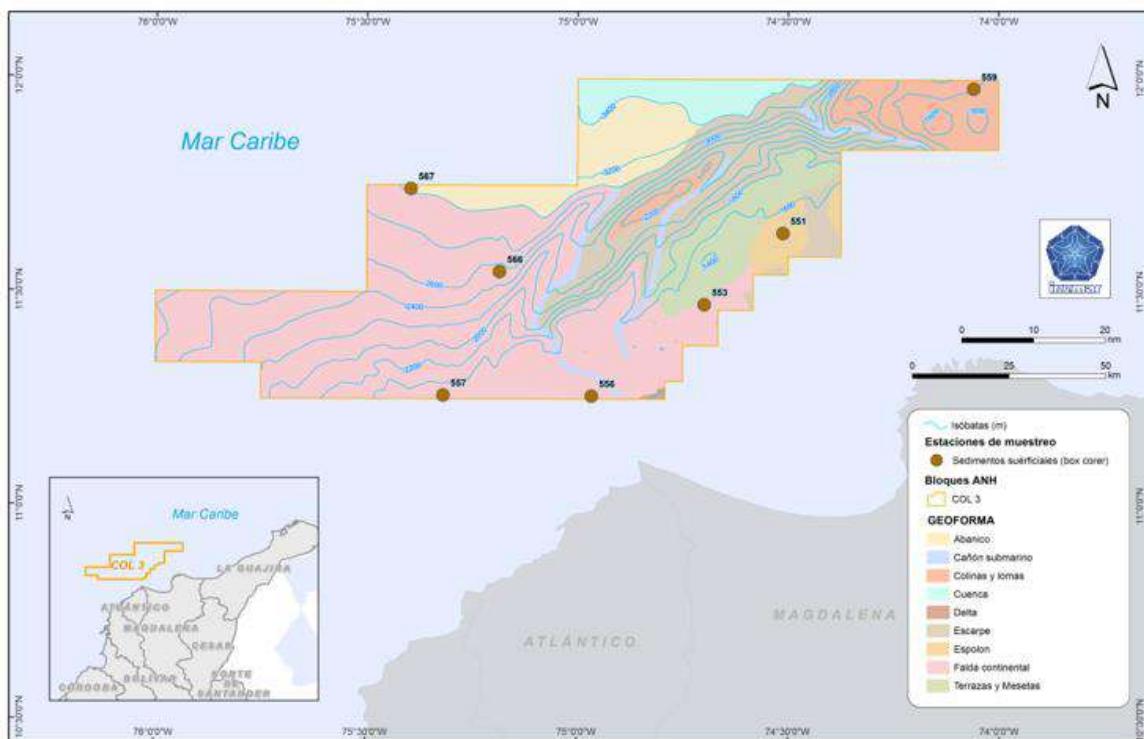


Figura 42. Mapa donde se presenta el bloque COL3 y las estaciones de muestreo de sedimento recolectadas empleando un box corer.

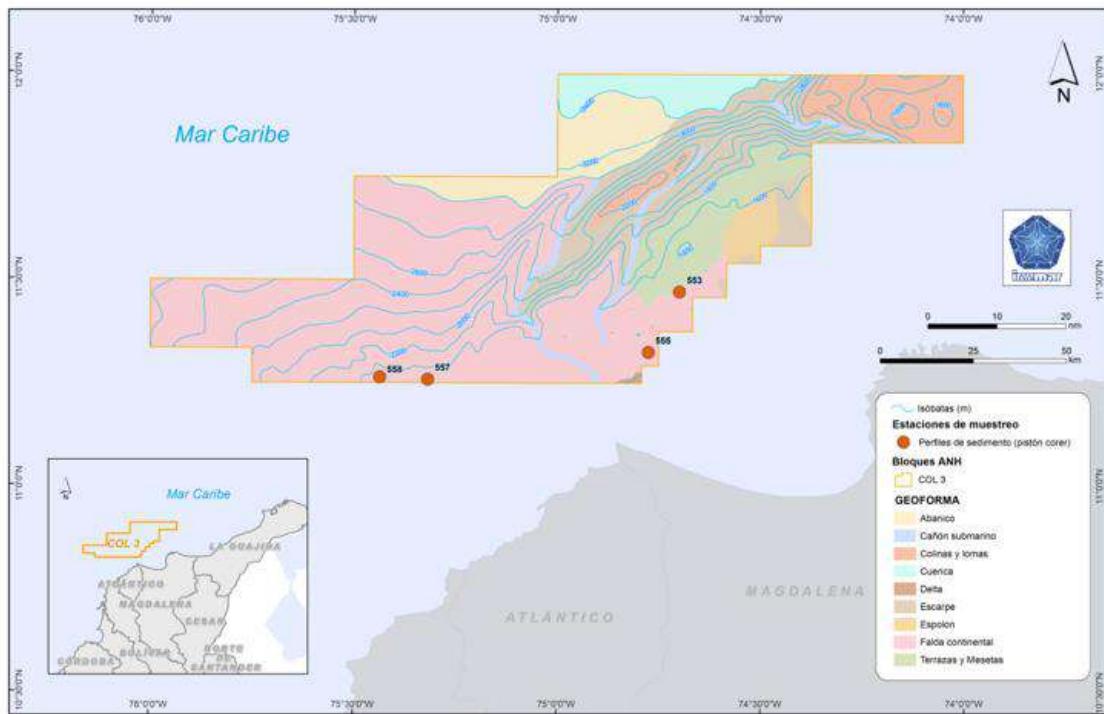


Figura 43. Mapa donde se presenta el bloque COL3 y las estaciones de muestreo de sedimento recolectadas empleando un piston corer.

Tabla 9. Métodos utilizados en el LABCAM del INVEMAR, para establecer la línea base de calidad de aguas y sedimentos marinos en el área del bloque COL3.

| Parámetro  | Métodos de Análisis   |
|--|---|
|  | Matriz agua   |
| Temperatura  | Medición electrométrica con electrodo acoplado a sonda CTD  |
| Transparencia  | Disco Secchi (Garay <i>et al.</i> , 2003)   |
| Salinidad  | Medición electrométrica con electrodo acoplado a sonda CTD  |
| Oxígeno disuelto   | Medición en campo con sensor óptico (ISO 17289:2014).   |
| Nitritos + Nitratos  | Método colorimétrico, reducción con cadmio, lectura método colorimétrico de la sulfanilamida (Strickland_y_Parson,_1972)  |
| Fosfatos   | Método colorimétrico del ácido ascórbico (Strickland_y_Parson,_1972)  |
| Turbidez   | Medición Nefelométrica (Standard Methods 2130-B; APHA <i>et al.</i> ,_2012)   |
| Sólidos suspendidos totales  | Filtración en membrana de fibra de vidrio, secado 103-105°C y gravimetría (Standard Methods 2540-D; APHA <i>et al.</i> ,_2012)  |
| Sólidos sedimentables  | Medición gravimétrica (Standard Methods 2540-F, APHA <i>et al.</i> ,_2012)  |
| Metales disueltos - cadmio (Cd), plomo (Pb), cromo hexavalente (Cr VI), cobre (Cu), zinc (Zn), níquel (Ni), hierro (Fe), vanadio (V), bario (Ba) y mercurio (Hg) | Extracción APDC-MIBK-HNO <sub>3</sub> 1N y cuantificación por absorción atómica con llama (Standard Methods 3111-C modificado, APHA <i>et al.</i> ,_2012)<br>Dilución y análisis directo por ICP-AES (Standard Methods 3120 B, APHA <i>et al.</i> ,_2012)<br>Analizador directo de Mercurio descomposición térmica, amalgamación y espectrometría de absorción atómica (EPA 7473) |
| Carbono orgánico total   | Analizador de Carbono orgánico total (Standard Methods 5310 B APHA <i>et al.</i> ,_2012)  |
| Clorofila a  | Método tricromático (Standard Methods 10200-H, APHA <i>et al.</i> , 2012)   |

| Parámetro  | Métodos de Análisis   |
|--|---|
| <b>Matriz sedimento - Box corer</b>  |   |
| pH   | Medición electrométrica con sonda portátil. (NTC 5264, <a href="#">ICONTEC, 2008</a> )  |
| Temperatura  | Medición electrométrica con electrodo acoplado a sonda portátil   |
| Hidrocarburos arómaticos policíclicos -16 compuestos*  | Extracción soxhlet con diclorometano-acetona (1:1) (EPA 3540C, <a href="#">EPA, 1996a</a> ). Cuantificación por cromatografía de gases acoplada a detector selectivo de masas (EPA 8270D, <a href="#">EPA, 2014</a> ).  |
| Hidrocarburos del Petróleo equivalentes de criseno   | Extracción soxhlet con diclorometano-acetona (1:1) y cuantificación por espectroscopía de fluorescencia ( <a href="#">UNESCO, 1982</a> ).   |
| Hidrocarburos alifáticos   | Extracción soxhlet con diclorometano-acetona (1:1) y Cuantificación por cromatografía de gases acoplada a detector selectivo de masas ( <a href="#">UNEP et al., 1992</a> ).  |
| Grasas y aceites   | Método gravimétrico (Standard Methods EPA 9071 B, <a href="#">APHA et al., 2012</a> )   |
| Materia orgánica   | Oxidación húmeda (NTC 5403 Método B, <a href="#">ICONTEC, 2013</a> ), ó Analizador de Carbono orgánico total empleando módulo de sólidos (NTC 5403 Método A, <a href="#">ICONTEC, 2013</a> )  |
| Metales totales - cadmio (Cd), plomo (Pb), cromo (Cr), cobre (Cu), zinc (Zn), níquel (Ni), hierro (Fe), vanadio (V), bario (Ba) y mercurio (Hg). | Digestión asistida por microondas (EPA 3052, EPA, 1996b) y cuantificación por ICP-AES (Standard Methods 3500, <a href="#">APHA et al., 2012</a> )<br>Analizador directo de Mercurio descomposición térmica, amalgamación y espectrometría de absorción atómica (EPA 7473, <a href="#">EPA, 2007</a> ) |
| <b>Matriz sedimento - Piston corer</b>   |   |
| Metales totales - cadmio (Cd), plomo (Pb), cromo (Cr), cobre (Cu), zinc (Zn), níquel (Ni), hierro (Fe), vanadio (V), bario (Ba) y mercurio (Hg). | Digestión asistida por microondas (EPA 3052, EPA, 1996b) y cuantificación por ICP-AES (Standard Methods 3500, <a href="#">APHA et al., 2012</a> )<br>Analizador directo de Mercurio descomposición térmica, amalgamación y espectrometría de absorción atómica (EPA 7473, <a href="#">EPA, 2007</a> ) |

\*HAP determinados: naftaleno, acenaftileno, acenafteno, fluoreno, fenantreno, antraceno, fluoranteno, pireno, benzo(a)antraceno, criseno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, benzo(a)pireno, indeno(1,2,3-cd)pireno, dibenzo(a,h)antraceno y benzo(ghi)perilene.

Las muestras fueron preservadas siguiendo las metodologías propuestas por el Manual de Técnicas Analíticas (Garay *et al.*, 2003), Practical Handbook of Seawater Analysis (Strickland y Parson, 1972) y del Standard Methods (APHA *et al.*, 2012) y se analizaron en la Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina - INVEMAR.

## 3.2 Presentación de los Hallazgos y Resultados:

### 3.2.1 Calidad de aguas

Las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) en las doce estaciones evaluadas a nivel superficial y a 30 m de profundidad cumplen el criterio de calidad para preservación de flora y fauna > 4,0 °C (MinSalud, 1984; Figura 44), no obstante, a 250 m de profundidad el OD se encuentra por debajo del criterio de calidad para preservación de flora y fauna (MinSalud, 1984; Figura 44), para la profundidad de 80 m, el OD se encontró entre 4,20 y 3,84 mg O<sub>2</sub>/L.

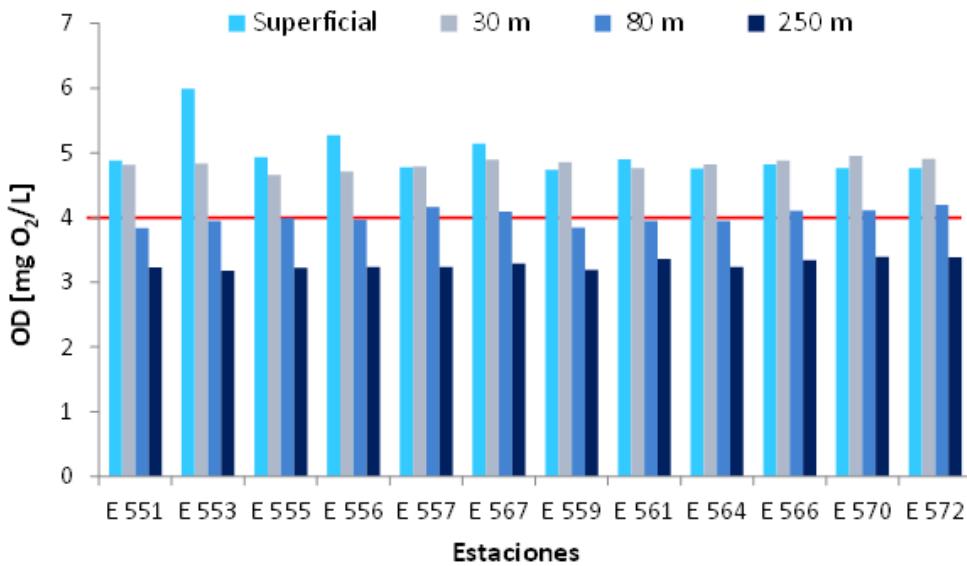


Figura 44. Oxígeno disuelto a nivel superficial y profundidades de 30, 80 y 250 m. La línea roja indica el criterio de calidad ( $>4,0$  mg de  $O_2/L$ ) para la preservación de flora y fauna establecido en el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).

Los sólidos suspendidos totales (SST) en las doce estaciones evaluadas estuvieron por debajo de 8,84 mg/L (Figura 45), la mayor concentración de SST fue obtenida en la estaciones E 553 a nivel superficial atribuido principalmente a la pluma del río Magdalena (Figura 46), no obstante, los resultados obtenidos clasifican las aguas como no contaminadas ( $\leq 25$  mg/L) de acuerdo a la escala de clasificación de calidad del agua superficial propuesta por CONAGUA, (2015). Además, se encuentra por debajo de 10 mg/L considerado como valor umbral para aguas saludables de arrecifes de coral (Restrepo, et al., 2016).

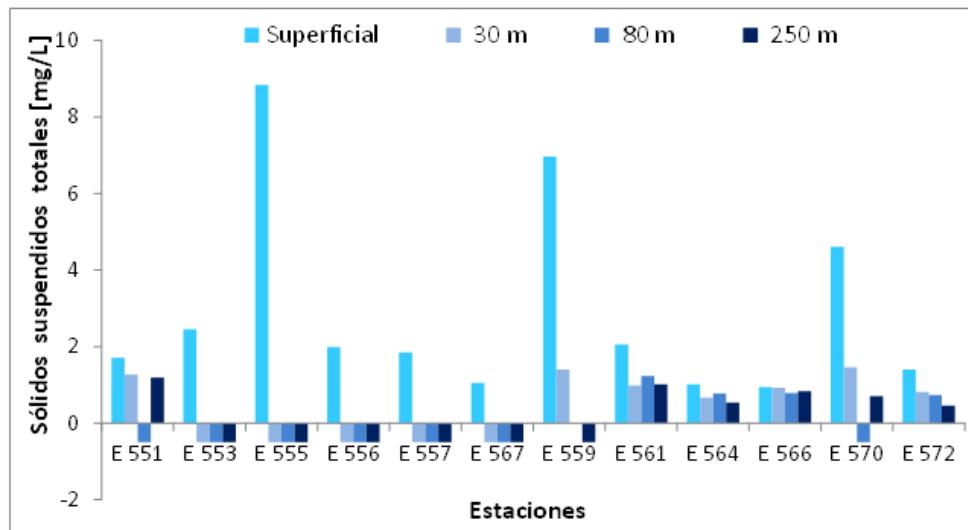


Figura 45. Sólidos suspendidos totales a nivel superficial y profundidades de 30, 80 y 250 m. Las Barras en sentido negativo indican que el resultado obtenido se encuentra por debajo del límite de cuantificación de la metodología analítica (<0,50 mg/L).

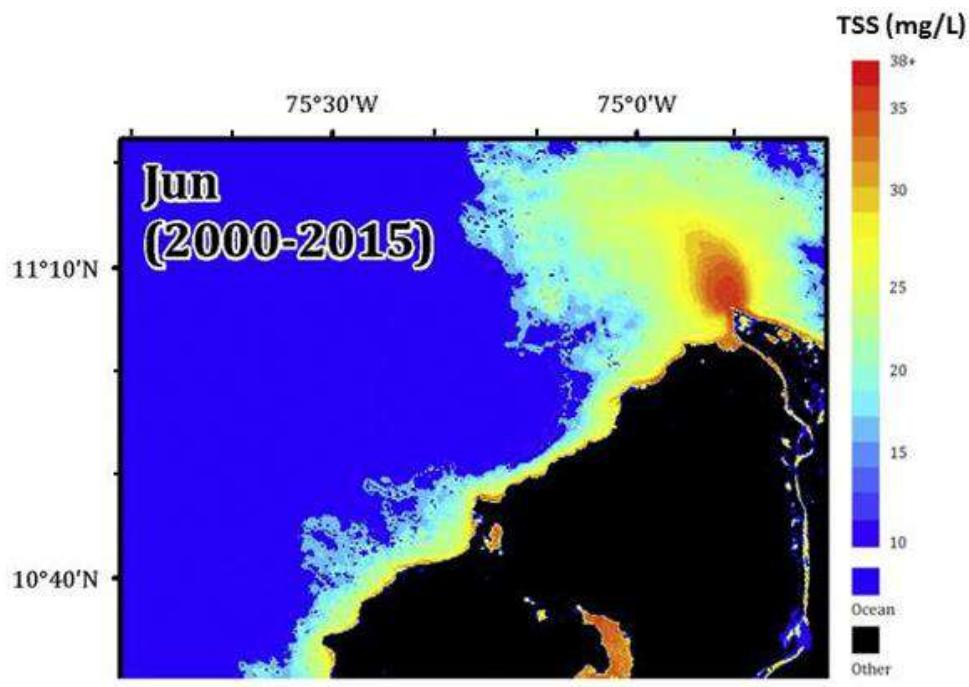


Figura 46. Extensión de la pluma del río Magdalena y carga de sólidos suspendidos totales según Restrepo, et al., (2017) para mediciones realizadas en el mes de junio de los años 2000 a 2015. Tomado de Restrepo, et al., (2017).

En las Figura 47 se presentan las concentraciones de los nutrientes disueltos: nitritos + nitratos ( $\mu\text{g N/L}$ ) y fosfatos ( $\mu\text{g P-PO}_4/\text{L}$ ) (Figura 48), para las doce estaciones evaluadas a nivel superficial y a profundidad de 30, 80 y 250 m. Es evidente la alta concentración de nutrientes a profundidad de 250 m, atribuida principalmente a procesos de remineralización y producción microbiana. A nivel superficial se observa una mayor concentración en las estaciones cercanas a la boca del río Magdalena, específicamente para la E 555, atribuido a la carga de nutrientes del río Magdalena.

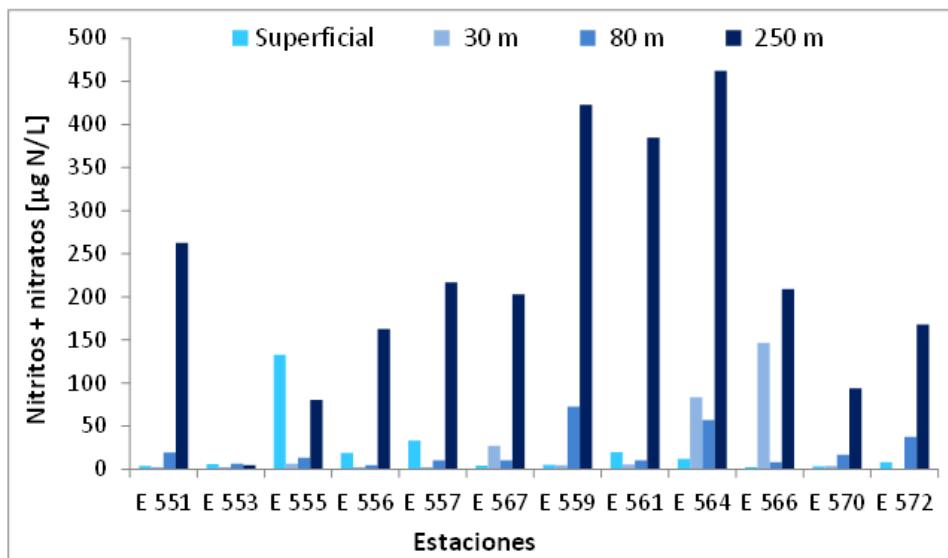


Figura 47. Nitritos + Nitratos disueltos a nivel superficial y profundidades de 30, 80 y 250 m.

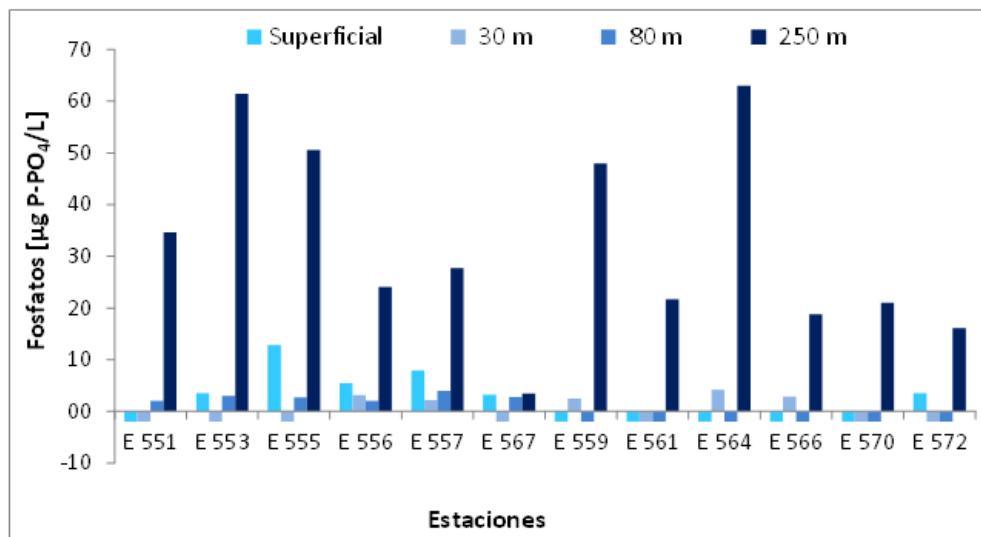


Figura 48. Fosfatos disueltos a nivel superficial y profundidades de 30, 80 y 250 m. Las Barras en sentido negativo indican que el resultado obtenido se encuentra por debajo del límite de cuantificación de la metodología analítica (<2,0  $\mu\text{g P-PO}_4/\text{L}$ ).

En la Figura 49, se evidencia la influencia del río Magdalena sobre la concentración de clorofila a, a nivel superficial dadas las diferencias entre las estaciones frente a la pluma del río Magdalena (E 553, E 555 y E 556) con valores que oscilaron entre 2,87 y 7,95, mientras que para las demás estaciones los valores oscilaron entre 0,15 y 0,45.

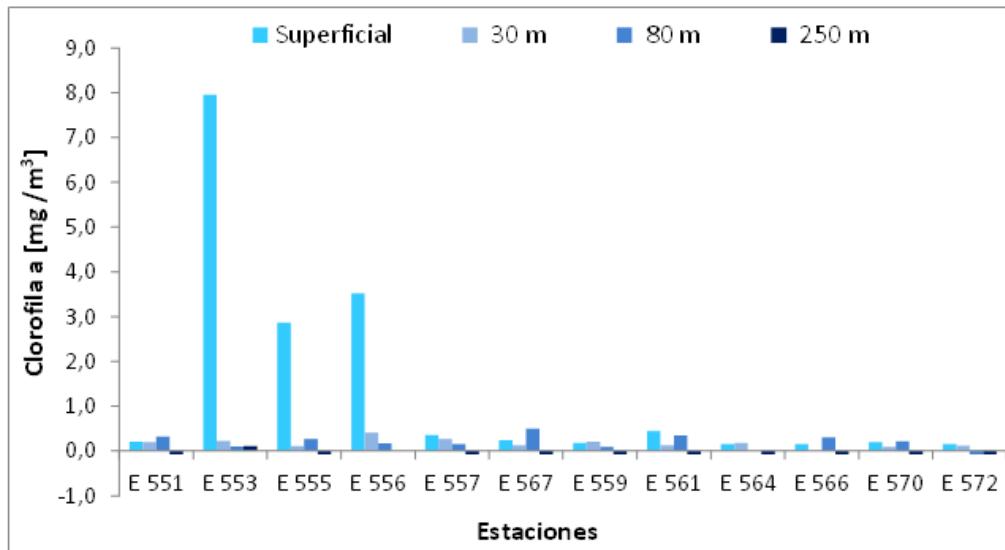


Figura 49. Clorofila a, a nivel superficial y profundidades de 30, 80 y 250 m. Las Barras en sentido negativo indican que el resultado obtenido se encuentra por debajo del límite de cuantificación de la metodología analítica (<0,07  $\text{mg}/\text{m}^3$ ).

Las altas concentraciones de silicatos obtenidas a nivel superficial (Figura 50) se encuentran asociadas a la influencia del río Magdalena, en cuanto a la profundidad de 250 m generalmente se asocian al efecto de la deposición de los esqueletos de diatomeas.

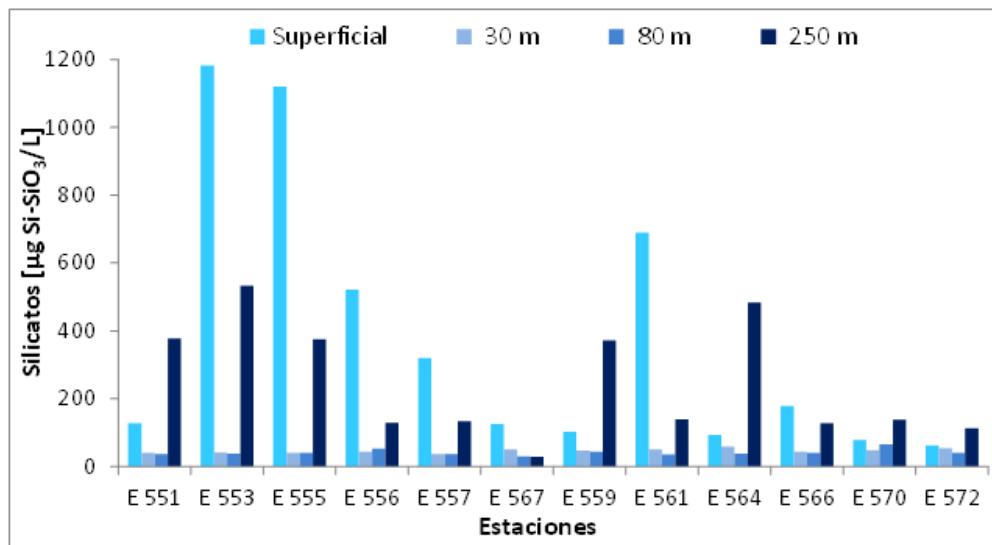


Figura 50. Silicatos presentes a nivel superficial y profundidades de 30, 80 y 250 m.

Las concentraciones de Hidrocarburos del Petróleo Disueltos y Dispersos (HPDD) equivalentes de criseno, para las estaciones evaluadas se encuentra por debajo del nivel de referencia para aguas contaminadas de 10 µg/L eq-criseno ([UNESCO, 1984](#)). La mayor concentración se registró en la estación 567 con un valor de 3,06 µg/L (Figura 51).

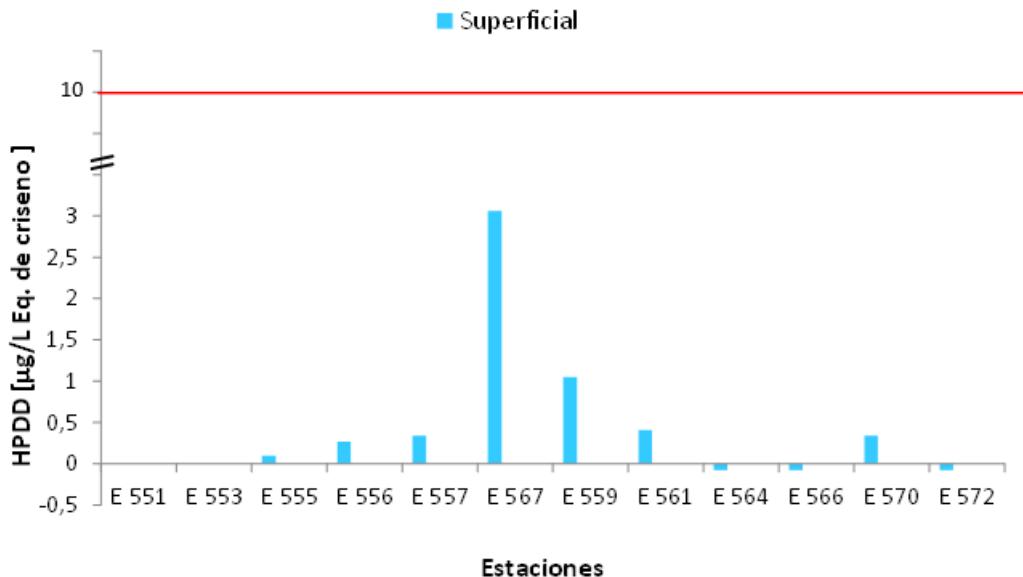


Figura 51. Hidrocarburos del Petróleo Disueltos y Dispersos equivalentes de criseno a nivel superficial. La línea roja indica el valor de referencia para aguas contaminadas ([UNESCO, 1984](#)).

Las concentraciones de carbono orgánico total se encuentran por debajo de 3,65 mg C/L (Figura 52), no se observó un patrón espacial entre las estaciones, se obtienen los resultados como línea base para futuras comparaciones con posibles intervenciones que se puedan presentar en el área de estudio.

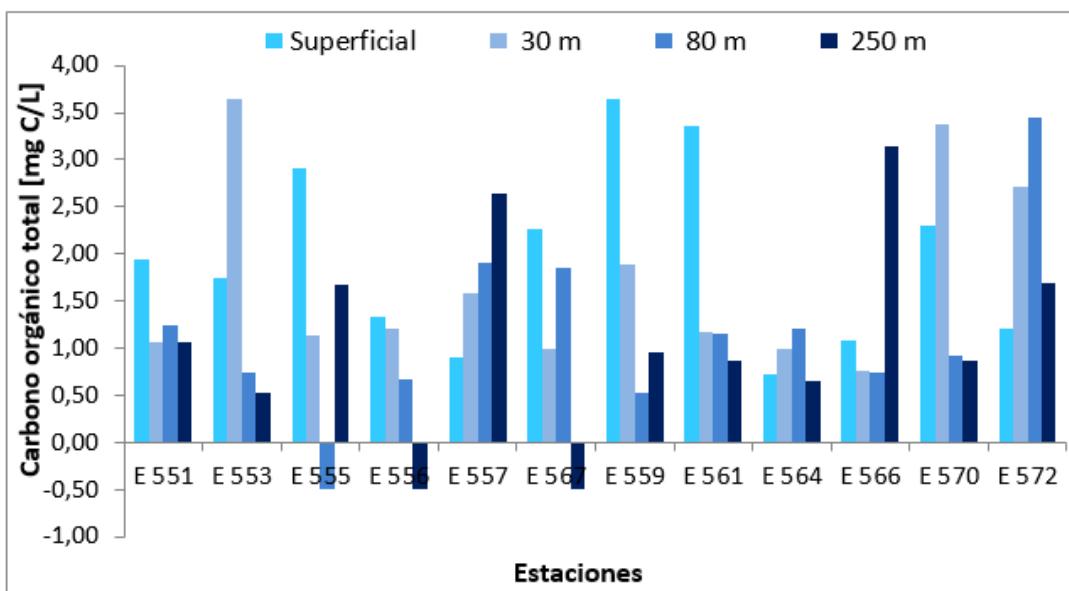


Figura 52. Carbono orgánico total a nivel superficial y profundidades de 30, 80 y 250 m. Las Barras en sentido negativo indican que el resultado obtenido se encuentra por debajo del límite de cuantificación de la metodología analítica (<0,05 mg C/L).

Las concentraciones de cromo hexavalente disuelto, bario disuelto y mercurio disuelto presentaron valores por debajo de los valores de referencia para efectos crónicos y agudos sobre la biota en agua marina según NOAA ([Buchman, 2008](#)). Las concentraciones de los metales cadmio, cinc, hierro, vanadio y níquel, se encuentran por debajo de los límites de cuantificación de la metodología analítica empleada.

### 3.2.2 Calidad de sedimentos

#### 3.2.2.1 Sedimentos superficiales – Box corer

Las concentraciones de materia orgánica obtenidas en las 7 estaciones analizadas, oscilaron entre 16,2 y 23,6 mg/g, encontrándose que las estaciones E1, E3, E6 y E7 contienen un mayor contenido de materia orgánica (21,0 – 23,6 mg/g) comparado con las concentraciones de las estaciones E9, E16 y E17 (16,2-18,7 mg/g).

Los hidrocarburos del petróleo equivalentes de criseno analizados de sedimentos superficiales tomados con Box corer (Figura 53), presentaron concentraciones por debajo del nivel descrito como valores naturales por Massoud *et al.*, (1997).

El contenido de hidrocarburos alifáticos evaluado para cadenas alifáticas de 12 a 40 carbonos oscilo entre 0,22 y 27,3 µg/g, se obtienen los resultados como línea base para futuras comparaciones con posibles intervenciones que se puedan presentar en el área de estudio (Figura 54).

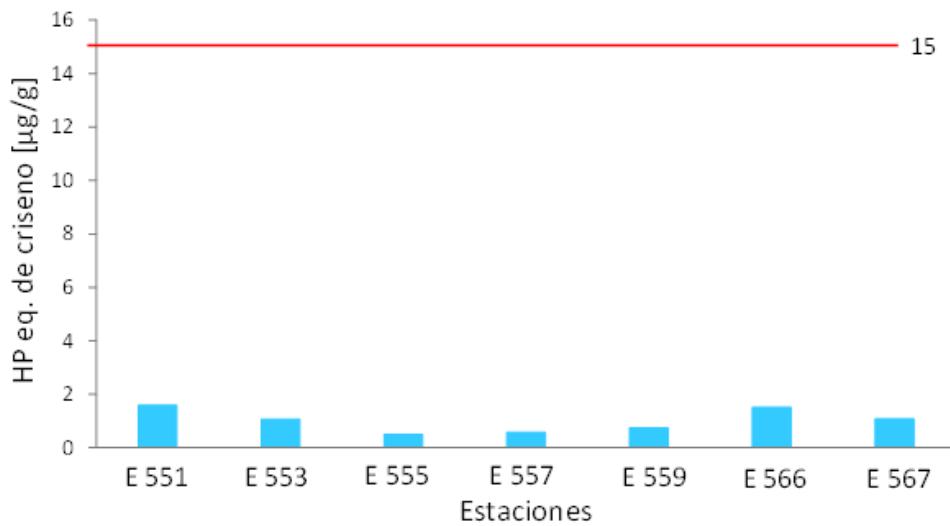


Figura 53. Hidrocarburos del Petróleo equivalentes de crisenio a nivel de sedimento superficial. La línea roja indica el valor de referencia para niveles naturales descritos en Massoud et al., (1997).

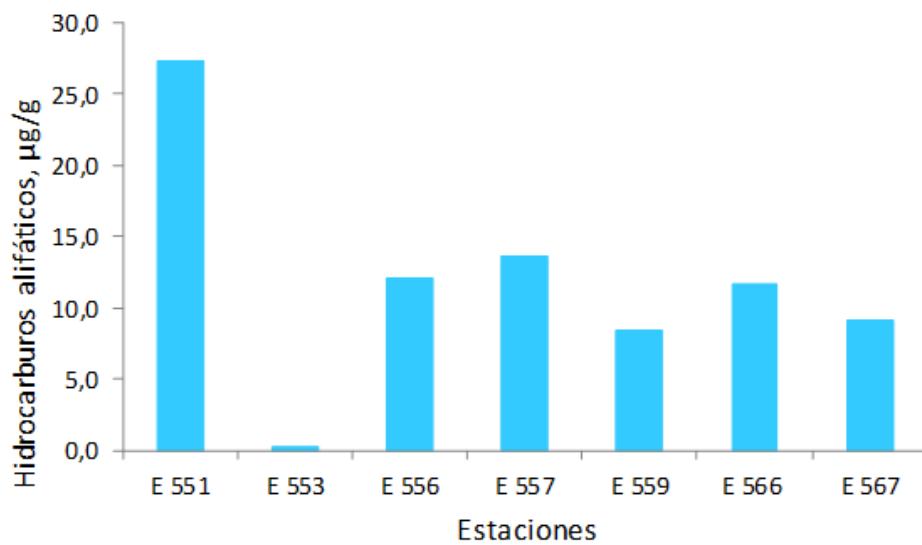


Figura 54. Hidrocarburos alifáticos a nivel de sedimento superficial.

Las concentraciones obtenidas para los 16 compuestos de hidrocarburos aromáticos policíclicos se encuentran por debajo de los niveles de referencia de la NOAA indicando que a estos niveles raramente se asocian efectos adversos sobre la biota.

Las concentraciones de los metales totales en sedimento superficial hierro, plomo, vanadio y mercurio (E 553, E 556, E 557, E 559, E 566, E 567) se encuentran por debajo de los niveles de referencia de la NOAA (McDonald et al., (1996)) indicando que a estos niveles raramente se asocian efectos adversos sobre la biota.

Las concentraciones de níquel (7 estaciones) y cadmio (E 551, E 553, E 556, E 559, E 566, E 567) se encuentran por encima de los niveles de efecto probable de referencia

de la NOAA (McDonald *et al.*, (1996)) indicando que estos niveles frecuentemente se asocian a efectos adversos.

Las concentraciones de los metales totales bario, cinc, cromo, cobre y mercurio (E 551) se encuentran por encima de los niveles umbrales de referencia de la NOAA (McDonald *et al.*, (1996)) indicando que estos niveles ocasionalmente se asocian a efectos adversos (Tabla 10).

*Tabla 10. Metales totales en sedimento de las 7 estaciones recolectadas con Box corer. Los valores de referencia se tomaron de Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008). (-) no indicado en Buchman, (2008).*

| Estación       | Mercurio Total | Bario Total  | Hierro Total | Cinc Total   | Cadmio Total | Cromo Total  | Cobre Total  | Níquel Total | Plomo Total  | Vanadio Total |
|----------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
|                | ng Hg/g p.s.   | μg Ba/g p.s. | μg Fe/g p.s. | μg Zn/g p.s. | μg Cd/g p.s. | μg Cr/g p.s. | μg Cu/g p.s. | μg Ni/g p.s. | μg Pb/g p.s. | μg V/g p.s.   |
| E 551          | 152            | 363          | 52233        | 149          | 4,92         | 100          | 35,6         | 54,5         | 20,9         | 195           |
| E 553          | 104            | 368          | 55546        | 136          | 4,62         | 93,5         | 27,9         | 59,6         | 26,4         | 207           |
| E 556          | 125            | 372          | 52670        | 136          | 4,34         | 99,5         | 30,8         | 56,6         | 23,7         | 201           |
| E 557          | 68,7           | 332          | 46495        | 131          | 4,07         | 82,8         | 24,1         | 50,3         | 20,6         | 202           |
| E 559          | 93,1           | 412          | 38749        | 130          | 4,22         | 81,0         | 25,4         | 67,5         | 24,0         | 188           |
| E 566          | 91,3           | 413          | 43920        | 147          | 4,91         | 95,9         | 32,4         | 59,7         | 14,8         | 229           |
| E 567          | 80,0           | 341          | 39980        | 128          | 4,37         | 82,3         | 31,4         | 50,7         | 20,3         | 203           |
| Referencia PEL | 130            | 130          | -            | 124          | 0,68         | 52,3         | 18,7         | 15,9         | 30,2         | -             |
| Referencia TEL | 700            | -            | -            | 271          | 4,21         | 160          | 108          | 42,8         | 112          | -             |

### 3.2.2.2 Perfiles de sedimento - Piston core

De las 5 estaciones propuestas para la recolección de perfiles de sedimento empleando un piston corer, se lograron recolectar en 2 perfiles con longitudes < 15 cm (E 555 y E 557) y 2 perfiles con longitudes entre 30 y 35 cm (E 553 y E 558), en la estación 556 los dos lances del piston corer fueron fallidos.

En la Figura 55, se presentan los metales analizados en el perfil de sedimento tomado en la estación 553, se observa que cada metal presenta un comportamiento independiente. Para los metales Zn, Cr, Cu y V se observa una disminución en la concentración en las secciones 1 y 2 correspondientes a los primeros 10 cm de perfil, para buscar una correlación en la disminución de la concentración se hace necesario datar un testigo para conocer las tasas de sedimentación y asociar las fechas con cambios en la calidad y cantidad del río Magdalena o algún tipo de intervención en la zona.

En términos generales se evidencia un aumento en la concentración de los metales en el sedimento de profundidades mayores hacia la superficie, para unos metales la tendencia de aumento en la concentración es más marcada.

En la Figura 56, se presentan los metales analizados en el perfil de sedimento tomado en la estación 558, se observa un comportamiento similar a la estación 553 en cuanto a la variación en la concentración de cada metal, sin embargo, la disminución en la

concentración del sedimento hacia la parte superior del perfil entre 10 y 15 cm de profundidad es más acentuada para los metales analizados a excepción de Fe y Ba.

En términos generales se evidencia un aumento en la concentración de los metales en el sedimento de profundidades mayores hacia la superficie, para unos metales la tendencia de aumento en la concentración es más marcada.

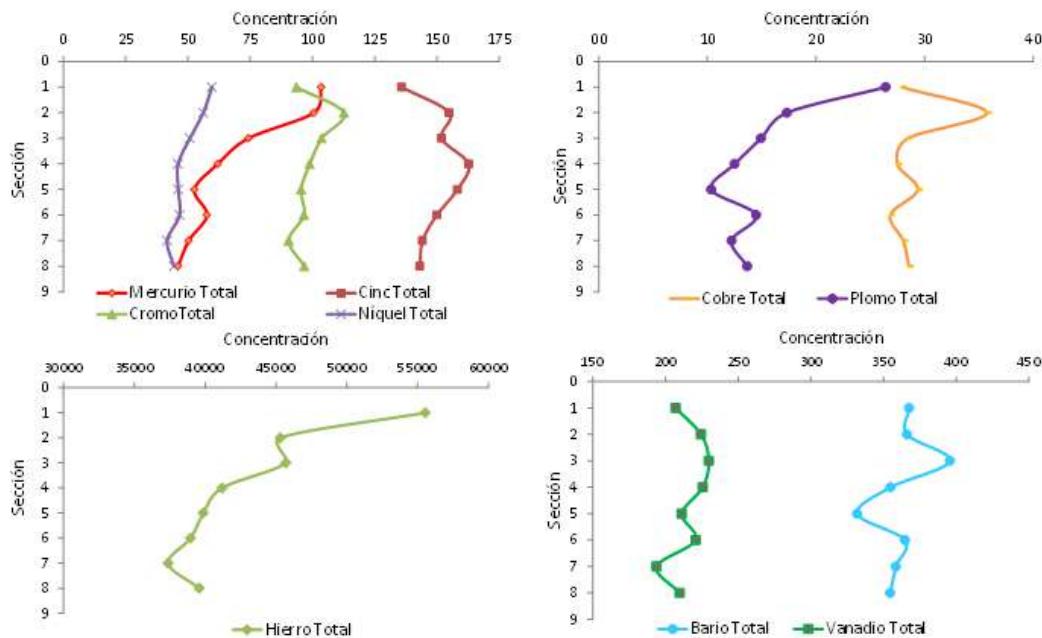


Figura 55. Concentración de metales totales (Hg, Zn, Cr, Ni, Cu, Pb, Fe, Ba y V) en el sedimento tomado con piston corer en la estación 553.

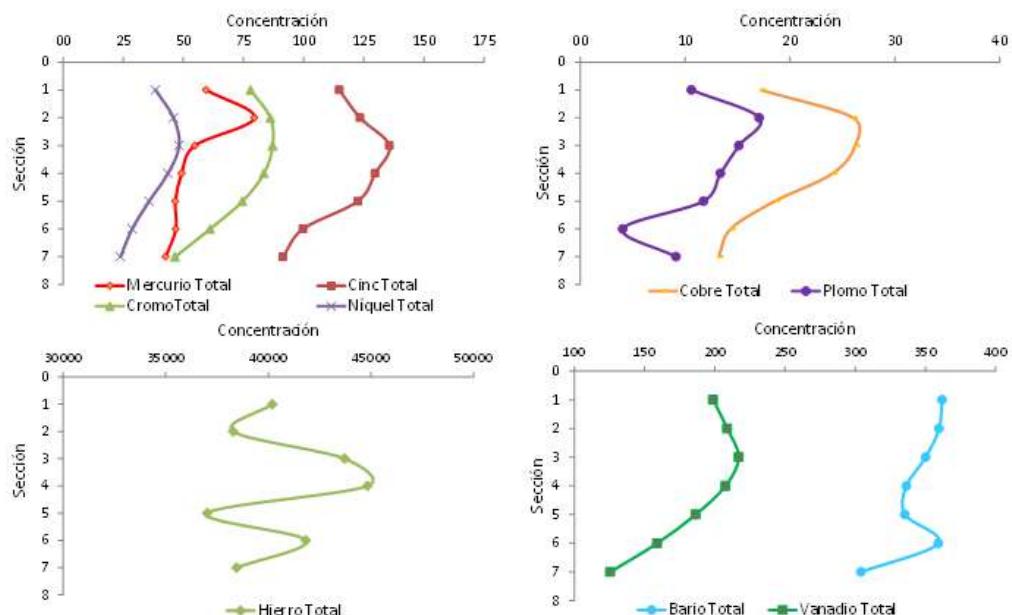


Figura 56. Concentración de metales totales (Hg, Zn, Cr, Ni, Cu, Pb, Fe, Ba y V) en el sedimento tomado con piston corer en la estación 558.

En los perfiles tomados en las estaciones 555 y 557 solo permiten ver la variación en la concentración de los primeros 15 cm de sedimento, no obstante para la estación 555 los metales Fe, Ba, Zn y V presentan una tendencia de aumento en la concentración, mientras que los metales Hg, Cr, Pb y Cu la tendencia es a disminuir en concentración (Figura 57).

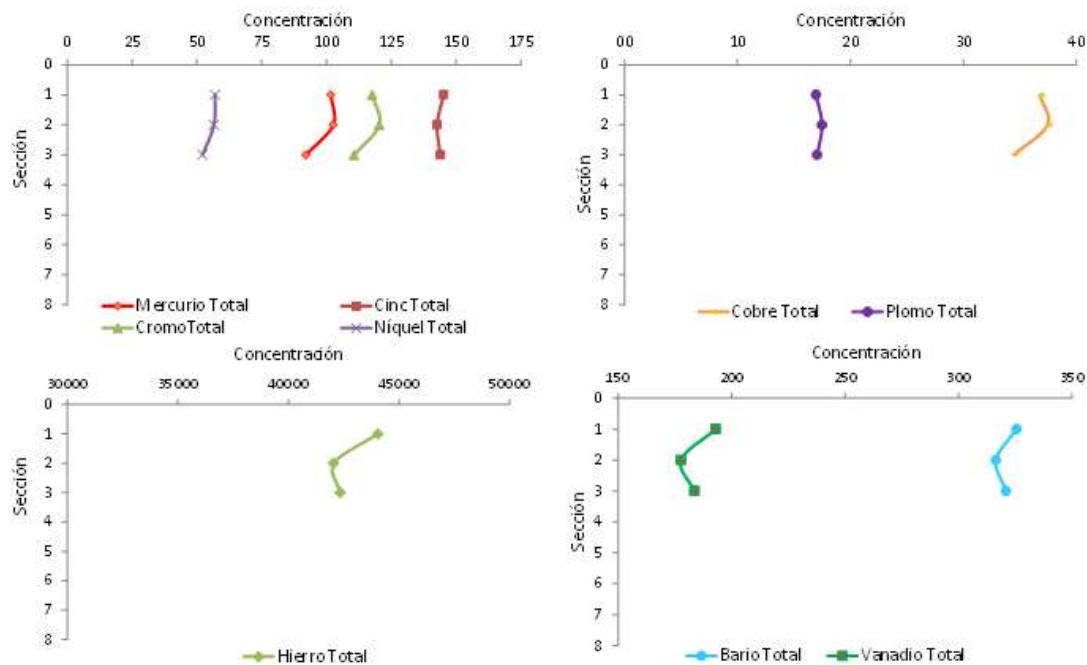
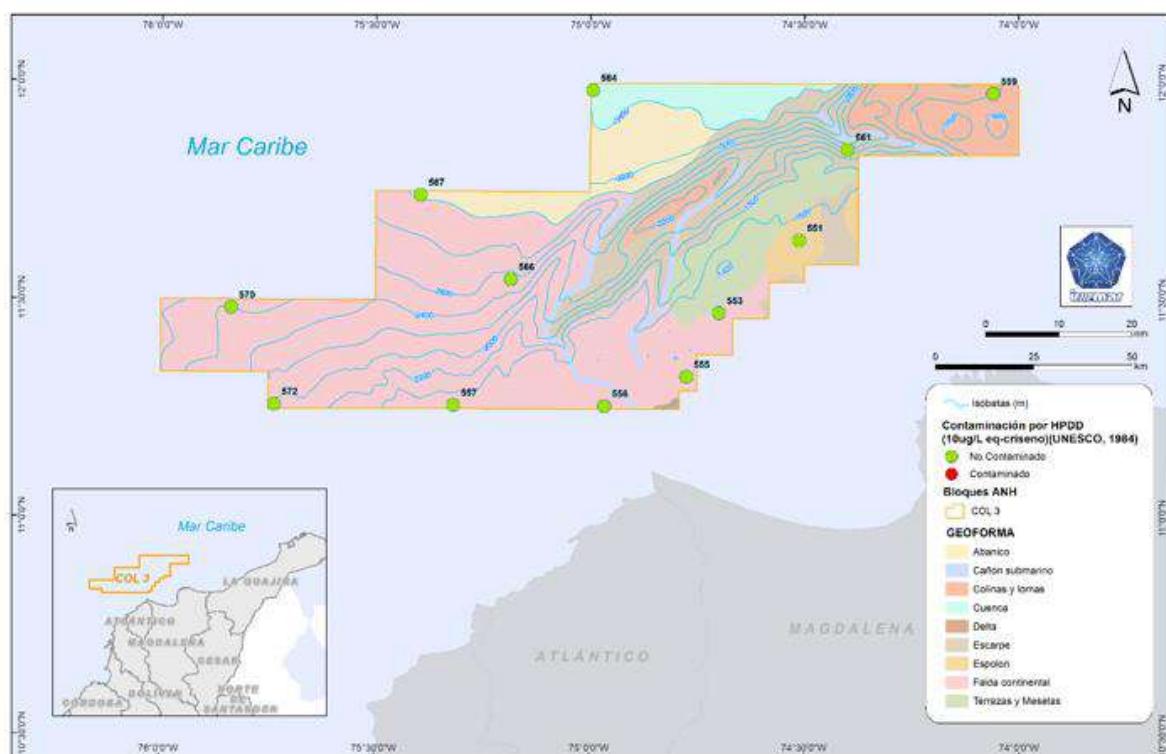
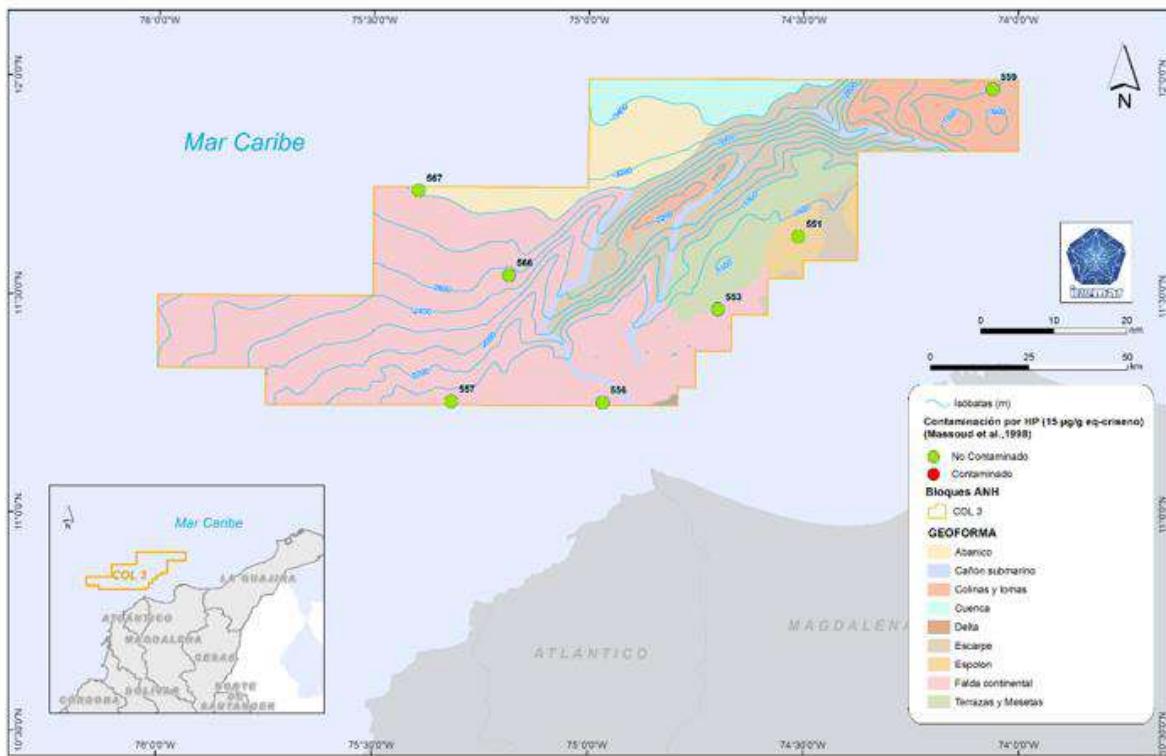


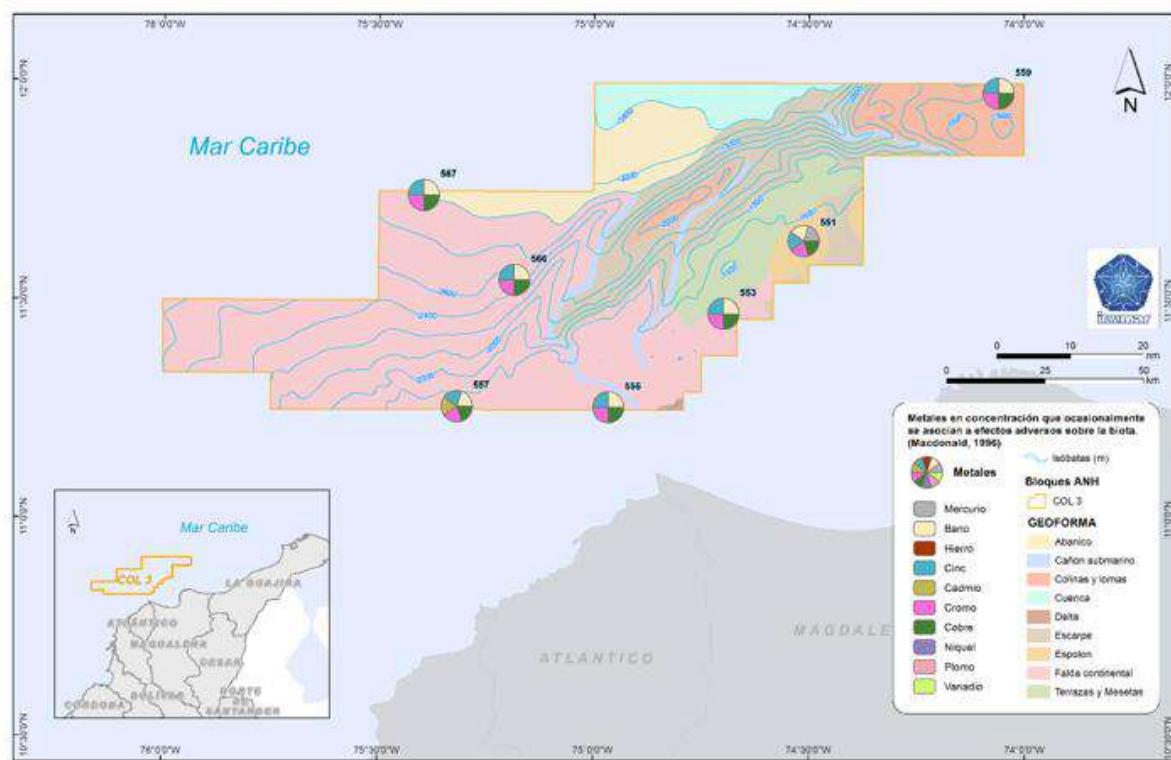
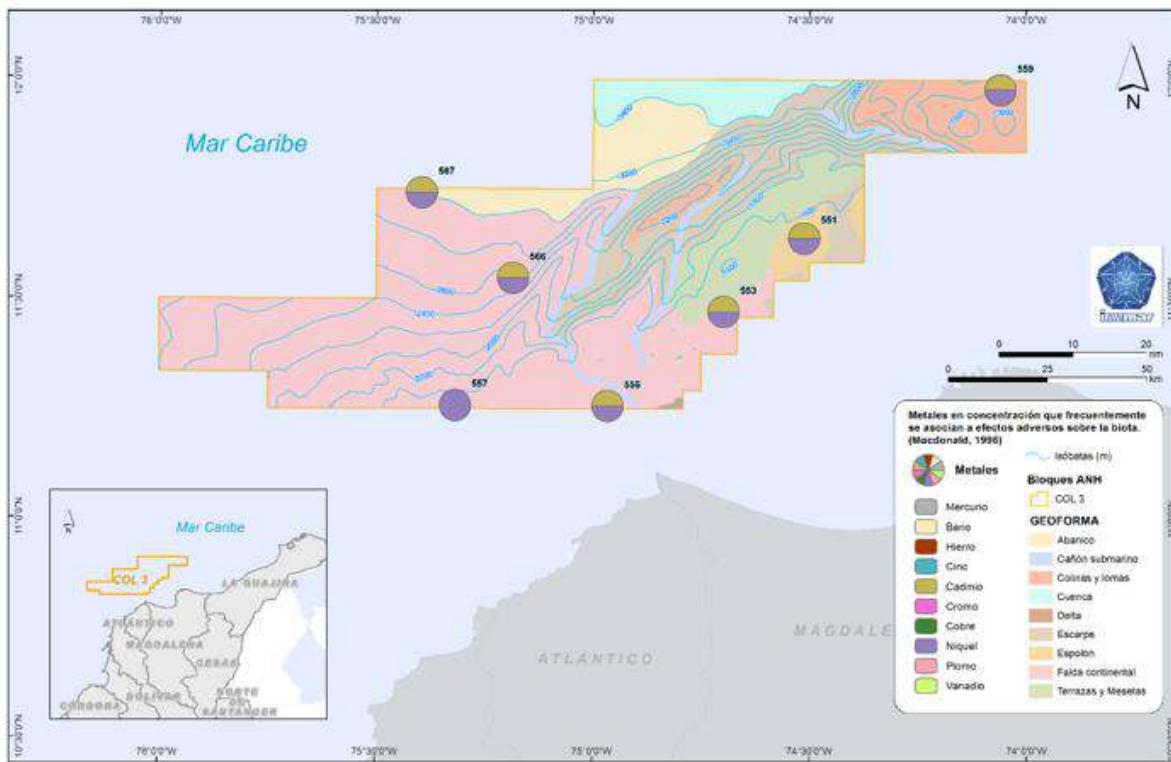
Figura 57. Concentración de metales totales (Hg, Zn, Cr, Ni, Cu, Pb, Fe, Ba y V) en el sedimento tomado con piston corer en la estación 555.

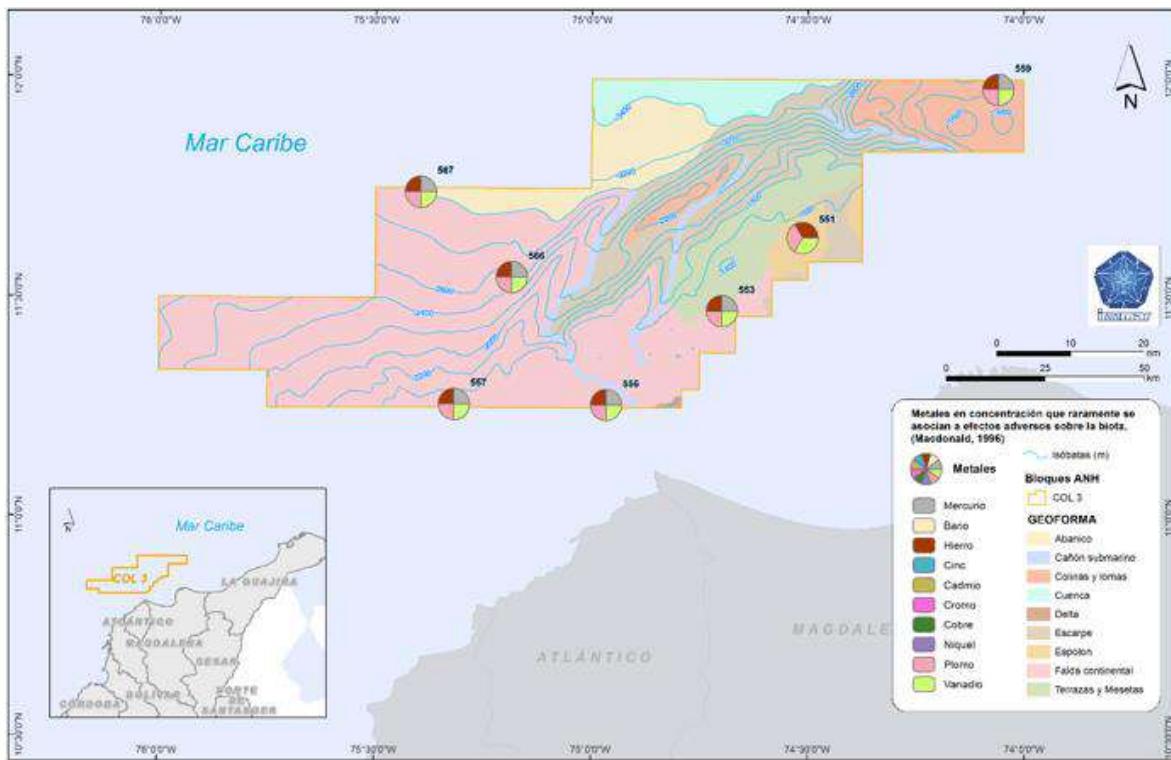
En el presente trabajo no fue posible realizar comparación de variables de calidad de aguas y sedimentos, debido a que en los estudios anteriores para los bloques GUA OFF 3; COL 4 y COL 5; COL 1 y COL 2; no se realizaron mediciones de parámetros de contaminación como metales pesados e hidrocarburos.

### 3.3 Cartografía temática

Se realizaron salidas gráficas de la calidad de aguas y sedimentos con respecto a los resultados más relevantes de hidrocarburos y metales pesados evaluados, los cuales se encuentran a continuación.







## 4 Conclusiones

La calidad del agua del bloque COL3 en términos generales mostró buena calidad. Sin embargo, la disminución de salinidad, los valores de sólidos suspendidos totales y de turbidez muestran la influencia de aguas provenientes del río Magdalena.

La calidad de sedimentos del Bloque COL3 en términos de metales pesados indica niveles de contaminación que pueden generar efectos adversos frecuentes sobre la biota, no obstante en términos de hidrocarburos presentaron buena calidad.

## 5 Recomendaciones

Se debe continuar incluyendo parámetros de contaminación ambiental (metales pesados, hidrocarburos) para la realización de líneas bases de calidad de agua y sedimento marino.

## 6 Bibliografía

APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association) and WEF (Water Environment Federation). 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21 ed. United States of America. 1325 p.

ASTM D422-63(2007)e2, 2007. Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils  
ASTM International, West Conshohocken, PA, 2007.

Benitez, L., Flegal, R., Odigie, K. and Olveros, J., 2016. Pollution by metals and toxicity assessment using *Caenorhabditis elegans* in sediments from the Magdalena River, Colombia. Environmental Pollution 212: 238-250.

Buchman, M. F., 2008. NOAA Screening Quick Reference Tables, NOAA OR\$R Report 08-1, Seattle WA, Office of Response and Restoration Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, 34 pages.

CONAGUA – Comisión Nacional del Agua. 2015. Monitoreo calidad del agua: escalas de clasificación de la calidad del agua superficial. Disponible desde internet en: <http://files.conagua.gob.mx/transparencia/CalidaddelAgua.pdf> (con acceso el 12 de diciembre de 2017).

EPA – Environmental Protection Agency of US. 1996a. Method 3540C-Soxhlet Extraction. Test methods for evaluating, solid waste physical/chemical methods, SW 846. Environmental Protection Agency, office of solid waste and emergency response, Washington, 8 p.

EPA – Environmental Protection Agency of US. 1996b. Method 3052 Microwave Assisted Acid Digestion of Siliceous and Organically Based Matrices. Test methods for evaluating, solid waste physical/chemical methods, SW 846. Environmental Protection Agency, office of solid waste and emergency response, Washington, 20 p.

EPA Environmental Protection Agency of US, 2007. Method 7473. Mercury in solids and solutions by thermal decomposition, amalgamation, and atomic absorption spectrophotometry. Test methods for evaluating, solid waste physical/chemical methods, SW 846. Environmental Protection Agency, office of solid waste and emergency response, Washington, 17 p.

EPA – Environmental Protection Agency of US. 2014. Method 8270D-Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS). Test methods for evaluating, solid waste physical/chemical methods, SW 846. Environmental Protection Agency, office of solid waste and emergency response, Washington, 71 p.

Garay, J., G. Ramírez, J. M. Betancourt, B. Marín, B. Cadavid, L. Panizzo, L. Lesmes, J.E. Sanchez, S.H. Lozano y A. Franco. 2003. Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos: Aguas, sedimentos y organismos. INVEMAR, Santa Marta, 148 p.

ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. 2013. NTC 5403. Calidad de suelo: determinación del carbono orgánico, Bogotá, 15p.

ISO 17289, International Organization for Standardization. 2014. Water quality -- Determination of dissolved oxygen -- Optical sensor method. 14p.

ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. 2008. NTC 5264.  
Calidad del suelo: Determinación del pH. Bogotá, 9p.

Massoud, M., Al-Abdali, F. and Al-Ghadban, A. 1997. The status of oil pollution in the Arabian Gulf by the end of 1993. PII S0160-4120(97)00117-7.

Macdonald, D., Carr, R., Calder, F., Long, E. and Ingersoll, C. 1996. Development and evaluation of sediment quality guidelines for Florida coastal waters. Ecotoxicology; 5(4):253-78.

Restrepo, J., Park, E., Aquino, S. and Latrubesse, E., 2016. Coral reefs chronically exposed to river sediment plumes in the southwestern Caribbean: Rosario Islands, Colombia. Science of the Total Environment 553: 316–329.

Restrepo, J., Orejarena, A. and Torregroza, A., 2017. Suspended sediment load in northwestern South America (Colombia): A new view on variability and fluxes into the Caribbean Sea. Journal of South American Earth Sciences, 80: 340-352.

Strickland, J. D. H. and Parsons, T. R. 1972. A Practical Handbook of Seawater Analysis. Ottawa: Fisheries Research Board of Canada, Bulletin 167 (second edition), 293 pp.

UNEP – United Nations Environment Program, IOC - Intergovernmental Oceanographic Commission e IAEA - International Atomic Energy Agency. 1992. Determination of petroleum hydrocarbon in sediments: reference methods for marine pollution studies N° 20. 75 p.

UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 1984. Manual para la vigilancia del aceite y de los hidrocarburos del petróleo disueltos/dispersos en el agua de mar y en las playas. Manuales y guías No. 13 de la COI. 87 p.

UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 1982. Determinación de los hidrocarburos del petróleo en los sedimentos. Manuales y guías N° 11 de la COI. 35 p.

### III. CARACTERIZACIÓN DE COMUNIDADES BIOLÓGICAS

*Karen Ayala, Fernando Dorado, Eugenia Escarria, Jose Gutierrez, Karla Contreras, Adibe Cárdenas, Carlos Benítez, Eliana Barrios, Israel Caicedo, María Mutis, Leonel Fernández, Sandra Pareja, Sara Guzmán, Juan Sebastián Cortes, Erika Montoya-Cadavid, Laura Londoño, Manuel Garrido, Cristina Cedeño y Catalina Arteaga.*

#### 1 Alcance

En este capítulo se describe la caracterización de las comunidades biológicas asociadas a la columna de agua denominadas como placton. Esta comunidad está dividida en dos grupos: el fitoplancton y el zooplancton. De igual forma, se incluye en el capítulo, la caracterización de las comunidades bentónicas infaunales, es decir aquellas conformadas por organismos que habitan los fondos sedimentarios. En dependencia del tamaño del tamiz utilizado para su separación del resto inerte del sedimento, se pueden evaluar organismos de la macrofauna (mayores a 500 µ) o de la meiofauna (entre 250 y 125 µ).

Se describen además los organismos tetrápodos observados durante el crucero de investigación; el término tetrápodos hace referencia a aquellos animales vertebrados que poseen dos pares de extremidades (Kardong, 2007). En los océanos, los grupos que cumplen estas características son los de las tortugas, las aves y los mamíferos acuáticos. Cada uno con diferentes e importantes funciones en el ecosistema.

En cada subsección describiendo cada comunidad, se incluye la importancia de su estudio, la metodología para su estudio y se presentan los principales hallazgos dentro de las colectas realizadas sobre el bloque COL3.

#### 2 Problema y justificación

A partir de la información producida entorno a la biodiversidad presente en el talud superior continental (Invemar, 2010) y la necesidad de las empresas del sector de hidrocarburos en aprovechar el gran potencial de recursos energéticos, en busca de una futura estabilidad energética, la ANH e INVEMAR durante una década, han emprendido exploraciones desde el margen continental hasta los 4000 m de profundidad (INVEMAR-ANH, 2008, INVEMAR-ANH, 2010, INVEMAR-ANH, 2012, INVEMAR-ANH, 2013, Garrido et al., 2014a, Garrido et al., 2014b, Vides y Alonso, 2016).

Gracias a estos estudios se ha evidenciado que los fondos marinos profundos ya no deben ser considerados como sistemas estables y poco productivos, pues en ellos se hallan multiplicidad de geoformas y condiciones oceanográficas que proveen el hábitat apropiado para el asentamiento de especies estructurantes agregadoras de organismos (Reyes et al. 2005; Santodomingo et al. 2012).

La generación de nuevo conocimiento junto con el avance científico en profundidades poco exploradas del país y el manejo responsable de los recursos hacen parte de la misión del INVEMAR. Al identificar la composición y estructura de las comunidades de organismos marinos presentes en áreas sujetas a intervención, mediante la proposición de hipótesis que expliquen dichos patrones de distribución y determinando las áreas de mayor abundancia, riqueza y diversidad de especies, se proporciona información útil a las autoridades ambientales en el manejo de las áreas marinas colombianas.

### 3 Desarrollo/Hallazgos/Resultados

#### 3.1 Comunidad planctónica

El plancton es considerado como una de las comunidades más importantes para el ecosistema pelágico, ya que es la comunidad encargada de controlar el flujo de materia y energía entre el medio ambiente y los seres vivos (Raymont, 1983; Bathmann *et al.*, 2001). También es de gran utilidad como bioindicador del estado ecológico de los sistemas acuáticos (Daly y Smith, 1993; Pinel-Alloul, 1995), debido a que los diferentes ensamblajes que conforman el plancton son altamente sensibles a las condiciones físicas, geomorfológicas y meteorológicas del sistema, y responden a dichos cambios modificando su estructura para adaptarse a las nuevas condiciones del medio (Parsons *et al.*, 1984; Angel, 1993).

Recientes estudios han demostrado que esta comunidad interviene en eventos de macroescala, como el cambio climático, captando importantes cantidades de dióxido de carbono de la atmósfera y depositándolos en los fondos oceánicos, disminuyendo así el efecto de este gas de invernadero (Franco-Herrera *et al.*, 2006). También cumplen un rol en la migración, desplazamiento y colonización de larvas y juveniles, ampliando zonas biogeográficas a través del movimiento producido por las corrientes, las mareas y el oleaje que los transportan (Mujica, 2006).

Esta comunidad es dividida principalmente en dos grupos: el primero es el fitoplancton, conformado principalmente por microalgas, las cuales sintetizan su propio alimento al igual que la mayoría de plantas terrestres y acuáticas, fijando el carbono inorgánico y transformándolo en materia orgánica disponible para los niveles tróficos superiores de ecosistemas pelágicos y bentónicos (Dawes, 1986). El segundo grupo es el zooplancton, constituido por organismos heterótrofos, es decir, individuos que no pueden sintetizar su alimento y lo obtienen de su entorno, bien sea mediante filtración de microalgas (herbívoros) o ingestión de materia orgánica (detritívoros o carnívoros). El zooplancton está conformado en su mayoría por invertebrados marinos, los cuales pueden pasar todo su ciclo de vida habitando el plancton (holoplancton) o solo durante una parte de su ciclo de vida (meroplancton). En este último grupo se incluyen los huevos y larvas de peces como representantes de los vertebrados marinos, conocidos como ictioplancton (Boltovskoy, 1981; Parsons *et al.*, 1984).

### 3.1.1 Metodología

Las muestras de este componente fueron colectadas durante la campaña de investigación desarrollada entre el 18 de septiembre y el 14 de octubre del 2017. Se tomaron muestras en ocho estaciones efectivas y se colectaron un total de 32 muestras biológicas por componente (fitoplancton, zooplancton e ictioplancton), para el análisis de plancton marino (Figura 58).

#### 3.1.1.1 Fitoplancton

Para la caracterización del componente fitoplánctonico, se tomaron ocho muestras de red (cualitativas), con poro de malla de 20 µm; estas se fijaron con formolina al 4% neutralizado con tetraborato de sodio. Además, se tomaron 24 muestras con botellas Niskin (análisis cuantitativo) a tres profundidades: masa 1 M1 (30 m), masa 2 M2 (80 m) y masa 3 M3 (250 m), que fueron fijadas con lugol en proporción 1:100.

Con el fin de almacenar y manipular los organismos, las muestras del componente plantónico fueron trasladadas a las instalaciones del Museo de Historia Natural Marina de Colombia – MAKURIWA, siguiendo los protocolos establecidos por el Museo para el buen manejo de las muestras biológicas y en el laboratorio

De las muestras obtenidas con red para los análisis cualitativos, se revisaron de cada muestra en promedio cinco alícuotas de un mililitro cada una, en un microscopio Leica DMi1 con un aumento de 20X y 40X (Figura 59).

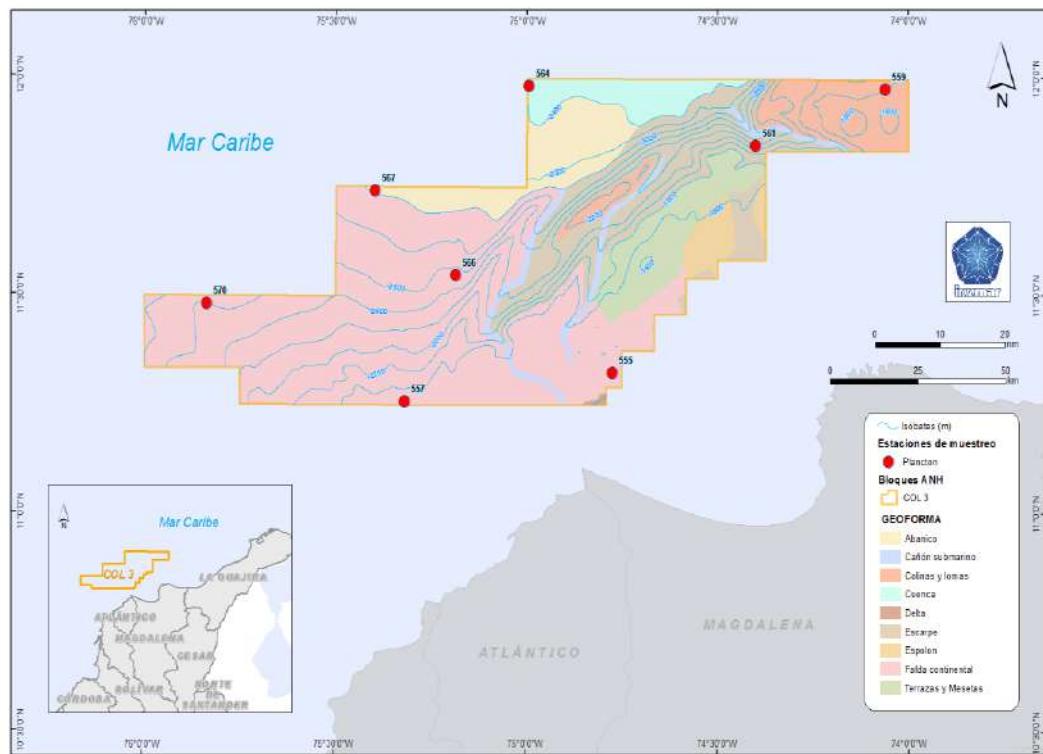


Figura 58. Distribución de las estaciones donde se realizó la colecta del componente planctónico.

El número de alícuotas se estableció mediante una gráfica de morfoespecies acumulada (Ramírez, 1999). Los organismos observados, se identificaron al nivel más bajo posible y se agruparon en los grupos taxonómicos del fitoplancton (diatomeas, dinoflagelados, cianobacterias etc.), utilizando las guías taxonómicas de Cupp (1943), Wood (1963), Balech (1988), Round (1990), Tomas (1997) y Vidal (2010). Para los posteriores análisis, la información obtenida de la identificación se tabuló en hojas de cálculo, reportando únicamente la presencia de cada morfo-especie por estación muestreada (matriz presencia-ausencia).

Para el análisis cualitativo, a la matriz de presencia-ausencia realizada con las muestras de red, se agregaron las morfoespecies identificadas en las muestras de botellas. Esto se realizó con el fin de ampliar la información y generar una descripción completa de la comunidad. Con esta nueva matriz, se realizó una descripción general teniendo en cuenta el número de morfoespecies en cada uno de los grupos taxonómicos, desde especie hasta phylum. Esta descripción se realizó a nivel porcentual y solo en el caso de los dos grupos más representativos (dinoflagelados y diatomeas) se realizó una descripción más detallada, mencionando el porcentaje y número de morfoespecies por cada grupo taxonómico menor (familia, género y especie).

Para el análisis cuantitativo, inicialmente a los valores de la matriz obtenida con las botellas, se estandarizaron a células por litro (cel/L), realizando una regla de tres simple teniendo en cuenta el número de organismos encontrados en los 50 y 100 mL de muestra revisada y extrapolándolo al volumen de un litro. Teniendo en cuenta los datos de abundancia (N), se describió la comunidad fitoplancónica a nivel de la columna de agua, indicando las morfoespecies más abundantes. Luego se realizó una descripción ecológica, para ello se utilizaron los valores de los principales atributos ecológicos univariados: riqueza (S), diversidad de Shannon ( $H'$ ), uniformidad de Pielou (J) y dominio de Simpson ( $\lambda$ ).

Por otro lado, la matriz de densidad se transformó siguiendo las recomendaciones Taylor (1961). Para esto se tomó el logaritmo promedio y logaritmo de desviación de los datos, con dichos valores se realizó un gráfico de dispersión, donde el valor (y) de la ecuación igual a 0,8261 mostro la transformación con la expresión matemática "raíz cuarta"; luego se determinó alguna tendencia utilizando el análisis descriptivo multivariado no paramétrico de Clasificación Cuantitativa (CLUSTER), que está basado en una matriz triangular de similitud (Índice de Bray-Curtis), seguidamente, se realizó un procedimiento de permutación no paramétrico (ANOSIM) a una vía que produce un estadístico R, que es una medida relativa de la separación entre los grupos definidos que varía entre 0 y 1. Valores positivos y cercanos a 1, indican baja similitud entre los grupos; mientras que, valores bajos cercanos a 0 indican alta similitud entre grupos. Además, un valor-p que nos muestra el nivel de significancia.



Figura 59. Identificación de organismos fitoplanctónicos en microscopio óptico invertido.

Adicionalmente, a estas asociaciones se les realizó un SIMPER para determinar las morfoespecies que las caracterizan y diferencian. Por último, para poder encontrar una correlación de las concentraciones de nutrientes con respecto a la estructura de los ensamblajes fitoplanctónicos, se realizó el análisis multivariado BIOENV.

Para la obtención de todos los atributos ecológicos univariados y la realización de los diferentes procedimientos multivariados, se utilizó el programa estadístico Primer-E V. 6 (Clarke y Warwick, 1994).

De las muestras obtenidas con botellas para los análisis cuantitativos, se realizó una variación del método Utermöhl propuesto por Margalef (1969), que se encuentra detallado en los manuales de fitoplancton de Edler y Elbrächter (2010). La muestra se homogenizó y de esta se sedimentó 50 ó 100 ml en una cámara Utermöhl durante 28 ó 55 horas respectivamente. Luego de este período, los organismos sedimentados en las placas, fueron observados en un microscopio invertido Leica DMi1 con un aumento de 40X y 63X, se contabilizaron e identificaron en su totalidad hasta el nivel taxonómico más bajo posible, siguiendo las mismas claves taxonómicas utilizadas en el análisis cualitativo. Para los análisis posteriores, la información obtenida fue tabulada en una matriz tipo hoja de cálculo, anotando el conteo por organismos identificado en cada uno de los estratos de cada estación muestreada.

### 3.1.1.2 Zooplancton

Para los componentes de zooplancton e ictioplancton se realizaron arrastres verticales, usando una red cónica simple de 2, 2 m de longitud, 62 cm de diámetro y poro de malla de 200 µm y 500 µm, respectivamente. A la red se le adjunto un flujómetro (ubicado en la boca de la red) con el fin de determinar el volumen de agua filtrado.

Estos arrastres se realizaron con un sistema de apertura-cierre, en los primeros 1.000 m de profundidad en la columna de agua, quedando conformadas las cuatro masas de agua de la siguiente manera: masa 1 M1 (0 – 60 m), masa 2 M2 (70 – 140 m), masa 3 M3 (170 – 340 m) y masa 4 M4 (540 – 1000 m). Las muestras se preservaron y se conservaron con formalina neutralizada con bórax (tetraborato de sodio) en un frasco

plástico de 500 mL previamente rotulado, quedando la solución final al 4 % de concentración (Boltovskoy, 1981).

Previo al análisis del componente, las muestras fueron homogenizadas y mediante un fraccionador Folsom, se dividieron según la densidad de cada muestra en 1/2, 1/4, 1/8 o 1/16 partes, siguiendo las indicaciones de Boltovskoy (1981). Dicha fracción analizada fue identificada en su totalidad empleando cajas de Petri, placas Bogorov de 5 mL, porta objetos, agujas, pinzas, pinceles y pipetas Pasteur plásticas. Se empleó un microestereoscopio marca Leica serie DFC-450 que permite identificar y capturar imágenes de manera rápida en alta definición de los organismos presentes en la muestra (Figura 12), así como un microscopio Primo Star marca Zeiss para las identificaciones específicas. Tras obtener las imágenes de los organismos se realizó la identificación taxonómica para su respectivo análisis cualitativo y cuantitativo.

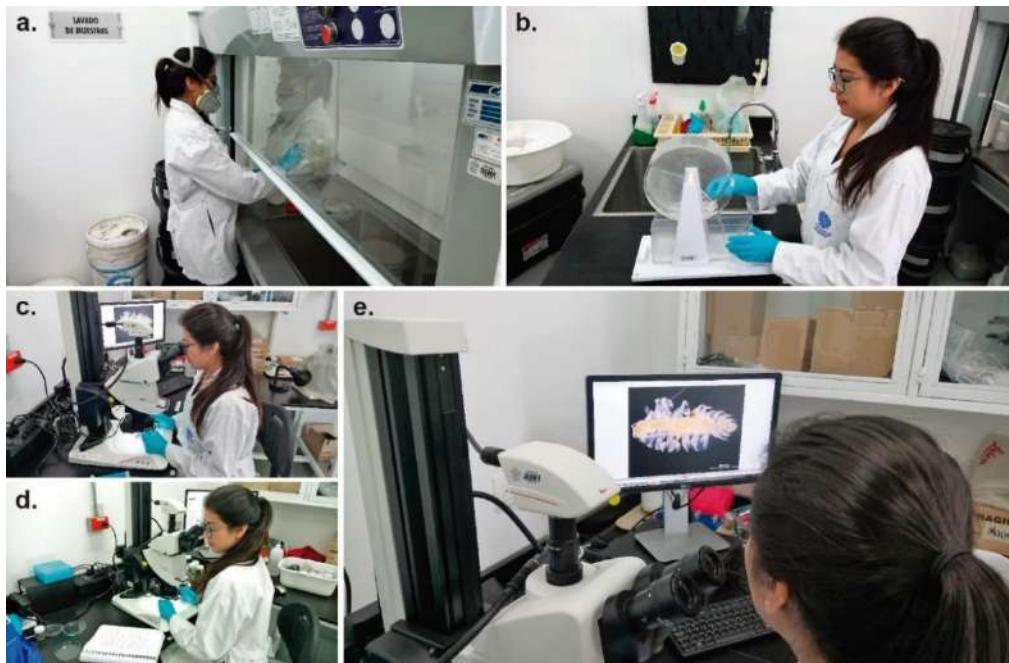


Figura 60. Procedimiento de laboratorio para la revisión de las muestras de zooplancton. A. Extracción de la formalina. B. Uso del fraccionador Folsom. C. revisión de las muestras con estereoscopio. D. Uso de claves para la identificación de las especies. E. Toma de fotografía de las especies más abundantes, frecuentes o con alguna importancia ecológica.

Para llevar a cabo el análisis cualitativo se generó una matriz de presencia-ausencia agrupada en donde se fusionó la información obtenida de las muestras de redes de zooplancton del bloque, recopilando la información tanto taxonómica como de composición del zooplancton en cada una de las masas evaluadas. Se realizó una descripción general y detallada en cada una de las jerarquías taxonómicas, teniendo en cuenta el número de morfos/especie por taxón y la frecuencia de aparición. Por último, también se realizó una descripción gráfica por phylum, teniendo en cuenta las estaciones muestreadas.

Para el análisis cuantitativo se estandarizaron los valores de la matriz cualitativa a individuos por metro cubico ( $\text{Ind}/\text{m}^3$ ), para ello se multiplicó el conteo por el factor de

división Folsom y se dividió por el volumen muestreado en cada arrastre (Boltovskoy, 1999).

Las muestras fueron identificadas al nivel taxonómico más bajo posible siguiendo las guías, listados y claves taxonómicas de Boltovskoy (1981), Bjorberg (1981), Nishida (1985), Boxshall y Halsey (2004), Boltovskoy (1999), Alvariño (1971), Rocha y Matsumura (1976), Gaviria y Aranguren (2003), Gasca (2003) Medellín-Mora *et al.* (2009), y Medellín-Mora y Navas (2010).

Con el fin de analizar los atributos ecológicos de la comunidad y conocer las características que la definen, se llevaron a cabo análisis descriptivos para determinar la composición en términos de riqueza y abundancia. De tal forma se llevó a cabo (1) una descripción general y geográfica con los atributos ecológicos univariados, detallando el atributo de la abundancia según la composición de familias. Se utilizó la matriz de densidad transformada con raíz cuarta (reduciendo el efecto de las especies raras y muy abundantes). (2) Un análisis multivariado (CLUSTER) para determinar alguna asociación. En este punto, la transformación inicial se realizó con raíz cuarta en las cuatro capas de agua. (3) También se determinó estadísticamente (ANOSIM), para establecer si existían diferencias en las asociaciones encontradas. (4) Se encontraron las familias que caracterizaban cada asociación (SIMPER). (5) Finalmente, se correlacionaron las concentraciones de los nutrientes con la estructura comunitaria (BIOENV). Todos estos análisis, se realizaron en el programa estadístico Primer-E V. 6 (Clarke y Warwick, 1994).

### 3.1.1.3 Ictioplancton

Las larvas y huevos de peces presentes se removieron y cuantificaron en su totalidad de la muestra, utilizando un estereoscopio marca Leica con aumento de 40X, micropinzas, pinceles y cajas de Petri. La identificación taxonómica se realizó hasta la menor categoría taxonómica posible (familia, género y/o especie), con base en los caracteres merísticos y de pigmentación propuestos por Smith (1977), Ciechomski (1981), Lasker (1981), Matsuura y Olivar (1999), y con las claves de identificación propuestas por Moser (1996), Beltrán-León y Ríos (2000), Richards 2006 y Fahay 2007. Cada larva identificada fue preservada dentro de viales plásticos inmersos en una solución al 2% de formaldehido neutralizado con Tetraborato de Sodio, siguiendo los lineamientos para su ingreso a la colección del MHNMC (Figura 61).

Para el análisis cualitativo, se realizó una matriz de datos con la información obtenida en las estaciones de muestreo del bloque COL3, donde se relacionaron los morfotipos identificados (familia y/o especie) con el número de individuos colectados, permitiendo obtener al final la información de la composición del ictioplancton dentro del bloque hasta los 1.000 m de profundidad.



Figura 61. Procedimiento de separación e identificación de muestras de ictioplancton. Estereoscopio Leica (A); separación de larvas de peces en cajas de Petri con micropinzas (B); muestra de ictioplancton (C) y larvas de peces separadas, identificadas, almacenadas y rotuladas para ingreso a la colección (D).

A partir de esta matriz se realizó una descripción general de cada una de las familias encontradas en el bloque, teniendo en cuenta el número de géneros o especies (en los casos donde se haya llegado hasta éste nivel taxonómico) o individuos por familia y frecuencia de aparición. Adicionalmente se realizó una descripción gráfica detallada de las familias más predominantes destacando los géneros y/o especies pertenecientes a las mismas. Para el cálculo de la abundancia ictioplánctonica en cada estación, el número de larvas de peces contabilizadas, se dividió por el volumen de agua filtrada y se multiplicó por un factor de 1000, quedando la unidad en términos de larvas por 1.000 metros cúbicos (larvas/1.000 m<sup>3</sup>).

Inicialmente se realizaron tres análisis multivariados para determinar si existían diferencias entre las masas de agua: un análisis de agrupación jerárquica (CLUSTER), un análisis de similitud (ANOSIM) y una prueba de hipótesis basada en permutaciones (PERMANOVA), que permitió corroborar la existencia o no de diferencias basado en las abundancias de cada taxón y la magnitud de cambio entre grupos. Posteriormente se realizó el cálculo de los atributos ecológicos (Diversidad, Uniformidad y Predominio) a partir de la abundancia relativa del ictioplankton. Para describir el ensamblaje ictioplánctónico en cada una de las masas de agua se realizó una descripción general y

geográfica de los atributos univariados, detallando la abundancia según la composición de familias, excluyendo de la interpretación las estaciones cuyo número de familias fue uno; un análisis multivariado (CLUSTER) donde se estableció posibles patrones de distribución espacial; para ello, los datos de abundancia en términos de familia se transformaron siguiendo las recomendaciones de Taylor (1961). La prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis estableció las diferencias significativas entre las asociaciones formadas. Todos estos análisis se realizaron en el programa estadístico Primer-E V6 + PERMANOVA (Clarke y Warwick, 2001).

Una vez identificados los patrones bióticos, se intentó establecer la forma en que estos responden a los parámetros ambientales disponibles. Para este propósito se utilizó el análisis “Biota and/or Environment Matching” BIO-ENV del programa PRIMER V6.

## 3.2 Resultados comunidad fitoplanctónica

### 3.2.1 Análisis cualitativo

A partir de las muestras obtenidas en el bloque, se identificaron un total de 351 morfoespecies distribuidas en 72 géneros, 52 familias, 31 órdenes, 12 clases y ocho phyla (Miozoa, Bacillariophyta, Cyanobacteria, Chlorophyta, Ochrophyta, Cryptophyta, Charophyta, Haptophyta). De las 351 morfoespecies, 48 fueron llevadas hasta especie, 241 a género, 53 a clase, tres a familia y seis diatomeas (Bacillariophyta) pudieron ser identificadas hasta phylum. De los ocho phyla hallados en este bloque, los phyla Miozoa y Bacillariophyta suman 92,02% de representatividad total del bloque, el phylum Miozoa perteneciente al grupo de los dinoflagelados fue el que presento mayor riqueza con un total de 214 morfoespecies lo que le atribuye el 60,97% del total de la representatividad, seguido del phylum Bacillariophyta perteneciente al grupo de las diatomeas con 109 morfoespecies representando el 31,05%, mientras que los otros seis phyla en conjunto solo representan el 7,98% (Tabla 11).

Tabla 11. Representatividad de las morfoespecies en cada grupo fitoplanctónico presente en el bloque COL3.

| PHYLUM                 | Grupos fitoplanctónicos | No. de morfoespecies | Representatividad (%) |
|------------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------|
| <b>Miozoa</b>          | Dinoflagelados          | 214                  | 60,97                 |
| <b>Bacillariophyta</b> | Diatomeas               | 109                  | 31,05                 |
| <b>Cyanobacteria</b>   | Cianobacterias          | 17                   | 4,84                  |
| <b>Chlorophyta</b>     | Clorofitas              | 5                    | 1,42                  |
| <b>Ochrophyta</b>      | Silicoflagelados        | 3                    | 0,85                  |
| <b>Cryptophyta</b>     | Criptofitas             | 1                    | 0,28                  |
| <b>Charophyta</b>      | Carofitas               | 1                    | 0,28                  |
| <b>Haptophyta</b>      | Cocolitofóridos         | 1                    | 0,28                  |
| <b>Total</b>           |                         | 351                  | 100                   |

En términos de riqueza los géneros que aportan mayor número de morfoespecies para el bloque son los dinoflagelados *Tripos* ( $n=49$ ), *Protoperidinium* ( $n=16$ ), *Gyrodinium* ( $n=13$ ) y las diatomeas *Chaetoceros* ( $n=26$ ), *Navicula* ( $n=11$ ), *Rhizosolenia* ( $n=8$ ) y *Nitzschia* ( $n=6$ ). En términos de frecuencia, se encontraron 34 morfoespecies presentes en las ocho estaciones muestreadas, mencionando las especies de diatomeas más frecuentes, *Guinardia cf. striata*, *Chaetoceros laciniosus*, *Chaetoceros cf. diversus*, *Chaetoceros peruvianus*, *Leptocylindrus danicus* y los dinoflagelados *Ornithocercus magnificus* y *Tripos kofoidii*, además el Silicoflagelado *Dictyocha fibula* y la criptomona *cf. Cryptomonadaceae 1* (Figura 62).

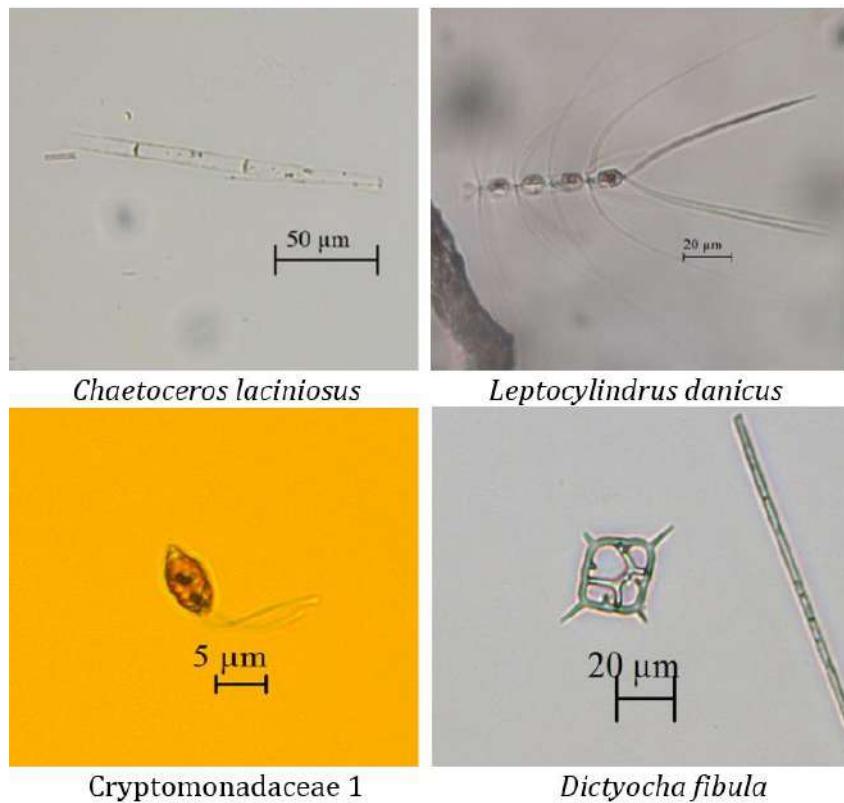


Figura 62. Algunas especies frecuentes del fitoplancton encontradas en el bloque COL3.

En el grupo de los dinoflagelados se identificaron dos morfoespecies hasta el nivel de familia representando el (0,93% del total de dinoflagelados), 39 morfoespecies hasta el nivel de clase, agrupándose estos en una única clase Dinophyceae representando el (18,23% del total de dinoflagelados), las otras 173 morfoespecies (80,84% del total de dinoflagelados) se identificaron hasta nivel de género o especie.

Los dinoflagelados se dividieron en ocho órdenes, dos de los cuales Dinophysiales y Gonyaulacales suman el 58,96% del total de los dinoflagelados presentes en este bloque, siendo el orden Gonyaulacales (dinoflagelados tecados) el de mayor representatividad con el 35,26% del total de los ocho órdenes (Figura 63A). A su vez, este orden presentó cinco familias taxonómicas, siendo Ceratiaceae con su único género *Tripos*, el más representativo, ya que en esta familia se identificaron 49 morfoespecies (80,33%) de las 61 del orden (Figura 63B). Las morfoespecies de este género más

frecuentes fueron *Tripos kofoidii* y *Tripos sp2*, presentes en las ocho estaciones del bloque (Figura 64).

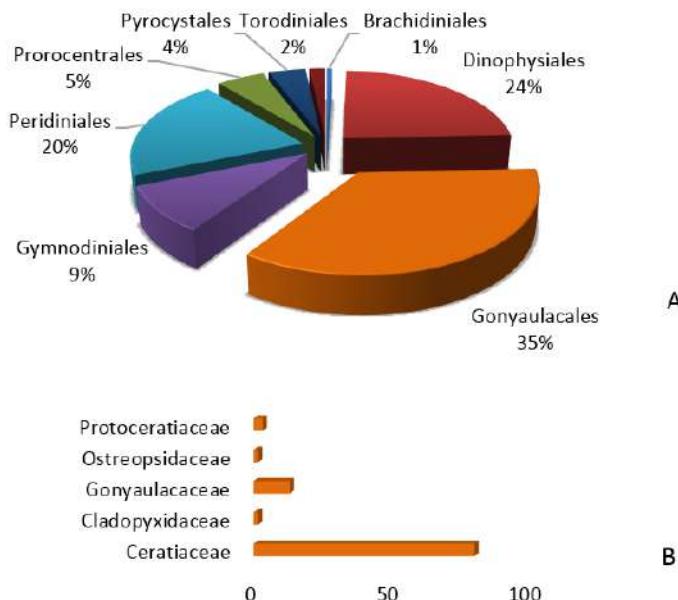


Figura 63. Representatividad porcentual de los dinoflagelados identificados en el bloque COL3. Órdenes de la clase Dinophyceae (A) y familias del orden Gonyaulacales (B).

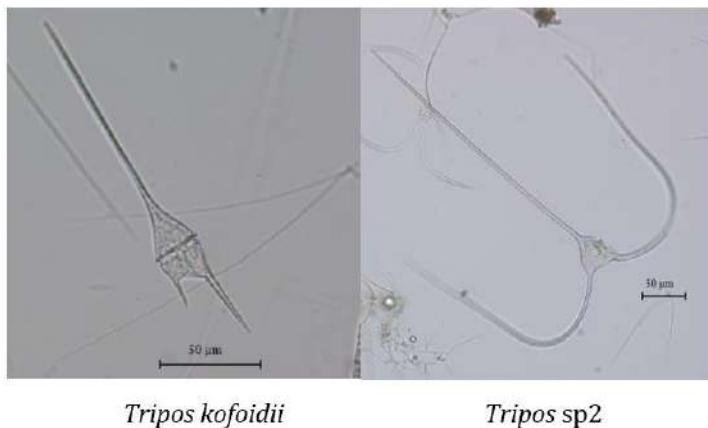


Figura 64. Algunas especies de dinoflagelados frecuentes encontrados en el bloque COL3.

En el grupo de las diatomeas se identificaron seis morfoespecies hasta el nivel de phylum (5,51% del total de diatomeas), se identificaron tres morfoespecies hasta el nivel de clase agrupándose en la clase Coscinodiscophyceae representando el (2,75% del total de diatomeas), las otras 100 morfoespecies (91,74% del total de diatomeas) se identificaron hasta nivel de género o especie.

Las diatomeas se agruparon en tres clases, siendo Mediophyceae la que más de ellas agrupo (38,83% del total de diatomeas), seguida de la clase Bacillariophyceae (31,07% del total de diatomeas), mientras que las otras morfoespecies se agruparon en la clase Coscinodiscophyceae (30,10% del total de diatomeas). En la primera clase, se

identificaron seis órdenes, de los cuales solo uno de ellos (Chaetoceratales) obtuvo el 75% de representatividad (Figura 65A). Este orden presentó dos familias taxonómicas Leptocylindraceae y Chaetocerotaceae esta última con el (96,67%) de representatividad. La familia Chaetocerotaceae presentó nueve géneros de los cuales Chaetoceros es el género más representativo con 26 morfoespecies (65%) de las 40 de la familia (Figura 65B). Las morfoespecies de este género más frecuentes fueron *Chaetoceros laciniosus*, *Chaetoceros cf. diversus*, *Chaetoceros peruvianus*, presentes en las ocho estaciones muestreadas del bloque COL3 (Figura 66).

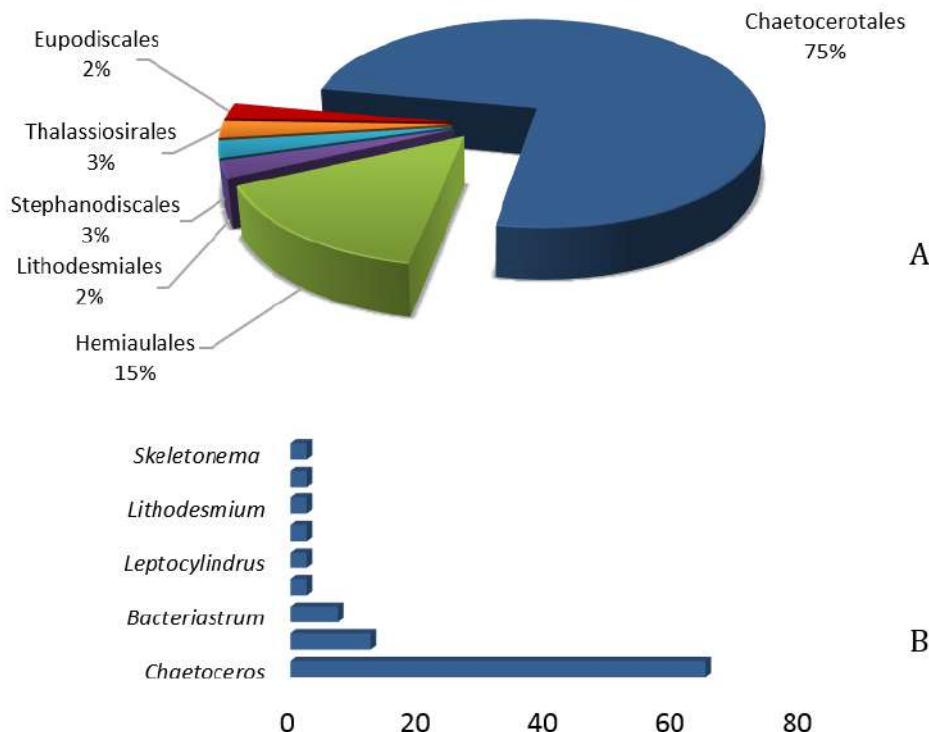


Figura 65. Representatividad porcentual de las diatomeas identificadas en el bloque COL 2. Órdenes de la clase Mediophyceae (A) y géneros de la familia Chaetoceratales (B).

### 3.2.2 Análisis cuantitativo

De las muestras colectadas con botella en los bloques COL3, se identificaron 187 morfoespecies, de las cuales, el 92,51% pertenecieron a los grupos fitoplanctónicos dinoflagelados y diatomeas con 90 y 83 morfoespecies respectivamente. El otro 7,49%, estuvo representado por cianobacterias ( $n=7$ ), silicoflagelados ( $n=3$ ), clorófitas ( $n=2$ ), Criptófitas ( $n=1$ ) y Cocolitofóridos ( $n=1$ ). La densidad celular total en las ocho estaciones analizadas fluctuó entre 90 y 16920 cel/L ( $3561 \pm 828$  cel/L). La estación E564 M3 ubicada al norte del bloque fue la de menor abundancia y la E555 M1 ubicada al sur del bloque la de mayor abundancia, esta última siendo la más cercana a la costa. Las diatomeas presentaron la mayor densidad en este estudio ( $1693,33 \pm 3,93$ ), representando el 47,55% del total del ensamblaje, seguido de los dinoflagelados ( $1685,83 \pm 3,42$ ) representando el 47,34%. En la abundancia por estaciones, la estación 555 aportó el 25,46% de la abundancia total del bloque (Figura 67), siendo la estación

del bloque que registró la mayor abundancia de diatomeas (13,68%) y dinoflagelados (11,22%).

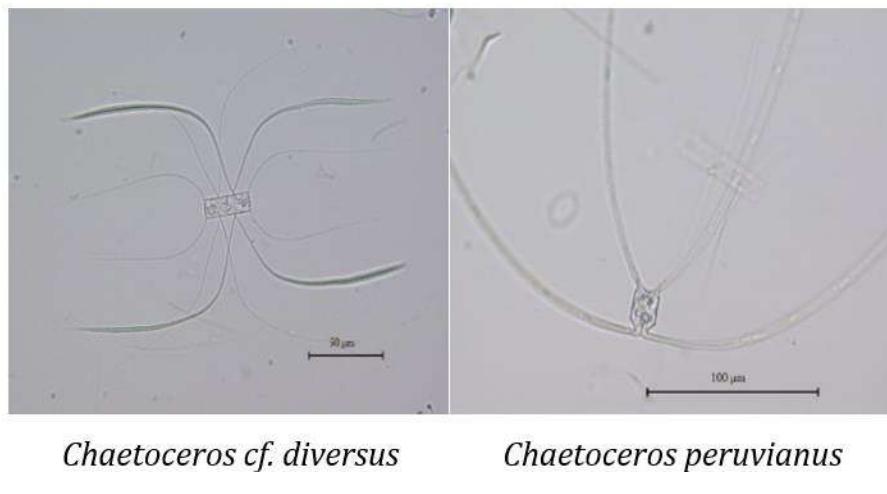


Figura 66. Algunas especies de diatomeas frecuentes encontrados en el bloque COL3.

En cuanto a la abundancia de los grupos fitoplanctónicos por estratos de profundidad se pudo apreciar el dominio de las diatomeas en la primera masa de agua, contrario a la masa más profunda donde dominaron los dinoflagelados, sin embargo, esta dominancia no está fuertemente marcada (Figura 68A). A nivel de la columna de agua, la mayor abundancia se registró en la superficie ( $6263 \pm 1917$ ), en relación a las muestras obtenidas en las dos masas de agua más profundas ( $3025 \pm 671$ ) para la masa 2 y ( $1395 \pm 934$ ) para la masa 3 (Figura 68B). Las morfoespecies más abundantes para todo el ensamblaje fueron: *Chaetoceros* sp5, *Skeletonema* sp1, *Gyrodinium* sp8, las menos abundantes encontramos las especies: *Neocalyptrella robusta*, *Pyrocystis pseudonocytluca* y *Scyphosphaera apsteinii* (Figura 69).

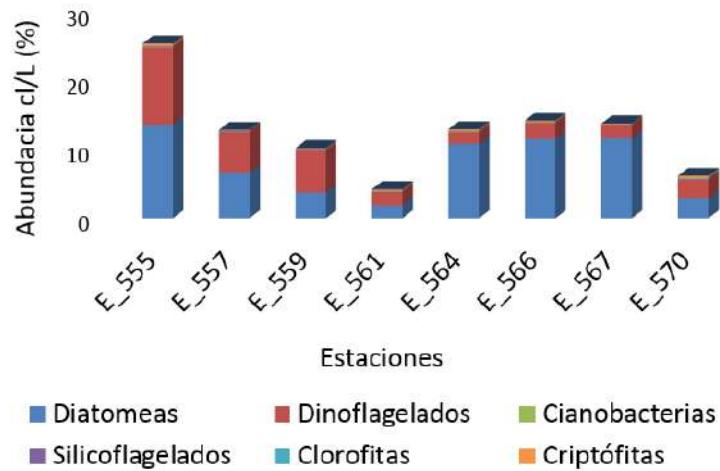


Figura 67. Porcentaje de abundancia de los grupos fitoplanctónicos por estación muestreada.

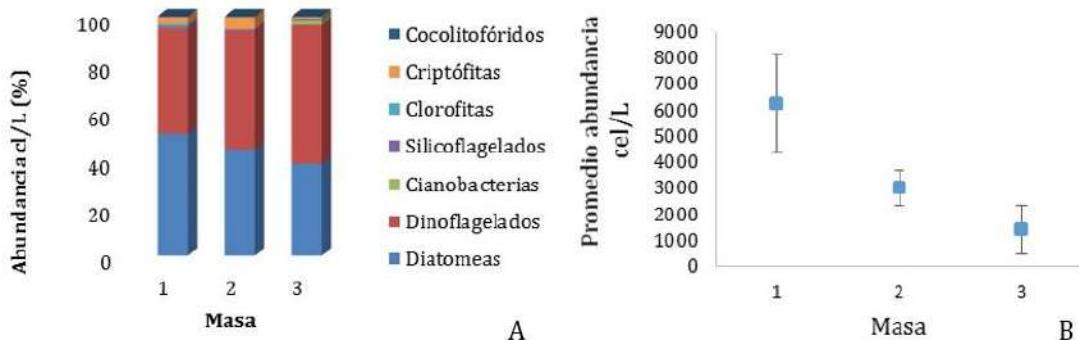


Figura 68. Masas de la columna de agua presente en el bloque COL3. Porcentaje de abundancia de los grupos fitoplanctónicos (A) y promedio y error estándar (B).

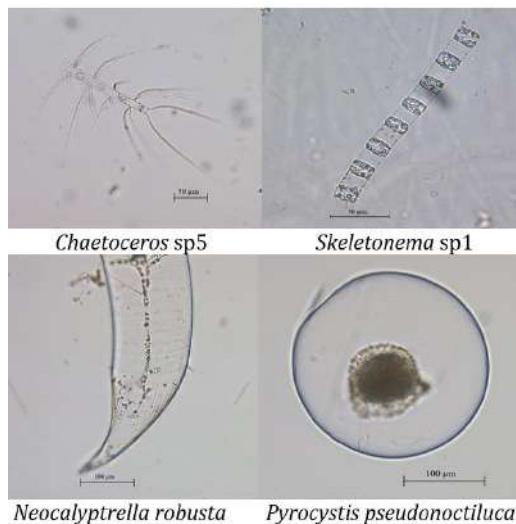


Figura 69. Morfoespecies más y menos abundantes presentes en el bloque COL3.

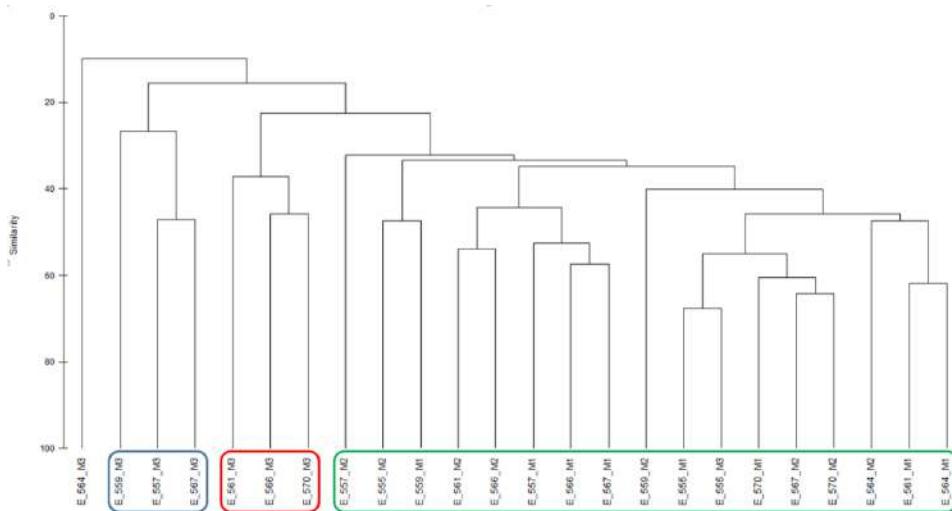
La riqueza ( $S$ ) del fitoplancton presento valores entre siete y 91 morfoespecies, donde, los mayores valores se observaron en la primera masa. La diversidad de Shannon ( $H'$ ) osciló entre 0,93 y 3,76; en promedio la diversidad más baja se presentó en la última masa y la más alta en la primera masa. El dominio de Simpson ( $\lambda$ ) presento rangos entre 0,04 y 0,61 y la uniformidad de Pielou ( $J'$ ) presento rangos entre 0,43 y 0,97 (Tabla 12).

El análisis multivariado, el CLUSTER evidencia que no se presentaron grupos distinguibles (mayor al 60% de similitud) por la ubicación de las estaciones en el bloque o por masas, sin embargo, se muestra una asociación (A1) con un nivel de similitud cercano al 30% y dos asociaciones (A2, A3) con un nivel de similitud cercano al 20% con tendencia a agruparse por masas en la columna de agua (Figura 70). Además, la estación (E464 M3) se encontró aislada de las asociaciones conformadas, esta estación fue la que presentó menor abundancia en todo el bloque. La asociación 1 estuvo compuesta por tres puntos de muestreo, correspondientes a estaciones de la masa 3 (E559, E557, E567). Por otro lado, la asociación 2 estuvo conformada por tres puntos, correspondiente a las estaciones de la masa 3 (E561, E566, E570) y por último la

asociación 3 correspondiente a las estaciones de la masa 1 y 2 y la estación E555 de la masa 3. Los resultados obtenidos con el ANOSIM indicaron que existieron diferencias entre los tres grupos, basados en que el R entre las dos asociaciones fue cercano a 1 (0,895), mostrando una diferencia significativa con un valor  $p = 0,001$ .

*Tabla 12. Principales descriptores ecológicos del bloque COL3. S: Riqueza, H': índice de diversidad Shannon-Wiener, J': índice de uniformidad de Pielou e ( $\lambda$ ) índice de dominancia de Simpson.*

| estación/masa | S         | H'          | J'          | ( $\lambda$ ) |
|---------------|-----------|-------------|-------------|---------------|
| E_555_M1      | 83        | 3,63        | 0,82        | 0,04          |
| E_557_M1      | 24        | 2,84        | 0,90        | 0,07          |
| E_559_M1      | 72        | 3,25        | 0,76        | 0,06          |
| E_561_M1      | 58        | 3,31        | 0,82        | 0,06          |
| E_564_M1      | 72        | 3,69        | 0,86        | 0,04          |
| E_566_M1      | 38        | 3,12        | 0,86        | 0,07          |
| E_567_M1      | 35        | 3,05        | 0,86        | 0,08          |
| E_570_M1      | 62        | 3,40        | 0,82        | 0,05          |
| E_555_M2      | 37        | 2,66        | 0,74        | 0,10          |
| E_557_M2      | 34        | 2,81        | 0,80        | 0,09          |
| E_559_M2      | 43        | 2,48        | 0,66        | 0,21          |
| E_561_M2      | 36        | 3,05        | 0,85        | 0,07          |
| E_564_M2      | 49        | 3,44        | 0,88        | 0,05          |
| E_566_M2      | 19        | 2,66        | 0,90        | 0,09          |
| E_567_M2      | 65        | 3,16        | 0,76        | 0,08          |
| E_570_M2      | 58        | 3,56        | 0,88        | 0,04          |
| E_555_M3      | <b>91</b> | <b>3,76</b> | 0,83        | 0,04          |
| E_557_M3      | 23        | 2,66        | 0,85        | 0,10          |
| E_559_M3      | <b>7</b>  | <b>0,93</b> | 0,48        | <b>0,61</b>   |
| E_561_M3      | 12        | 2,15        | 0,87        | 0,16          |
| E_564_M3      | 7         | 1,89        | <b>0,97</b> | 0,16          |
| E_566_M3      | 18        | 2,60        | 0,90        | 0,10          |
| E_567_M3      | 12        | 1,08        | <b>0,43</b> | 0,56          |
| E_570_M3      | 13        | 2,38        | 0,93        | 0,11          |



*Figura 70. Análisis descriptivo multivariado no paramétrico de clasificación cuantitativa-CLUSTER para las estaciones estudiadas en el bloque COL3. Asociación 1: Recuadro azul. Asociación 2: Recuadro rojo. Asociación 3: Recuadro verde.*

A partir del análisis SIMPER se detectaron cuáles son las especies que contribuyen a la similaridad de cada asociación. La Asociación 1 con una similaridad de 23,27%, presentó cinco morfoespecies que contribuyeron a conformar el grupo, el cual se caracterizó por la mayor representatividad de la morfoespecie *Skeletenema* sp1, aportando un 60,51% del total de la similaridad para esta asociación. En la Asociación 2 con una similitud de 32,52%, presentó siete morfoespecies que contribuyeron a conformar este grupo, el cual, se caracterizó por la mayor representatividad de las morfoespecies *Gyrodinium* sp6, *Bacillariophyta* 4, *Gyrodinium* sp4 y *Dinophyceae* 6, aportando un 61,12% del total de la similaridad para esta asociación. La Asociación 3 con una similaridad de 22,41%, presentó 45 morfoespecies que contribuyeron a conformar el grupo, el cual se caracterizó por la mayor representatividad de la morfoespecie cf. *Cryptomonadaceae* 1, aportando un 11,80% del total de la similaridad para esta asociación. Igualmente, se evidenció entre las asociaciones una alta disimilaridad donde el grupo 1 conformado por las asociaciones A1 y A3 presento el 93,05%, el grupo 2 (A2, A3) presento el 91,79% y el grupo 3 (A1, A2) presento el 89,93%.

Al relacionar la estructura y composición con las diferentes variables físicas medidas en la columna de agua con el análisis BIOENV, se observó, que la mayor correlación se formó entre las variables: temperatura, salinidad, oxígeno, Nitritos+Nitratos y Silicatos (Tabla 13). Por otro lado, la clorofila reportó nueve valores por debajo del límite de detección, los otros datos registraron un rango entre (0,09 – 0,50 µg Chl a/L).

*Tabla 13. Resultados del Análisis BIOENV entre las variables físicas y la estructura del fitoplancton en el bloque COL3. 1: Temperatura. 2: Salinidad. 3: Oxígeno. 4: Nitritos+Nitratos (N-NO<sub>2</sub>+N-NO<sub>3</sub>) 5: Ortofósforatos (P-PO<sub>4</sub>). 6: Silicatos (Si-O<sub>3</sub>).*

| Variables combinadas | Mejores combinaciones de variables | Correlación de Spearman |
|----------------------|------------------------------------|-------------------------|
| 5                    | 1,2,3,4,6                          | 0,502                   |
| 4                    | 1,2,3,6                            | 0,499                   |
| 3                    | 1,3,6                              | 0,496                   |
| 4                    | 1,2,4,6                            | 0,495                   |
| 3                    | 1,2,6                              | 0,494                   |
| 4                    | 1,3,4,6                            | 0,493                   |
| 5                    | 1,2,4,5,6                          | 0,492                   |
| 2                    | 1,6                                | 0,489                   |
| 5                    | 1,3,4,5,6                          | 0,489                   |
| 5                    | 1,2,3,5,6                          | 0,486                   |

### 3.2.3 Discusión de resultados

Con el fin de ampliar y generar una descripción completa de la comunidad fitoplanctónica en este estudio se tuvieron en cuenta dos métodos de muestreo (red y botella). Con las redes se obtuvieron microalgas del microplancton, mientras que, con las botellas, las microalgas son del pico y nanoplancton. La metodología de botella aportó a los registros obtenidos, 77 morfoespecies que no se reportaron en el muestreo con red, lo que evidenció que la suma de ambas metodologías nos proporcionó una mayor colecta de información en el área muestreada. Para este bloque se registraron

72 géneros, presentando una riqueza de géneros común para el área ya que se encuentra entre lo reportado en otros estudios para el Caribe colombiano (Tabla 4).

Tabla 14. Número de géneros de la comunidad fitoplanctónica reportada por diferentes autores en el mar Caribe.

| Referencia                            | Región                       | Tipo de agua | Número estaciones | Número géneros |
|---------------------------------------|------------------------------|--------------|-------------------|----------------|
| <b>Campos (2007)</b>                  | Providencia y Santa Catalina | Oceánico     | 39                | 46             |
| <b>Invemar-ANH (2012)</b>             | ARC Colombia - Jamaica       | Oceánico     | 21                | 71             |
| <b>Garrido-Linares et al. (2014a)</b> | GUA OFF 3                    | Oceánico     | 17                | 77             |
| <b>Garrido-Linares et al. (2014b)</b> | COL 4 y 5                    | Oceánico     | 10                | 54             |
| <b>Vides et al. (2016)</b>            | COL 1 y 2                    | Oceánico     | 20                | 58             |
| <b>Presente estudio</b>               | COL3                         | Oceánico     | 8                 | 72             |

La diversidad del fitoplancton marino generalmente se describe y se mide en términos de riqueza de especies (John, 1994; Hernández-Becerril, 2003). La inmensa mayoría de las especies de microalgas planctónicas marinas han sido definidas como especies morfológicas, con muy poca información sobre los procesos y mecanismos de reproducción (Hernández-Becerril, 2003). La diversidad del fitoplancton observada en este estudio se realizó con la separación de morfoespecies de acuerdo con las características morfológicas de las células.

En cuanto a la riqueza de morfoespecies, la dominancia de dinoflagelados en especial del género *Tripos* y la frecuencia de especies como *Tripos kofoedii* y *Ornithocercus magnificus*, concuerda con lo planteado por Garay et al. (1988), que indica que las estrategias de adaptación como cuernos y aletas que presentan estos géneros, así como sus grandes tamaños aseguran una mayor superficie de absorción, disminuyendo la velocidad de caída y creando dificultad en su consumo por parte del zooplancton.

Las diatomeas se mostraron como segundo grupo dominante en riqueza de morfoespecies, presentando formas con superposición parcial de cuerpos como *Nitzschia* y *Rhizosolenia*, géneros de pequeños tamaños como *Navicula* y formas coloniales unidas por prolongaciones con setas como *Chaetoceros*, este último presentó varias morfoespecies frecuentes y abundantes en el área. Las especies de pequeños tamaños mantienen altas tasas reproductivas por lo que la abundancia es alta, las formas coloniales unidas por superposición parcial de cuerpos o por prolongaciones como setas son estrategias que disminuyen su hundimiento el cual son de gran importancia (Garay et al., 1988).

En los ecosistemas pelágicos la entrada de energía se efectúa fundamentalmente, a través, del fitoplancton por lo que resulta importante conocer los procesos biológicos que tienen lugar en las comunidades de estos organismos (Leal et al., 2001). La composición, distribución y comportamiento de la comunidad fitoplanctónica depende de las características de las masas de agua, generando de esta forma diferentes ambientes ecológicos, en cada uno de los cuales los organismos tendrán ciertas preferencias para mantenerse en alguna profundidad específica (Cullen y Horrigan,

1981). En todo el ensamblaje se observó que las mayores abundancias se presentaron en las dos primeras masas de agua por encima de los 80 metros de profundidad (Figura 68B). Según Margalef (1991), en la columna de agua la luz influye drásticamente controlando la distribución de los organismos y haciendo que los mayores valores de productividad sean en los primeros metros.

El grupo de las diatomeas presentó la mayor abundancia total del bloque y dominó en la primera masa de agua (Figura 68A). Este grupo se ha descrito como dominante en abundancia en la comunidad del fitoplancton de aguas oceánicas, siendo una importante fuente de alimento para los organismos marinos (Lozano-Duque *et al.*, 2010). Las diatomeas se han registrado en estudios del Caribe como el grupo más abundante (Marshall, 1973; Webber y Roff, 1996).

Los dinoflagelados fueron el segundo grupo con mayor abundancia, además de esto dominaron en la última masa de agua (Figura 68A). Según Tomas (1997), las características morfológicas y requerimientos nutritivos de los dinoflagelados los hacen exitosos desde el punto de vista reproductivo, donde, la estabilidad en la columna de agua es mayor y la concentración de nutrientes más baja.

En comparación con otros estudios en aguas oceánicas del Caribe la densidad celular reportada fitoplanctónica es alta (Tabla 15). La densidad promedio encontrada en el presente estudio ( $3561 \pm 828$  cel/L) fue mayor a la registrada por Garrido-Linares *et al.* (2014a) con  $913 \pm 41,38$  cel/L y Vides *et al.* (2016) con  $1889 \pm 273$  cel/L, atribuyendo este aumento posiblemente a la cercanía de algunas estaciones a la costa como es el caso de la estación 555 (Figura 67), que fue la estación con mayor abundancia del bloque y la que registro mayor porcentaje de diatomeas. Cabe destacar que esta estación se encontró al frente a la desembocadura del río Magdalena y reportó géneros típicos de agua dulce como *Pediastrum*, *Staurastrum* y *Desmodesmus* que muestran la influencia de aguas continentales. Según Lozano-Duque *et al.* (2010) el aporte de aguas continentales suministra nutrientes a la columna de agua oceánica, que es aprovechado con mayor eficacia por las diatomeas.

*Tabla 15. Densidades fitoplanctónica (cel/L) registrados en varios estudios para aguas oceánicas del Caribe. CM: capa de agua de mezcla. CS: capa de agua subsuperficie.*

| Referencia                            | Región                                   | Tipo de agua | Cel/L                        |
|---------------------------------------|--|--------------|------------------------------|
| Herrera (1985)                        | San Andrés, Providencia y Santa Catalina | Oceánica     | 4000-12000                   |
| Campos (2007)                         | Providencia y Santa Catalina             | Oceánica     | 325-1428                     |
| Invemar-ANH (2012)                    | ARC Colombia - Jamaica                   | Oceánica     | 190 y 1550                   |
| Garrido-Linares <i>et al.</i> (2014a) | GUA OFF 3                                | Oceánica     | CM: 330-3830<br>CS: 163-1798 |
| Vides <i>et al.</i> (2016)            | COL 1 y 2                                | Oceánica     | 0-11166                      |
| Presente estudio                      | COL3                                     | Oceánica     | 90-16920                     |

Por otro lado, como evidencia el CLUSTER (Figura 70) y el análisis SIMPER las asociaciones no están fuertemente conformadas, mostrando un bajo porcentaje de similaridad en cada asociación y un alto porcentaje de disimilaridad entre grupos.

Margalef (1982), señala que la diversidad del fitoplancton marino en el índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ) presenta valores entre 1 y 2,5 en zonas costeras, mientras en zonas oceánicas suele encontrarse entre 3,5 y 4,5 y en algunas ocasiones se presentan valores superiores. El amplio rango de valores de ( $H'$ ) encontrados en este estudio indica que las estaciones presentan una composición biológica muy heterogénea.

Siguiendo con los otros índices ecológicos, la dominancia de Simpson ( $\lambda$ ) fue alta en las estaciones 559 M3 y 557 M3 con valores de 0,61 y 0,56 inversos a la uniformidad de Pielou ( $J'$ ) con valores de 0,48 y 0,43 evidenciando que en estas estaciones no hubo una distribución equitativa de especies en donde en ambas estaciones *skeletonema* sp1 domino sobre otras. En los otros 22 estratos muestreados, la dominancia de Simpson ( $\lambda$ ) fue baja con valores entre 0,04 y 0,21, evidenciando que en el ensamblaje fitoplanctónico no hay morfoespecies que dominen sobre otras. Además, los valores de uniformidad de Pielou ( $J'$ ) estuvieron por encima de 0,66, presentando valores inversos a los de dominancia, reflejando una distribución equitativa de especies.

En el bloque COL3, según la correlación de Spearman (BIO-ENV) muestra que las variables abióticas que presentaron la mayor correlación con la comunidad fitoplanctónica fueron temperatura, salinidad, oxígeno, Nitritos+Nitratos y Silicatos. Los factores que afectan principalmente la distribución del fitoplancton son la luz, la temperatura, la salinidad, la contaminación, los nutrientes y los sistemas de corrientes (Smayda 1958). El efecto combinado de estas variables determina la distribución de especies, y por lo general es difícil señalar la variable más importante en una situación dada (Lozano-Duque *et al.*, 2010).

En general el rango de concentración de clorofila a 0,09 – 0,50 µg /L encontrado en el bloque COL3, está dentro de lo reportado en estudios oceánicos (Bianchi *et al.*, 1995; Orejana *et al.*, 2004; Campos, 2007 y Vides *et al.*, 2016).

### 3.2.4 Conclusiones

- La descripción de la composición del fitoplancton al unir ambos métodos de muestreo, redes y botella, permite describir un mayor número de morfoespecies con respecto a lo que se reporta con la forma tradicional (redes).
- De acuerdo con la composición y abundancia de las comunidades fitoplanctónicas la dominancia por parte de las diatomeas y dinoflagelados evidencian un comportamiento característico de aguas oceánicas.
- Las diatomeas al igual que los dinoflagelados reflejan adaptaciones a las condiciones oceanográficas generales y locales, lo que favorece su gran diversidad y abundancia en este tipo de ecosistemas.
- La introducción de aguas continentales en aguas neríticas u oceánicas influye en la presencia de géneros de agua dulce en aguas marinas debido a la capacidad que tienen muchos de ellos para adaptarse a condiciones ambientales adversas.

### 3.3 Resultados comunidad zooplanctónica

#### 3.3.1 Análisis cualitativo

Como resultado de análisis de las muestras colectadas, se evaluaron un total de ocho estaciones dentro del bloque de exploración COL3, donde se encontraron un total de 232 taxa en los cuatro estratos estudiados de los cuales 100 se llevaron a nivel de especie, 68 a nivel de género, 12 a nivel de familia y 52 estadios juveniles o larvales pertenecientes a nueve phyla (Arthropoda, Cnidaria, Mollusca, Annelida, Chordata, Chaetognatha, Echinodermata, Foraminífera y Phoronida). De estos nueve phyla encontrados el 69,83 % perteneció a Artrópodos, mientras que los phyla Cnidaria y Mollusca juntos sumaron el 13,8 % del total de la representatividad (Tabla 16).

Tabla 16. Riqueza de phyla encontradas en el bloque de exploración COL3.

| Phylum        | Grupo dominante         | Riqueza de taxa (S) | %          |
|---------------|-------------------------|---------------------|------------|
| Arthropoda    | Copépodos               | 162                 | 69,83      |
| Cnidaria      | Sifonóforos             | 17                  | 7,33       |
| Mollusca      | Pterópodos              | 15                  | 6,47       |
| Annelida      | Poliquetos planctónicos | 12                  | 5,17       |
| Chordata      | Salpas                  | 7                   | 3,02       |
| Chaetognatha  | Quetognatos             | 6                   | 2,59       |
| Echinodermata | Estadios larvales       | 5                   | 2,16       |
| lervas        | Estadios larvales       | 5                   | 2,16       |
| Foraminífera  | Foraminíferos           | 2                   | 0,86       |
| Phoronida     | Estadios larvales       | 1                   | 0,43       |
| <b>Total</b>  |                         | <b>232</b>          | <b>100</b> |

En términos de riqueza, las especies más frecuentes en el bloque COL3 fueron el copépodo *Macrosetella gracilis* (n= 30), el ostracodo *Conchoecia* sp. (n=30), y los copépodos *Oithona setigera* (n=29), *Clausocalanus furcatus* (n=29), *Lubbockia squillimana* (n=29) y *Temora turbinata* (n=27) (Figura 71). Así mismo, se encontraron un total de 177 morfotipos en estadio adulto, 33 en fase juvenil y 22 en fase larval.

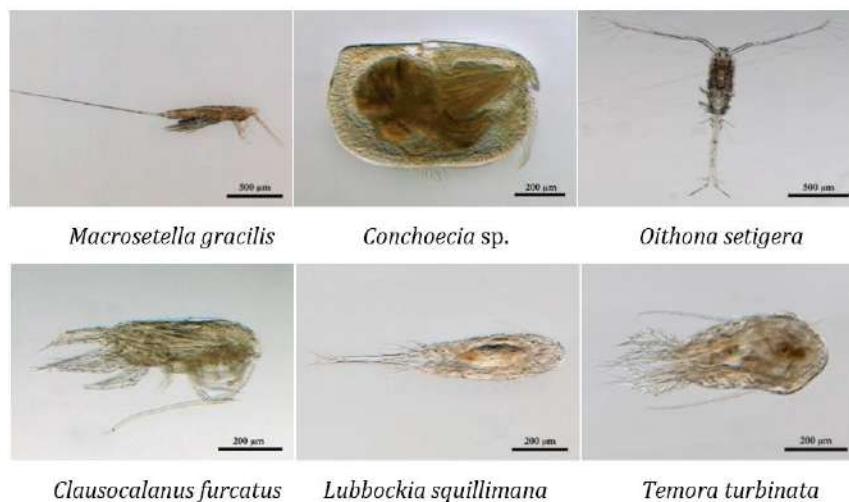


Figura 71. Algunas especies más frecuentes del zooplancton encontradas en el bloque COL3.

Con respecto a la riqueza de especies se evidencio un decrecimiento en la riqueza a medida que aumentaba la profundidad. Se encontró que la masa 1 (0-60 m) presento la mayor riqueza con un promedio de  $67 \pm 2,5$  especies-taxa, seguido por la masa 3 (170-340 m) con  $63 \pm 1,1$  especies-taxa y finalmente las masas 2 y masa 4 presentaron las menores riquezas de especies con  $57 \pm 5,4$  especies-taxa (Figura 72).

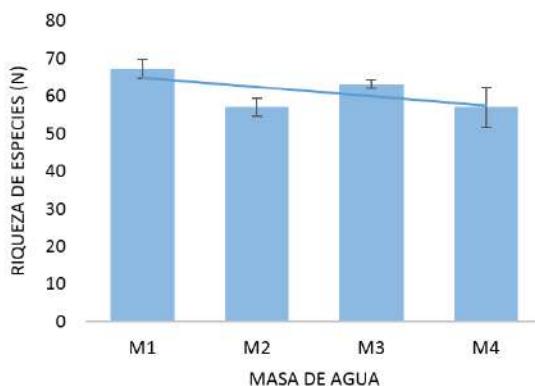


Figura 72. Riqueza de especies del zooplancton en las 4 masas evaluadas en el bloque COL3.

El phylum con la mayor riqueza fue Arthropoda (69,83%), el cual estuvo representado en 12 ordenes siendo los más diversos Calanoida (56,79%) y Cyclopoida (16,67%) y Harpacticoida (8,02%) compuesto por copépodos, seguidos por los órdenes Decapoda, Amphipoda y Euphausiacea entre otros, compuesto por camarones y amfípodos planctónicos, larvas de decápodos, los cuales juntos suman el 18,52% de la representatividad del grupo Arthropoda. Este grupo se encontró en todos los estratos desde el superficial hasta el profundo y en todas las estaciones desde las más cercanas a costa hasta las más alejadas.

El orden Calanoida se compuso de 11 familias, 25 géneros y 36 especies, así mismo se encontraron 13 estadios juveniles o copepoditos; entre estos cabe resaltar a las especies *Acartia lillejborgii*, *A. tonsa*, *Pseudodiaptomus acutus*, *Calanopia americana* y *Calanus sp.*, todas encontradas en el área de estudios, estas son especies de hábitos estuarinos, costeros y oceánicos típicamente filtradores herbívoros muy activos.

El orden Cyclopoida estuvo conformado por siete familias, nueve géneros y 25 especies, donde se encontraron entre otras las especies *Corycaeus speciosus*, k (la especie más frecuente en todo el bloque) y k, las cuales son especies de hábitos tanto oceánicos como estuarinos y costeros.

El orden Harpacticoida presento cuatro familias, nueve géneros y 12 especies siendo las especies *Macrosetella gracilis*, *Distiocolus minor* y *Oculosetella gracilis* las que presentaron la mayor frecuencia de aparición de este grupo en el bloque (Figura 73).

El phylum Cnidaria fue el segundo grupo más rico en términos de diversidad, compuesto principalmente por sifonóforos (44,4%) e hidromedusas (38,8%), pertenecientes a siete ordenes, siete familias y 10 géneros, además, se reportaron varios estadios larvales pertenecientes a los grupos Actiniaria y Ceriantharia (16,8%). Entre los Cnidarios encontradas se destacan los sifonóforos *Chelopyyes appendiculata*

(presente en 13 de las 30 muestras) y *Nausithoe aurea* cuya hidromedusa se encontró en seis muestras colectadas, estas muestras fueron ubicadas principalmente entre las masas 3 y 4 es decir entre las profundidades 170 y 1.000 m (Figura 74).

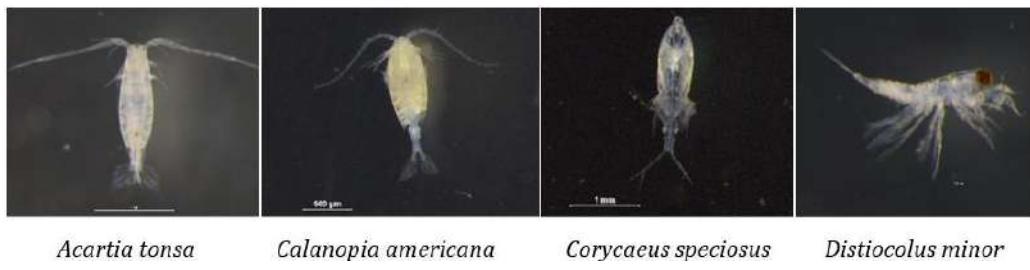


Figura 73. Representantes de los órdenes Calanoida, Cyclopoida y Harpacticoida encontrados en el bloque COL3.

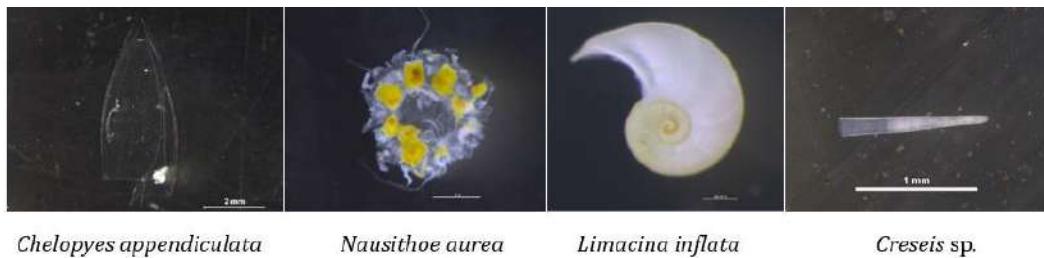


Figura 74. Representantes pertenecientes a los Phyla Cnidaria y Mollusca encontrados en el bloque COL3.

El tercer grupo en importancia en términos de riqueza fue el phylum Mollusca conformado por cinco órdenes: Thecosomata (53,3%), Littorinimorpha (13,3%), Gymnosomatha, Oegopsida y Octopoda estos tres con 6,67 % de representatividad cada uno. Entre los gasterópodos planctónicos (Thecosomata) hallados en el bloque COL3 están las especies *Limacina inflata* y *Creseis* sp. para el grupo de heterópodos (Littorinimorpha) adicionalmente se encontraron varios tipos de larvas pertenecientes a los grupos de bivalvos, branchiolarios, octópodos y oegopsidos las cuales se reportan en gran número de muestras colectadas.

El phylum Annelida presento un solo orden, Phyllopocida conocido por incluir los poliquetos planctónicos de las familias Alciopidae, Iospilidae, Lopadorrhynchidae, Typhloscolocoecidae y tomopteridae, de las cuales las especies *Alciopina parasitica*, *Tomopteris elegans* y *Thyphloscolex* sp. se destacaron por su frecuencia de aparición en todos los estratos estudiados. Así mismo, se evidencio la presencia de estadios larvales tipo Trocifora y Cifonauta en casi un 30% muestras estudiadas, siendo particularmente frecuentes en las masas M2 y M3.

El phylum Chordata estuvo representado en el bloque COL3 por las especies *Fritillaria* sp., *Kowalevskia* sp., *Oikopleura dioica*, *Oikopleura* sp. y *Doliolum* sp. siendo estas dos últimas las más frecuentes de este phylum en el bloque hallándose en casi todas las estaciones y en todas las masas de agua tomadas.

Se encontraron también cinco morfo especies pertenecientes al phylum Chaetognatha, si bien su diversidad no fue tan alta, si lo fue su frecuencia de aparición en gran parte de las muestras tomadas, siendo *Flaccisagitta* sp., *Mesosagitta* sp. y *Sagitta* sp. las especies más frecuentes halladas en el bloque (Figura 75).

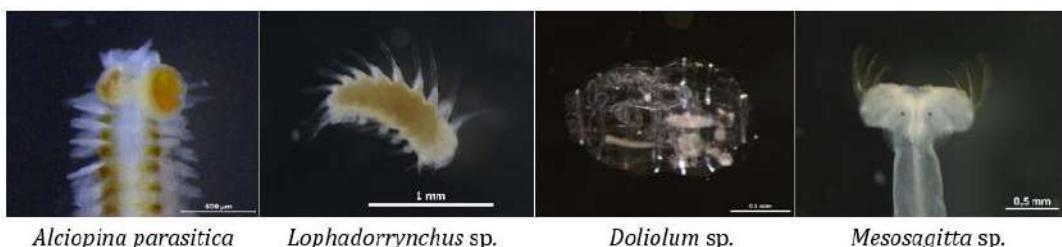


Figura 75. Representantes de los Phyla Annelida, Chordata y Chaetognatha encontrados en el bloque COL3.

El phylum Foraminifera, presentó solo dos especies, *Globigerina* sp. y *Globorotaria* sp. hallándose en todas las profundidades desde los 0 hasta los 1.000m de profundidad.

Un total de 23 tipos o formas larvales se encontraron en las muestras colectadas en el Bloque COL3, las cuales pertenecen a nueve phyla, los grupos más representados en estas fases fueron Echinodermata el cual presento larvas tipo Biparia, Echiunoidea, Asteroidea, Ophiuroidea y Holothuroidea. y el grupo de Arthropoda con los tipos Zoea, Nauplio, Copepodito, Mysis y Cipris. Se encontró también la larva Semper, la cual es exclusiva para el grupo de Zoantharios.

### 3.3.2 Análisis cuantitativo

La abundancia del zooplancton en el Bloque COL3 oscilo entre 339,75 y 0,44 Ind/m<sup>3</sup>, con un promedio por estación de  $86,74 \pm 16,41$  Ind/m<sup>3</sup>, la estación más abundante fue la E555 con 339,75 Ind/m<sup>3</sup>, seguida de la E564 con 210,02 Ind/m<sup>3</sup>. La estación E555 está ubicada justo en frente de la salida del río Magdalena, más cerca a costa que las demás estaciones, mientras que la estación E564 está ubicada al costado norte del bloque. Al analizar la dispersión de los datos con el error estándar, se evidencia que se traslanan las dispersiones indicando que las estaciones presentan tendencias similares en términos de abundancia y no se evidencian diferencias (Figura 76A), para confirmar esta particularidad se llevó a cabo la prueba ANOSIM entre estaciones arrojando como resultado un R global de 0.789 y un valor p de 0,001, este valor indica que si bien se evidencia en términos generales algún traslape entre estaciones, existen asociaciones diferentes entre los grupos analizados, es decir, que entre las masas analizadas en cada estación existen diferencias significativas que valen la pena determinar.

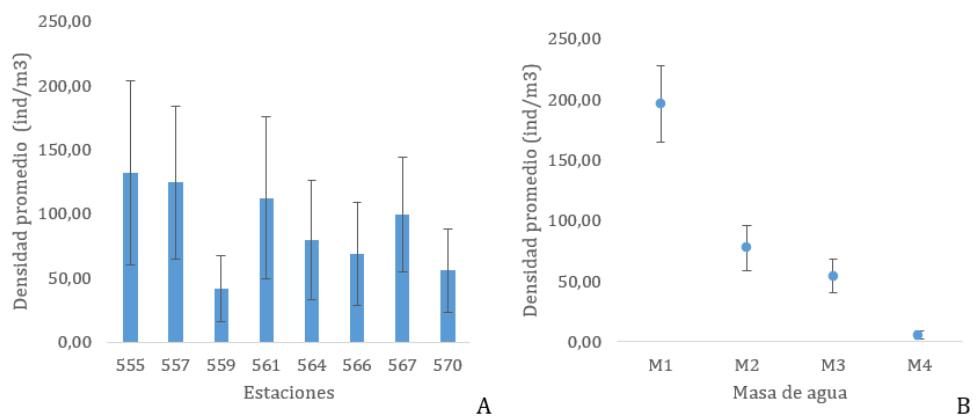


Figura 76. Densidad (Ind/m<sup>3</sup>) del Bloque COL3 A. En las estaciones. B. En cada masa de agua.

Verticalmente, la densidad presentó una considerable disminución a medida que aumentaba la profundidad (Figura 76B), para el bloque COL3 la mayor densidad promedio se presentó en la masa 1 ( $196,03 \pm 31.69$  Ind/m<sup>3</sup>) y la menor se encontró en la masa 4 ( $5.23 \pm 3.16$  Ind/m<sup>3</sup>), en la masa 1 las especies más abundantes fueron los copépodos *Corycaeus laetus* y *termora turbinata* con 102,69 y 101,06 Ind/m<sup>3</sup> respectivamente, para la masa 2 los copépodos *Oithona setigera* y *Clausocalanus furcatus* presentaron las mayores densidades con 77,84 y 66,89 Ind/m<sup>3</sup> mientras que para las masas 3 y 4 el ostráculo *Conchoecia* sp. y *Subeucalanus* sp. presentaron valores de densidad de 4,39 y 3,9 Ind/m<sup>3</sup> respectivamente.

Los phyla más abundantes reportados en el bloque COL3 son Arthropoda (82,02%), Chordata (4,58%), Mollusca (4,29%) y Chaetognata (4,08%), y juntos suman el 94,97% de la densidad total encontrada. Siendo las especies *Oithona setigera*, *Temora turbinata* y *Clausocalanus furcatus* las más abundantes en términos generales (Tabla 17). Al ver la abundancia por estratos en sentido vertical, se logró determinar que la especie más abundante en todos los estratos pertenecía al grupo de los copépodos, en la primera masa fue *Corucaeus laetus* con 102,69 Ind/m<sup>3</sup>, seguido por *Temora turbinata* con 124,68 Ind/m<sup>3</sup>, la masa 2 estuvo dominada por *Oithona setigera* con 77,84 Ind/m<sup>3</sup> y *Oncae media* con 66,89 Ind/m<sup>3</sup>, la masa 3 presentó la única especie dominante que no pertenecía al grupo de copépodos, un ostráculo de la especie *Conchoecia* sp. con una abundancia de 30,73 Ind/m<sup>3</sup>. y por último la masa 4 la cual tuvo como especies más abundantes a *Subeucalanus* sp. y *Conchoecia* sp. con apenas 3,90 y 3,80 Ind/m<sup>3</sup>.

*Tabla 17. Densidad promedio (ind/m<sup>3</sup>) y representatividad porcentual por especie del zooplancton colectado en Bloque COL3, EE=Error estándar.*

| Especie                       | Grupo planctónico | Densidad (ind/m <sup>3</sup> ) | Promedio (ind/m <sup>3</sup> ) | EE   | Abundancia relativa (%) |
|-------------------------------|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------------------------|
| <i>Oithona setigera</i>       | Copépodo          | 133.31                         | 2,48                           | 0.13 | 5,12                    |
| <i>Temora turbinata</i>       | Copépodo          | 124.68                         | 2,49                           | 0.11 | 4,79                    |
| <i>Clausocalanus furcatus</i> | Copépodo          | 120.44                         | 2,24                           | 0.42 | 4,63                    |
| <i>Corycaeus laetus</i>       | Copépodo          | 108.62                         | 3,08                           | 0.65 | 4,17                    |
| <i>Conchoecia</i> sp.         | Ostráculo         | 94.36                          | 1,69                           | 0.09 | 3,63                    |
| <i>Oncae mediterranea</i>     | Copépodo          | 79.63                          | 1,72                           | 0.1  | 3,06                    |

Teniendo en cuenta la dispersión de las abundancias, los datos fueron transformados y estandarizados con raíz cuarta ( $y=0,864$ ) siguiendo las recomendaciones de Taylor (1961) para realizar las pruebas de atributos ecológicos.

Al confirmar mediante la prueba ANOSIM que existen diferencias entre masas, se procedió a analizar los atributos ecológicos de la comunidad zooplánctica de manera integral, verticalmente, la primera masa de agua comprendida entre los 0-60 m expuso los mayores valores de riqueza y diversidad de especie, y presentó la mayor cantidad de especies importantes. La segunda masa comprendida entre los 70-140 m presentó la menor riqueza de Margalef y menor predominio, así mismo presentó la mayor cantidad de especies muy importantes.

La masa 1 presentó los valores más altos de riqueza de especies, diversidad de Shannon, y la mayor cantidad de especies importantes, por su parte la masa 2 tuvo valores intermedios de riqueza, diversidad homogenidad y cantidad de especies importantes, finalmente, la masa 3 mostró atributos ecológicos intermedios, mientras la masa 4 (540 -1.000 m) exhibió la mayor diversidad, homogeneidad y predominio, por otro lado esta última masa presentó también la menor diversidad, riqueza de especies y número de especies importantes (Tabla 18).

*Tabla 18. Atributos ecológicos generales del bloque COL3. Max: valor máximo, Min: Valor mínimo, S=Riqueza de especies, d=Riqueza de Margalef, J=Homogeneidad de Pielou, H': Diversidad de Shannon, λ= Predominio de Simpson; N1= número de Hill 1 (especies abundantes), N2= Numero de Hill 2 (especies muy abundantes).*

|           | (S)  |      | (d)   |       | (J)  |       | (H') |      | (λ)  |      | N1   |      | N2   |      |
|-----------|------|------|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|           | Max  | Min  | Max   | Min   | Max  | Min   | Max  | Min  | Max  | Min  | Max  | Min  | Max  | Min  |
| <b>M1</b> | 82   | 62   | 17,10 | 10,64 | 0,87 | 0,84  | 3,73 | 3,48 | 0,05 | 0,04 | 42   | 32   | 27   | 20   |
|           | E559 | E557 | E559  | E551  | E566 | EE570 | E567 | E561 | E570 | E567 | E567 | E561 | E567 | E570 |
| <b>M2</b> | 66   | 46   | 18,59 | 9,78  | 0,88 | 0,75  | 3,65 | 2,87 | 0,10 | 0,03 | 38   | 18   | 30   | 9    |
|           | E555 | E570 | E557  | E557  | E564 | E570  | E564 | E570 | E570 | E564 | E564 | E570 | E564 | E570 |
| <b>M3</b> | 67   | 60   | 23,65 | 12,75 | 0,88 | 0,84  | 3,68 | 3,44 | 0,04 | 0,04 | 40   | 31   | 28   | 22   |
|           | E561 | E564 | E559  | E555  | E567 | E555  | E567 | E555 | E555 | E564 | E567 | E555 | E566 | E555 |
| <b>M4</b> | 74   | 38   | 57,81 | 18,8  | 0,89 | 0,65  | 3,48 | 2,36 | 0,20 | 0,05 | 32   | 11   | 21   | 5    |
|           | E570 | E559 | E566  | E555  | E564 | E559  | E555 | E559 | E559 | E555 | E555 | E559 | E555 | E559 |

Mediante el análisis de clasificación jerárquica de similaridad (CLUSTER), se establecieron cuatro asociaciones denominadas A1, A2, A3, A4 (Figura 77). La asociación A1 está conformado por cinco muestras todas pertenecientes a la masa 4, las cuales están distribuidas en el la zona media del bloque desde el Noreste (E559) hasta el oeste (E570), la asociación 2 estuvo compuesta por nueve muestras así: dos pertenecientes a la masa 4 (E555 y E567) y siete muestras pertenecientes a la masa 1 distribuidas homogéneamente, la asociación 3, comprendió la mayor cantidad de muestras (10) pertenecientes a las masas 1, 2 y 3 lo que indica que es un grupo distribuido homogéneamente a lo largo de todo el bloque y con características similares, finalmente la asociación 4 estuvo compuesto por seis muestras, todas de la masa 2, las cuales cuatro están ubicadas geográficamente en la zona oeste y dos en la zona este.

El análisis SIMPER permitió determinar cuáles eran las especies que contribuyeron en mayor medida a la conformación de las asociaciones y a la separación entre estas, conforme se evidencio en el análisis CLUSTER. De tal forma se logró determinar que los copépodos juegan un papel clave en la formación de las asociaciones A1 (*Subeucalanus* sp.), A2 (*Corycaeus* sp.) y A4 (*Oithona setigera*), mientras que en la A3 fue el ostrácodo *Conchoecia* sp.

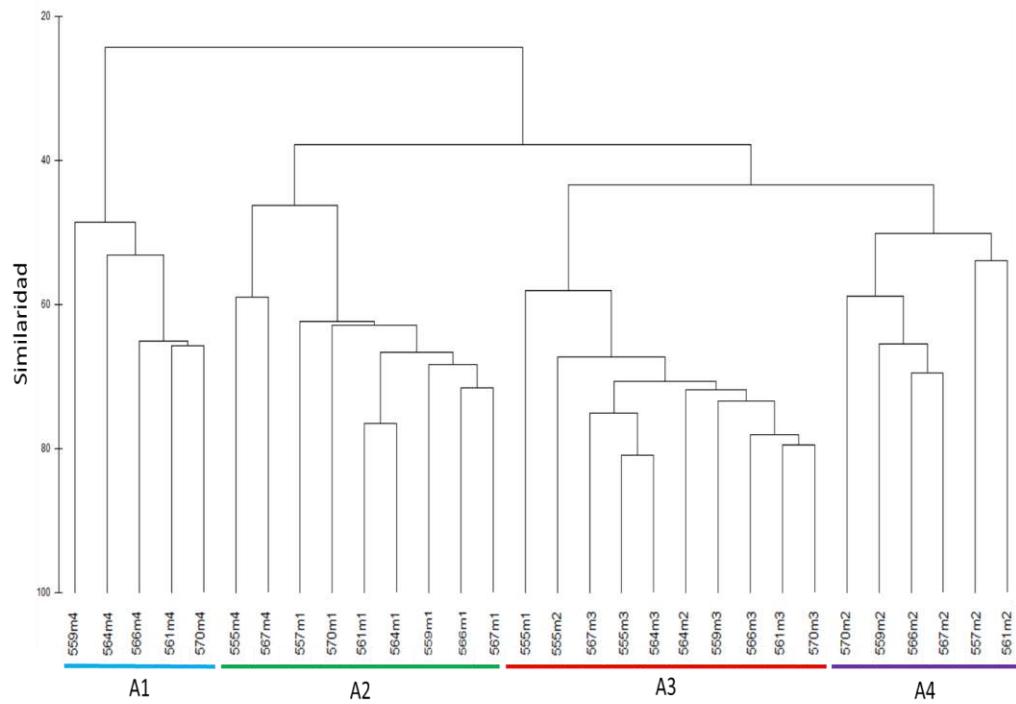


Figura 77. Análisis descriptivo multivariado no paramétrico de clasificación cuantitativa (dendrograma) para las muestras que se agruparon en el bloque COL3. Recuadro azul: Asociación 1. Recuadro verde: Asociación 2, Recuadro rojo: Asociación 3, Recuadro Purpura: Asociación 4.

El análisis de agrupación bidimensional MNDS confirmó las agrupaciones presentadas en el análisis CLUSTER, soportando la separación de los grupos con un estrés de 0.11, dichas asociaciones son dadas principalmente a las características de composición y abundancia de la comunidad zooplanctónica hallada en el bloque COL3 (Figura 78).

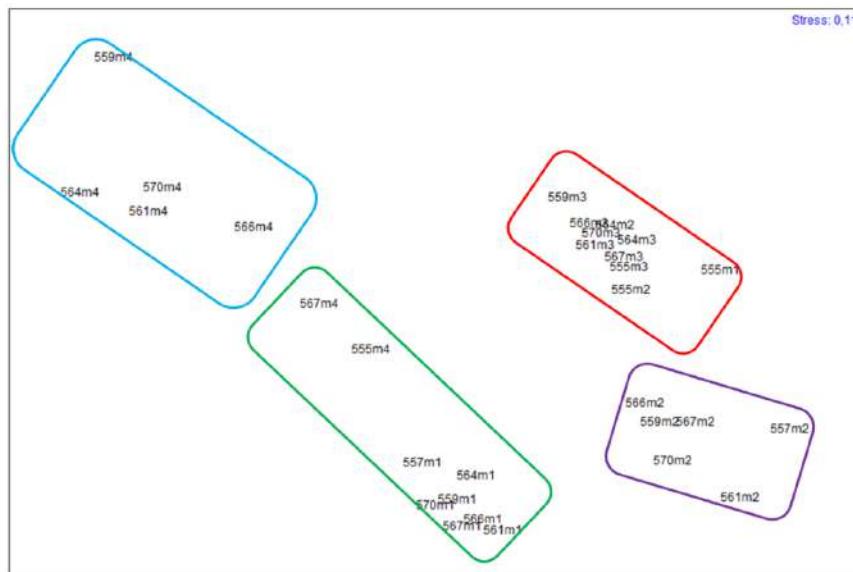


Figura 78. Agrupación bidimensional de las estaciones muestreadas en la Isla Cayos de Serrana a partir del análisis NMDS. Recuadro azul: Asociación 1. Recuadro verde: Asociación 2, Recuadro rojo: Asociación 3, Recuadro purpura: Asociación 4.

Para la separación entre asociaciones, una vez más los copépodos fueron determinantes, presentando mayor contribución los copépodos *Corycaeus laetus* y *Oithona setigera* (Tabla 19), dadas las características de distribución y abundancia este grupo de especies determinantes tienen características tróficas herbívoras, son de tamaños pequeños (menores a 1,5 mm) habitan principalmente en zonas neríticas y pelágicas y son en su mayoría capaces de sobrevivir en ambientes con características eurihalinas, es decir que pueden vivir en zonas con amplios rangos de salinidad, encontrándose en zonas estuarinas u oceánicas. Estos resultados revelan los hábitos de este ensamblaje.

Tabla 19. Resultados del análisis SIMPER de clasificación. SIM= similitud; SD= desviación estándar.

| Asociación         | Similaridad promedio | Especie discriminante   | Grupo planctónico | SIM/SD | % Contribución |
|--------------------|----------------------|-------------------------|-------------------|--------|----------------|
| <b>Similitud</b>   |                      |                         |                   |        |                |
| A1                 | 41,03                | <i>Subeucalanus</i> sp. | Copépodo          | 1,12   | 22,74          |
| A2                 | 35,38                | <i>Corycaeus laetus</i> | Copépodo          | 1,22   | 9,96           |
| A3                 | 43,10                | <i>Conchoecia</i> sp.   | Ostrácodos        | 2,05   | 9,34           |
| A4                 | 43,13                | <i>Oithona setigera</i> | Copépodo          | 2,34   | 29,82          |
| <b>Disimilitud</b> |                      |                         |                   |        |                |
| A1-A2              | 96.30                | <i>Corycaeus laetus</i> | Copépodo          | 1,99   | 7,14           |
| A1-A3              | 97.51                | <i>Conchoecia</i> sp.   | Ostrácodos        | 3,18   | 7,16           |
| A3-A2              | 79,64                | <i>Corycaeus laetus</i> | Copépodo          | 1,61   | 6,04           |
| A3-A4              | 76,10                | <i>Oithona setigera</i> | Copépodo          | 1,41   | 10,15          |
| A2-A4              | 79,79                | <i>Oithona setigera</i> | Copépodo          | 1,06   | 7,27           |
| A4-A1              | 98.79                | <i>Oithona setigera</i> | Copépodo          | 2,13   | 17,49          |

Por último al relacionar la estructura y composición de la comunidad zooplanctónica con las diferentes variables fisicoquímicas medidas en la columna de agua con el análisis de BIOENV (Tabla 20), se observó que la correlación más alta se dio con variable temperatura (0.704), seguida de cerca por la combinación de temperatura y salinidad (0,699).

Tabla 20. Resultados del Análisis BIOENV entre las variables físicas y la estructura de la comunidad zooplanctónica en el bloque COL3.T: Temperatura (°C); OD: Oxígeno disuelto (mg/L); Sal: Salinidad.

| Variables combinadas | Combinación de variables | Correlación de Spearman |
|----------------------|--------------------------|-------------------------|
| 1                    | T                        | 0.704                   |
| 2                    | T, Sal                   | 0.699                   |
| 2                    | T, OD                    | 0.693                   |
| 3                    | T, OD, Sal               | 0.692                   |
| 1                    | Sal                      | 0.655                   |
| 2                    | OD, Sal                  | 0.507                   |
| 1                    | OD                       | 0.328                   |

### 3.3.3 Discusión de resultados

La composición del zooplancton en el Bloque COL3 estuvo dominada por copépodos, los cuales constituyen aproximadamente entre el 50% y el 80% del total del zooplancton, tanto en aguas oceánicas como en zonas neríticas y costeras (Boltovskoy, 1981; Alder y Boltovskoy, 1993; Gasca y Suárez, 1996). Resultados similares fueron obtenidos por Zoppi (1977), Urosa (1983, 1977) y Peñuela (2000) para el golfo y cuenca de Cariaco. En otras zonas del mundo, autores como Rodríguez y Rubín (1991), Alder y Boltovskoy (1993), Webber *et al.* (1996), Hulsemann (1996) y Fernández-Puelles *et al.* (1997) confirman el dominio de este grupo en las comunidades zooplanctónicas (Márquez *et al.*, 2009).

Algunos autores como Bjornberg (1981) y Gasca y Suárez (1996) afirman que especies como *Temora stylifera*, *Paracalanus aculeatus*, *Calocalanus pavo* y *Clausocalanus furcatus* todas especies halladas de manera frecuente en el bloque COL3, presentan afinidad con las aguas cálidas tropicales típicas de la región. Sin embargo, las especies *T. stylifera*, *C. pavo*, *C. furcatus* y *Euchaeta marina* fueron caracterizadas por Owre y Foyo (1964) como formas oceánicas atlánticas (Márquez *et al.*, 2009).

Teniendo en cuenta estudios anteriores para este proyecto (Tabla 21), la riqueza de especies encontradas en el área se encuentra en el rango de valores para aguas tropicales del Caribe colombiano. Esta particularidad en términos de riqueza de especies para el ensamblaje zooplanctónico podría explicarse, en gran medida, por la estabilidad del sistema tropical, los importantes aportes de nutrientes continentales, por eventos de afloramiento, la circulación local y por el aprovechamiento del zooplancton por los niveles superiores de la trama trófica (Burkhill *et al.* 1987).

*Tabla 21. Riqueza de morfotipos en los bloques de exploración offshore evaluados hasta el momento en el Caribe colombiano.*

| Referencia                            | Bloque      | Número de morfotipos |
|---------------------------------------|-------------|----------------------|
| Garrido-Linares <i>et al.</i> (2014a) | GUA OFF III | 113                  |
| Garrido-Linares <i>et al.</i> (2014b) | COL4 y 5    | 219                  |
| Vides <i>et al.</i> (2016)            | COL1 y COL2 | 304                  |
| Presente estudio                      | COL3        | 235                  |

Si bien se evidencia la existencia en todo el Caribe de diferentes ensamblajes, dominados en algunos casos por pequeños filtradores, grupos de organismos detritívoros o grandes depredadores como los quetognatos, anfípodos, hidromedusas y los sifonóforos, presentes en este estudio, la variación y dominancia en algunos casos podría ser atribuida al dinamismo que presentan las comunidades planctónicas, específicamente sus ensamblajes y en las cuales no se puede esperar que se mantengan en el tiempo, ya que existen variaciones en los ciclos biológicos de las poblaciones y fluctuaciones interanuales en la climatología que pueden intervenir para que la dominancia de un grupo sea determinada (Sameoto, 1984; Morales y Murillo, 1996; Garrido-Linares *et al.* (2014b); Vides *et al.* (2016)).

Las especies que conforman la comunidad de zooplancton del bloque COL3 son generalmente de hábitos oceánico-costeros, presentándose algunas excepciones con hábitos eminentemente neríticos (Bjornberg, 1981). Por otra parte, los copépodos *Calocalanus pavo*, *Clausocalanus furcatus*, *Temora stylifera*, *Temora turbinata*, *Lucicutia flavigornis*, *Labidocera fluviatilis*, *Calanopia americana*, *Oithona plumifera*, *Oncaea medierranea*, *Oncaea venusta* y *Corycaeus giesbrechti*, son especies que han sido reportadas en la desembocadura del río Amazonas, y que según Alvariño (1971) se encuentran en la zona Caribe, puesto que el zooplancton de esta zona es derivado de la corriente ecuatorial norte, modificada con variabilidad estacional en relación con las descargas de los ríos Amazonas y Orinoco, que se incorporan a dicha corriente a lo largo del talud de las Guyanas (Bernal, 1994).

El paso de la corriente norecuatorial por el área, según el estudio de Bernal y Zea (2000), trae como consecuencia el incremento de especies de copépodos oceánicos como *Clausocalanus furcatus*, *Undinula vulgaris*, *Calocalanus pavo*, *Euchaeta marina*, *Scolecithrix danae*, *Labidocera acutrifons*, *Haloptilus longicornis*, *H. spiniceps*, *Rhincalanus cornutus*, *Candacia pachydactyla*, *Oncaea venusta*, *Corycaeus (Corycaeus) speciosus*, *C. (Urocorycaeus) laetus* y *Farranula gracilis* (Ovre y Foyo, 1964; Bjornberg, 1981, Bernal y Zea, 2000).

*Temora turbinata* una de las especies más frecuentes en este estudio, presenta una distribución nerítica e igualmente abundante en la región Cariaco Venezuela (Bernal, 1994), es característica al incrementar sus picos de abundancia en los meses de mayo y noviembre, junto con *T. stylifera* son especies tropicales y subtropicales, muy comunes cerca a las costas de Jamaica y Barbados. *Clausocalanus furcatus* por su parte es una especie de aguas cálidas de plataforma y oceánicas, es reportada como la especie más abundante de los Calanoida; *Oithona plumifera*, es una especie nerítica y oceánica, siendo la más abundante dentro de los Cyclopoida para la región del Caribe (Ovre y Foyo, 1964; Bernal, 1994).

Cabe resaltar que, dentro de los resultados, se prestó un número alto en el número de copepoditos, los cuales sirven como indicadores del estado del ecosistema, ya que estos responden con altas tasas reproductivas ante la condición de pulsos de nutrientes y buena oferta del fitoplancton especialmente en zonas neríticas de afloramiento (Sazhina, 1973). Así mismo señalan el incremento en número y biomasa de los depredadores rapaces de gran tamaño, representados por el copépodo *Haloptilus longicornis* y las taxa Siphonophora, Hydromedusae y Ctenofora (Bernal, 1994).

Dentro del componente del holoplantcon, los grupos más abundantes fueron los copépodos, apendicularios, doliolidos y quetognatos, lo cual es característico de aguas oceánicas (Zoppi, 1977; Rodríguez y Rubin, 1991; Morales y Murillo, 1996; Castellanos y Suárez-Morales, 1997). En áreas oceánicas, este grupo de organismos es más diverso que el meroplantcon (Reeve 1975, Margalef 1969). Resultados similares fueron obtenidos por Morales y Murillo (1996) y Biancalana *et al.* (2007) quienes detectaron diferencias significativas en la abundancia y diversidad del holoplantcon y el meroplantcon. En esos estudios, las poblaciones del primero dominaron tanto en

número como en diversidad, sugiriendo que la baja diversidad de las formas larvales es producto de la fuerte sedimentación y resuspensión (Márquez *et al.*, 2009).

En las capas de agua superficiales tropicales se encuentra una tendencia a la dominancia de especies de tamaños pequeños, por lo general menores de 500 µm de largo que se alimentan de nanopláncton y picopláncton, como bacterias, protistas y fitopláncton (p.ej. dinoflagelados atecados) (Albright, 1983; Longhurst, 1985; Hopcroft *et al.*, 1998; Kiørboe, 2011). Son especies que tienen cortas migraciones y que por lo general no pasan la profundidad de la capa máxima de clorofila o en su defecto la picnoclina (Paffenhöfer, 1993). A medida que se profundiza, aunque la dominancia sigue siendo de especies pequeñas, las proporciones de las más grandes aumentan, pareciendo especies con predilección a la caza y omnivoría con predilección al pastoreo de picopláncton y micropláncton (Paffenhöfer y Knowles, 1980; Paffenhöfer, 1998). Estas especies presentan migraciones más largas y no tienen barreras naturales como las superficiales. Sin embargo, su tendencia es a subir en búsqueda de comida a la capa máxima de clorofila (Longhurst, 1985). En las zonas más profundas, aumenta el número de especies de mayores tamaños (>1 mm) y su predilección a alimentarse de los que les pueda llegar de arriba, por lo que se convierten en filtradores activos de la nieve marina. La mayoría de las especies no suben a la superficie y sus migraciones se dan dentro de la zona profunda donde la temperatura y la presión del agua es un factor limitante para ellos (Longhurst, 1985; Kiørboe *et al.*, 2009).

La masa de agua M1 estuvo dominado por especies pequeñas como *Temora turbinata* y juveniles de los diferentes grupos de copépodos calanoideos como los de la familia Calusocalanidae y Paracalanidae. Estas son especies que se caracterizan por alimentarse de fitopláncton pequeño, por lo que son considerados omnívoros-herbívoros (Landry *et al.*, 1985; Kiørboe, 2011). Esta misma situación hace que las especies dominantes sean diferentes a las encontradas en otras regiones oceánicas del Caribe (Gutiérrez-Salcedo, 2011; Garrido-Linares *et al.*, 2014a) y del trópico (Longhurst, 1985), en donde dominan adultos de las especies de las familias Clausocalanidae, Paracalanidae, así como diferentes especies del género *Oncaeaa*, principalmente *O. venusta* en regiones con surgencias.

La masa de agua M2, mantuvo la dominancia del mismo grupo de especies pequeñas, sin embargo, se observó un incremento notable en especies carnívoras (cazadoras activas) como el cyclopoido *Corycaeus laetus* (Gophen y Harris, 1981). Esta situación permite inferir que la capa máxima de clorofila se encuentra ubicada dentro de los primeros 70 m de la columna de agua, ya que los cazadores activos se ubican normalmente debajo de esta capa para poder capturar sus presas más fácilmente por encontrarse en densidades altas y pendientes más de su alimentación que de los posibles depredadores (Kiørboe *et al.*, 2009). Por otro lado, la estructura del ensamblaje de esta masa de agua es más semejante a otros sectores oceánicos del Caribe colombiano (Gutiérrez-Salcedo, 2011) y del trópico (Longhurst, 1985) con respecto a la masa de agua M1. Esto está indicando que la influencia directa de la pluma del río Magdalena solo se está dando en la primera masa de agua, como se ha evidenciado en otros estudios con influencias de ríos (Changsheng *et al.*, 1997; Bernal

y Zea, 2000). Sin embargo, existe una influencia indirecta, ya que aún se presentan especies costeras y neríticas en abundancias altas, como es el caso de *Temora turbinata*.

La masa de agua M3 aún mantiene una estructura similar de especies a lo descrito en las masas de agua anterior; sin embargo, se comienza a diferenciar porque existió un aumento en la frecuencia de ostrácodos del género Conchoecia. Este género se caracteriza por presentar especies tanto carnívoras como detritívoras activas y presentan aumento de abundancia cuando el ambiente contiene altas cantidades de materia orgánica particulada (Lochhead, 1968). Aunque los ostrácodos son un grupo habitual a estas profundidades, sus proporciones de abundancias tienden a ser menores a lo encontrado en las capas más superficiales (Gutiérrez-Salcedo, 2011). Esta situación hace pensar que el aporte generado por la pluma del río y la producción de la masa de agua M1 está llegando en cantidades más altas de lo normal de lo que se puede presentar en condiciones normales dentro de la provincia oceánica a esta profundidad (Hernández-Guerra y Joyce, 2000). Otra de las características que se alcanza a notar es el cambio de especie del género *Temora*, en las capas superficiales está presente *T. turbinata*, como ya se ha descrito, pero a partir de esta masa de agua, la dominancia de *T. stylifera* es mayor. Esta especie hermana casi duplica el tamaño de *T. turbinata* (Razouls *et al.*, 2005-2017) y está más habituada a vivir en la provincia oceánica; mientras que *T. turbinata* es una especie muy característica de ambientes costeros con alta turbidez, temperatura y baja salinidad (Scotto di Carlo *et al.*, 1984; Razouls *et al.*, 2005-2017).

Por último, la masa de agua M4 fue la que presentó una estructura general más disímil a las tres masas anteriores, bajando la dominancia de las especies pequeñas y aumentando la de especies más grandes. Una de las particularidades es que la especie *Oithona spinifera* presentó mayores abundancias en esta masa de agua. Esta especie se alimenta de todo lo que le llegue y es muy activa, creando corrientes que le hace que el alimento se acerque y con sus setas puede filtrar proporciones considerables de alimento con respecto a las especies hermanas que se encontraron en masas de agua superiores (Paffenhofer y Mazzocchi, 2002). Otra característica que permitió diferenciar esta masa de agua de las demás, es la presencia en grandes proporciones de juveniles del género *Subeuclanus*. Este grupo se caracteriza por presentar especies epiplanctónicas (0-200 m de profundidad), pero en su ciclo de vida, las larvas y juveniles viven en profundidades superiores a 500 m, subiendo a medida que va creciendo y madurando (Cass, 2011). Al igual que las otras especies, es un grupo omnívoro que dependiendo la especie puede ser activa o pasiva. Para estas profundidades, la estructura encontrada en otros estudios en el Caribe colombiano (Bernal y Zea, 2000; Gutiérrez-Salcedo, 2011; Garrido-Linares *et al.*, 2014a) y en el trópico (Longhurst, 1985) es muy similar, posiblemente porque después de los 600 m de profundidad, las condiciones son casi idénticas en todas las áreas estudiadas, con aguas muy frías, oscuridad casi total y escases de alimento (Emery y Meincke, 1986).

Las estructuras de los ensamblajes en cuanto a las masas de agua siguen la misma disposición a lo encontrado en el estudio de Gutiérrez-Salcedo (2011), hacen parte de una misma comunidad con intercambio y flujo de energía, donde la similitud de dichas

estructuras está correlacionada con la ubicación en la columna de agua, siendo más parecidas entre las que se encuentran más superficialmente y entre las más cercanas o contiguas, por ejemplo, la masa de agua M1 fue más parecida a la M2 que a la M4.

Desglosando lo anterior, se puede observar que el atributo ecológico de abundancia presentó un patrón de disminución de los valores con la profundidad de las masas de agua, pasando de centenas en las masas de agua superficiales a unidades en la masa de agua más profunda. Este patrón es consistente con los demás sectores del Caribe colombiano (Gutiérrez-Salcedo, 2011; Garrido-Linares *et al.*, 2014a), así como con estudios oceánicos en la región tropical (p.ej. Longhurst, 1985) y en otras regiones (p.ej. Vinogradov, 1968; Paffenhöfer y Mazzocchi, 2003; Rombouts *et al.*, 2009). Es de esperar que la capa superficial de los océanos presente la mayor cantidad de organismos zooplanctónicos con respecto a las zonas más profundas, debido que este lugar es donde se genera toda la producción primaria (Longhurst, 1976), indispensable para que las poblaciones de los organismos que hacen parte del zooplancton puedan crecer y mantenerse (Fenchel, 1988; Daly y Smith, 1993). Mientras que las zonas más profundas, dependen de lo que se produce y se hunde de la superficie, siendo un poco más hostil para que las especies puedan proliferar fácilmente (Terazaki, 1995).

El área comprendida dentro del bloque COL3 presenta condiciones como baja salinidad, mayor turbidez, aumento de la temperatura, debido principalmente al aporte de la pluma de agua del río Magdalena que trae consigo nutrientes costeros, y que presentan interacción con el océano. Ecológicamente, el afloramiento y la descarga continental implican procesos de fertilización que contribuyen a aumentar la productividad del sistema como un todo (Márquez, 2009). Esto sumado posiblemente a la influencia de los vientos que intervienen en estratificación del zooplancton e influir en la composición del ensamblaje de la comunidad zooplanctónica.

Según reporta Margalef (1969), con citas de varios autores, áreas de elevada fertilidad pueden estar asociadas con descarga de los ríos, como un ejemplo se puede considerar el Mississippi que añade elevadas cantidades de fosfatos, además de gran cantidad de diatomeas de agua dulce, y grandes cantidades de clorofila, el incremento observado de la biomasa vegetal se debe en gran parte al aumento de la producción de las poblaciones marinas locales. Además, señala que siempre hay un transporte neto de materia orgánica desde los centros productivos en los que la mezcla es alta, hacia las regiones de baja productividad y también de menor mezcla. A medida que los nutrientes van siendo utilizados y se añaden nuevos niveles tróficos al sistema, su organización en el espacio adopta un patrón concéntrico. En los centros de afloramiento, el zooplancton contiene una alta proporción de copépodos de pequeño tamaño y vida corta, pastoreadores como *Oithona*, *Paracalanus* y *Clausocalanus*.

Teniendo en cuenta el aporte de gran cantidad de nutrientes y que la distancia entre la desembocadura del río Magdalena y la ubicación de los puntos más cercanos son aproximadamente 10 kilómetros, se puede relacionar la presencia de especies neríticas, con abundancias altas, como los copépodos: *Paracalanus parvus*, *Mecynocera clausi*, *Calocalanus pavo*, *Euchaeta marina*, y algunas especies de los géneros *Haloptilus*, *Candacia*, *Labidocera*, *Calanopia*, *Oncea*, *Sapphirina*, y *Carycaeus*, además del tunicado

*Doliolum sp.*, y el cladócero *Pseudevadne tergestina*, reportados para Santa Marta por varios autores; y la baja abundancia de las especies oceánicas como lo fueron: *Undinula vulgaris*, *Calocalanus pavo*, *Euchaeta marina*, *Scolecitrix danae*, *Halophilus longicornis*, *Oncae venusta*, *Corycaeus speciosus* y *Farranula gracilis* (Aranguren *et al.*; 2002).

### 3.3.4 Conclusiones

- Se puede considerar al ensamblaje zooplanctónico del bloque COL3 como una comunidad mixta, con presencia de organismos tanto oceánicos como costeros y estuarinos, de hábitos herbívoros, carnívoros, y detritívoros esto debido principalmente a la presencia de corrientes oceánicas que hacen su paso y los aportes continentales provenientes principalmente del río Magdalena que le brindan al bloque una complejidad y heterogeneidad muy importante en términos de riqueza.
- La estructura de los ensamblajes es más similar en las capas superficiales que en las capas profundas y además presenta una marcada disminución en términos de abundancia a medida que aumenta la profundidad esto demuestra la relación entre la disponibilidad de alimento y la estratificación de la columna de agua.
- Los factores más importantes en la interacción entre la comunidad biótica y las condiciones físicas de la columna de agua fueron la temperatura y la salinidad, esto demuestra el impacto importante que tiene el río Magdalena en el área influyendo en la composición del ensamble de la comunidad zooplancónica del bloque COL3.
- El aporte de aguas continentales provenientes del río Magdalena, ha hecho que la estructura tradicional de la comunidad zooplancónica oceánica se modifique al compararlos con otros sectores del Caribe colombiano en cuanto a dominancia de grupos, más no de abundancias o de cambios bruscos de especies, por lo que se pueden considerar los diferentes ensamblajes parte de la comunidad zooplancónica natural del Caribe colombiano.

## 3.4 Resultados de la comunidad ictioplanctónica

### 3.4.1 Análisis cualitativo

Se separaron y cuantificaron los huevos y larvas de 30 muestras que equivalen a la totalidad de las establecidas para las estaciones de muestreo. 28 muestras corresponden a las estaciones E555, E559, E561, E564, E566, E567 y E570 (por 4 masas de agua cada una) y las dos restantes corresponden a la estación E557, de la cual sólo se tomaron muestras de dos masas de agua. Se identificó al 100% las larvas de peces hasta el nivel taxonómico de familia y de éstas se llegó a nivel de género el 82% y a nivel de especie alrededor del 50%. Con ésta información taxonómica se realizó una matriz de la composición del ictioplancton dentro del bloque COL3 hasta los 1.000 m de profundidad, donde se relaciona su filogenia (Tabla 22).

Tabla 22. Composición taxonómica de la fauna Ictioplanctónica presente en el bloque COL3:

| CLASE          | SUBCLASE    | ORDEN             | FAMILIA         | ESPECIE                              | AUTOR                                 |
|----------------|-------------|-------------------|-----------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Actinopterygii | Neopterygii | Elopiformes       | Megalopidae     | <i>Megalops atlanticus</i>           | Valenciennes 1847                     |
|                |             | Anguilliformes    | Ophichthidae    | <i>Ophichthus cruentifer</i>         | (Goode & Bean 1896)                   |
|                |             | Perciformes       | Carangidae      | <i>Caranx ruber</i>                  | (Bloch 1793)                          |
|                |             | Stomiiformes      | Phosichthyidae  | <i>Pollichthys mauli</i>             | (Poll 1953)                           |
|                |             | Perciformes       | Acropomatidae   | <i>Synagrops</i>                     | Günther, 1887                         |
|                |             | Stomiiformes      | Gonostomatidae  | <i>Cyclothona sp</i>                 | Goode y Bean, 1883                    |
|                |             | Perciformes       | Carangidae      | <i>Selar crumenophthalmus</i>        | (Bloch 1793)                          |
|                |             | Stomiiformes      | Gonostomatidae  | <i>Cyclothona acclinidens</i>        | Garman, 1899                          |
|                |             | Myctophiformes    | Myctophidae     | <i>Diaphus sp</i>                    | C.H. Eigenmann y R.S. Eigenmann, 1890 |
|                |             | Stomiiformes      | Phosichthyidae  | <i>Vinciguerria sp</i>               | D. S. Jordan & Evermann, 1896         |
|                |             | Pleuronectiformes | Paralichthyidae | <i>Syacum sp</i>                     | Ranzani, 1842                         |
|                |             | Myctophiformes    | Myctophidae     | <i>Diogenichthys atlanticus</i>      | Taning, 1928                          |
|                |             | Tetraodontiformes | Balistidae      | <i>Balistes capricrus</i>            | Gmelin 1789                           |
|                |             | Stomiiformes      | Sternopychidae  | <i>Argyropelecus sladeni</i>         | Regan 1908                            |
|                |             | Aulopiformes      | Scopelarchidae  | <i>Scopelarchus guentheri</i>        | Alcock 1896                           |
|                |             | Myctophiformes    | Myctophidae     | <i>Myctophum obstusirostre</i>       | Taning, 1928                          |
|                |             | Gadiformes        | Bregmacerotidae | <i>Bregmaceros atlanticus</i>        | Thompson, 1840                        |
|                |             | Perciformes       | Howellidae      | <i>Howella atlantica</i>             | Post & Quéro 1991                     |
|                |             | Aulopiformes      | Scopelarchidae  | <i>Rosenblattichthys hubbsi</i>      | Johnson 1974                          |
|                |             | Perciformes       | Gobiidae        | <i>Gobionellus oceanicus</i>         | (Pallas 1770)                         |
|                |             | Perciformes       | Scaridae        | <i>Sparisoma atomarium</i>           | (Poey 1861)                           |
|                |             | Pleuronectiformes | Bothidae        | <i>Bothus ocellatus</i>              | (Agassiz 1831)                        |
|                |             | Perciformes       | Callionymidae   | <i>Diplogrammus pauciradiatus</i>    | (Gill 1865)                           |
|                |             | Stomiiformes      | Sternopychidae  | <i>Sternopyx pseudobscura</i>        | Baird 1971                            |
|                |             | Perciformes       | Carangidae      | <i>Caranx sp</i>                     | Lacepède, 1801                        |
|                |             | Aulopiformes      | Paralepididae   | <i>Lestidiops</i>                    | Hubbs, 1916                           |
|                |             | Stomiiformes      | Phosichthyidae  | <i>Vinciguerria nimbaria</i>         | (Jordan & Williams 1895)              |
|                |             | Perciformes       | Gempylidae      | <i>Gempylus</i>                      | Cuvier, 1829                          |
|                |             | Ophidiiformes     | Carapidae       | <i>Snyderidia canina</i>             | Gilbert 1905                          |
|                |             | Perciformes       | Gempylidae      | <i>Nesiarchus nasutus</i>            | Johnson 1862                          |
|                |             | Lophiiformes      | Oneirodidae     | <i>Dolopichthys sp</i>               | Garman, 1899                          |
|                |             | Stomiiformes      | Gonostomatidae  | <i>Sigmops sp</i>                    | Gill, 1883                            |
|                |             | Perciformes       | Eleotridae      | <i>Hypseleotris sp</i>               | Gill, 1863                            |
|                |             | Perciformes       | Howellidae      | <i>Howella sp</i>                    | Ogilby, 1899                          |
|                |             | Perciformes       | Scombridae      | <i>Thunnus alalunga</i>              | (Bonnaterre 1788)                     |
|                |             | Perciformes       | Scombridae      | <i>Katsuwonus pelamis</i>            | (Linnaeus 1758)                       |
|                |             | Perciformes       | Gempylidae      | <i>Diplospinus multistriatus</i>     | Maul 1948                             |
|                |             | Perciformes       | Scaridae        | <i>Sparisoma</i>                     | Swainson, 1839                        |
|                |             | Perciformes       | Labridae        | <i>Thalassoma bifasciatum</i>        | (Bloch 1791)                          |
|                |             | Myctophiformes    | Myctophidae     | <i>Myctophum asperum</i>             | Richardson 1845                       |
|                |             | Perciformes       | Acanthuridae    | <i>Acanthurus</i>                    | Forsskål, 1775                        |
|                |             | Myctophiformes    | Myctophidae     | <i>Benthosema</i>                    | Goode & Bean, 1896                    |
|                |             | Myctophiformes    | Myctophidae     | <i>Centrobranchus nigroocellatus</i> | (Günther, 1873)                       |
|                |             | Myctophiformes    | Myctophidae     | <i>Hygophum</i>                      | Bolin, 1939                           |
|                |             | Perciformes       | Scombridae      | <i>Thunnus</i>                       | South, 1845                           |
|                |             | Perciformes       | Gerreidae       | <i>Eucinostomus</i>                  | Baird & Girard, 1855                  |
|                |             | Myctophiformes    | Myctophidae     | <i>Myctophum</i>                     | Rafinesque, 1810                      |
|                |             | Pleuronectiformes | Tetraodontidae  | <i>Sphoeroides</i>                   | [Lacepède], 1798                      |
|                |             | Perciformes       | Gobiidae        | <i>Ctenogobius boleosoma</i>         | (Jordan & Gilbert 1882)               |
|                |             | Stomiiformes      | Sternopychidae  | <i>Sternopyx diaphana</i>            | Hermann 1781                          |
|                |             | Perciformes       | Carangidae      | <i>Seriola</i>                       | Cuvier, 1816                          |
|                |             | Perciformes       | Serranidae      | <i>Diplectrum</i>                    | Holbrook, 1855                        |
|                |             | Albuliformes      | Albulidae       | <i>Albula</i>                        | Scopoli, 1777                         |

Se colectaron en total 165 larvas distribuidas en 32 familias, 23 géneros y 30 especies pertenecientes a 12 órdenes Actinopterygios. De las familias identificadas las que obtuvieron mayor representatividad fueron las familias Gonostomatidae con un 33%, y la familia Myctophidae (19%), seguido por una amplia diferencia las familias

Gobiidae, Phosichthyidae, Scombridae, Carangidae, Gempylidae y Scaridae. El ítem otros con un porcentaje del 5% lo conforman aquellas familias con un bajo número de individuos colectados sin incluir las familias que sólo estuvieron representadas por un único individuo (Figura 79).

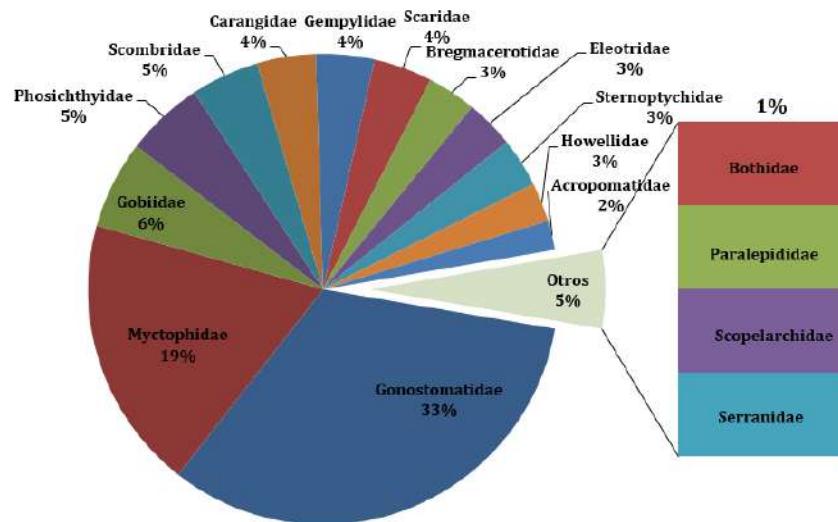


Figura 79. Representatividad de larvas por familia encontrados en el bloque COL3

A nivel de género y/o especie se obtuvo que *Cyclothona* sp. fue el género con mayor representatividad (número de larvas) con un 30%, seguido por la especie *Cyclothona acclinidens*. (13%) y el género *Diaphus* sp. (11%). El ítem otros (31%) estuvo conformado por aquellos géneros o especies con baja representatividad (no se incluyeron los géneros y/o especies que obtuvieron un único ejemplar (Figura 80).

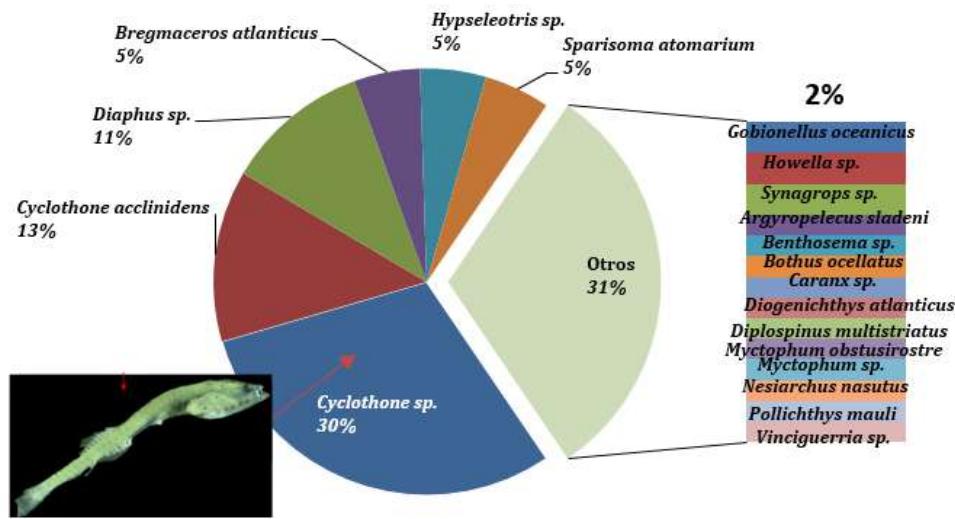


Figura 80. Representatividad de larvas por género y/o especie encontrados en el bloque COL3.

La familia con mayor variedad de morfotipos fue Myctophidae, donde se identificaron 8 morfotipos diferentes, siendo el género *Diaphus* sp. con 50% el más representativo (Figura 81).

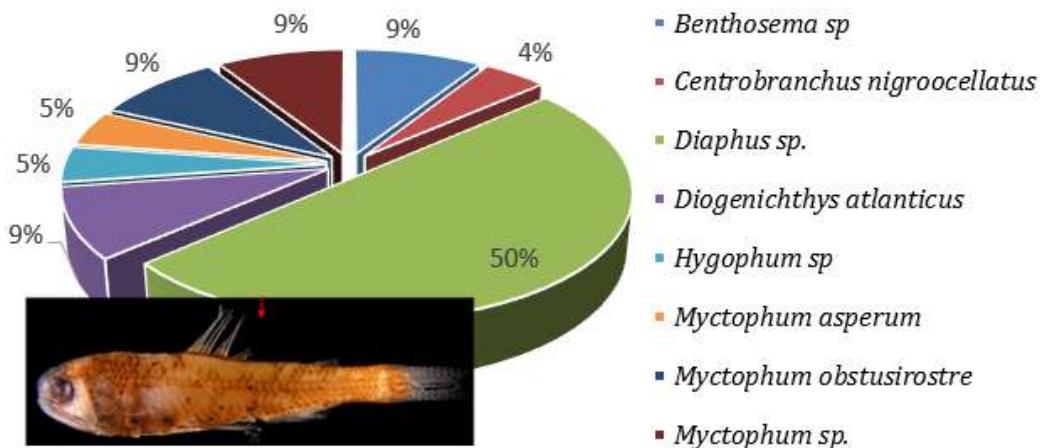


Figura 81. Representatividad de morfotipos (especies y/o géneros) de la familia Myctophidae encontradas en el bloque COL3

En términos de frecuencia de aparición la familia Gonostomatidae se capturó en todas las estaciones de muestreo, seguido de la familia Myctophidae que se capturó en 7 de las estaciones. Las familias Bregmacerotidae y Phosichthyidae se encontraron en 5 de las estaciones de muestreo (Figura 82).

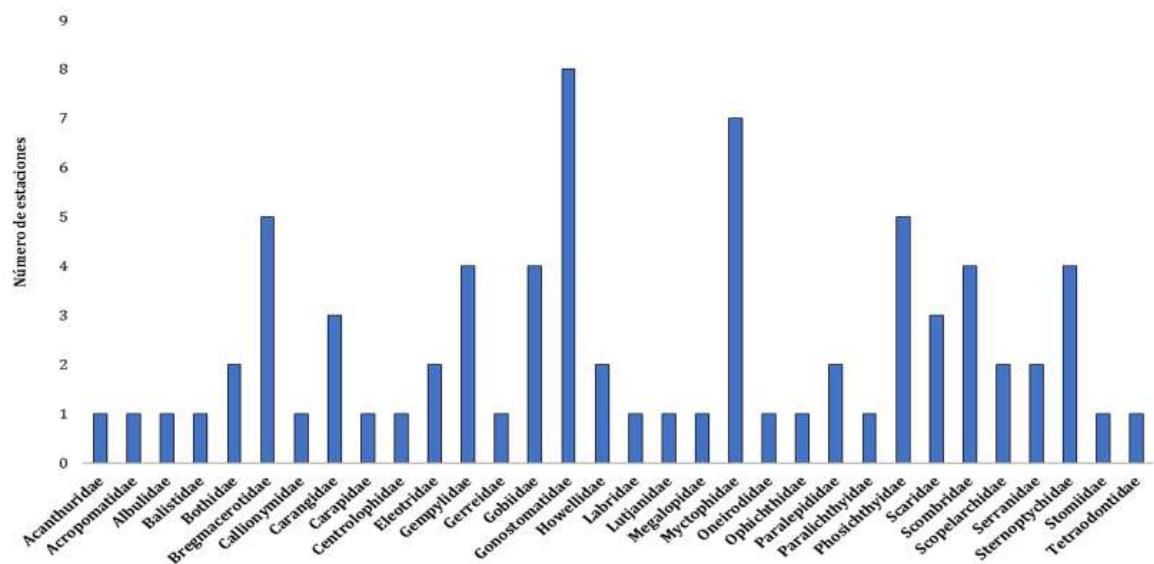


Figura 82. Frecuencia de aparición de las familias de larvas de peces identificadas en el bloque COL3.

### 3.4.2 Análisis cuantitativo

Se obtuvo una densidad total de 920 larvas/1.000m<sup>3</sup> con un promedio por estación de  $30,88 \pm 43,95$  larvas/1.000m<sup>3</sup>. Geográficamente la estación que mayor abundancia obtuvo fue la E566 (188 larvas/1.000m<sup>3</sup>), seguido de las estaciones E561 (149 larvas/1.000m<sup>3</sup>) y E567 (145 larvas/1.000m<sup>3</sup>), mientras que la estación E564 (48 larvas/1.000m<sup>3</sup>) fue la de menor abundancia. En la columna de agua la abundancia disminuyó con la profundidad, siendo las masas 1 y 2 las que reportaron los valores

más altos de abundancia (479 larvas/1.000m<sup>3</sup>) y (215 larvas/1.000m<sup>3</sup>) respectivamente y las masas 3 (106 larvas/1.000m<sup>3</sup>) y 4 (120 larvas/1.000m<sup>3</sup>) obtuvieron los valores más bajos de abundancia. Cabe aclarar que la estación E557 se sacó de los análisis por no tener datos en la totalidad de las masas de agua.

Los análisis multivariados de agrupación jerárquica dendograma (CLUSTER) y de SIMPROF realizados, no permitieron evidenciar a priori diferencias entre las masas de agua (Figura 83), sin embargo, el estadístico ANOSIM con una significancia del 3,3% y un R global de 0,121 permitió inferir que existe diferencias entre las masas de agua pero con una significancia baja, lo cual se corroboró con la prueba estadística PERMANOVA ( $F=1,650$ ;  $p=0,041$ ) mostrando que no hay una diferencia significativamente alta entre las masas y que la diferencia al parecer está dada por la masa 4 (Tabla 23). Es por ello y teniendo en cuenta los resultados de los análisis estadísticos se va a describir por separado cada una de las masas para explorar esas leves diferencias.

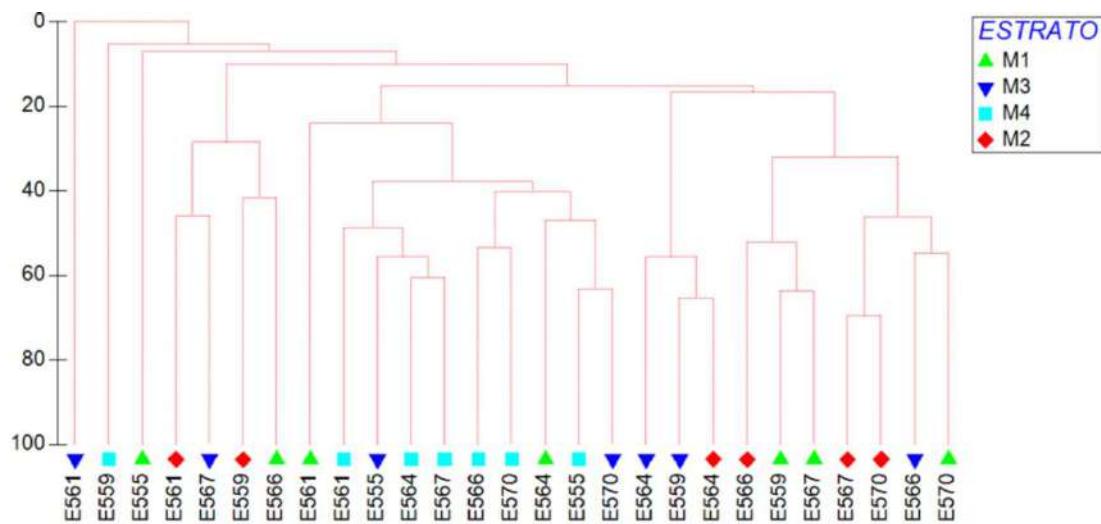


Figura 83. Análisis descriptivo multivariado no paramétrico de clasificación cuantitativa (CLUSTER) para las estaciones encontradas en el bloque COL3 1. Líneas rojas: grupos creados por SIMPROF.

Tabla 23. Test de pruebas pareadas PERMANOVA entre las masas de agua del bloque COL3.

| Grupos        | t       | P (perm)     | perms |
|---------------|---------|--------------|-------|
| <b>M1, M3</b> | 1,2282  | 0,1389       | 772   |
| <b>M1, M4</b> | 1,7568  | <b>0,015</b> | 764   |
| <b>M1, M2</b> | 0,75185 | 0,7842       | 761   |
| <b>M3, M4</b> | 1,3728  | <b>0,035</b> | 751   |
| <b>M3, M2</b> | 0,79974 | 0,6953       | 746   |
| <b>M4, M2</b> | 1,6362  | <b>0,011</b> | 731   |

### Masa de Agua 1 - M1 (0 - 60 m)

Abundancia: Se obtuvo una densidad total de 479 larvas/1.000m<sup>3</sup> (52% del total del área de estudio con un promedio de  $28,88 \pm 25,34$  larvas/1.000m<sup>3</sup>, siendo la estación E561 la que más abundancia presentó (95 larvas/1.000m<sup>3</sup>), seguido de la estación E567 con 93 larvas/1.000m<sup>3</sup>, mientras que la estación E564 fue la de menor abundancia (9 larvas/1.000m<sup>3</sup>).

El 50% de la abundancia total de la masa estuvo representada por las familias Myctophidae (22%), Scaridae (16%) y Eleotridae (12%) (Figura 84). De la familia Myctophidae la especie más representativa fue *Myctophum obstusirostre*. (31 larvas/1.000m<sup>3</sup>), (Figura 85). La familia Scaridae estuvo representada por la especie *Sparisoma atomarium* (71 larvas/1.000m<sup>3</sup>) (Figura 85B) y la familia Eleotridae por el género *Hypseleotris* sp. (50 larvas/11.000m<sup>3</sup>) (Figura 85C).

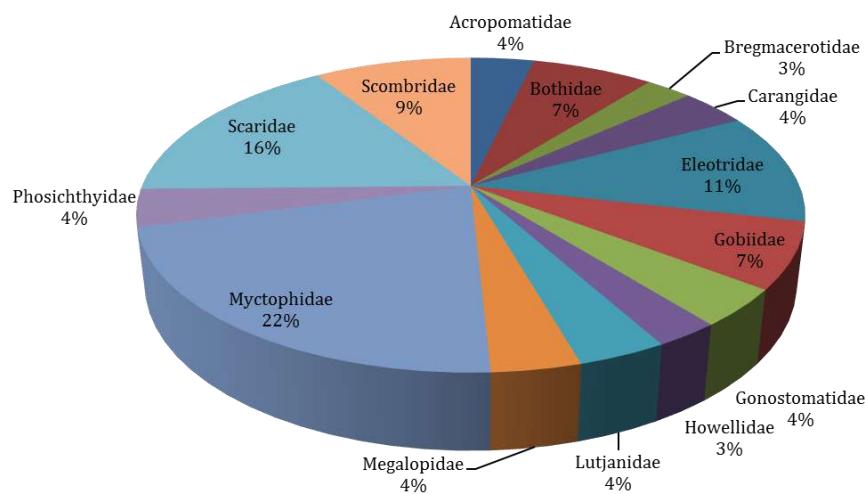


Figura 84. Representatividad porcentual de la abundancia de familias de larvas de peces encontradas en la masa de agua 1 en el bloque COL3.

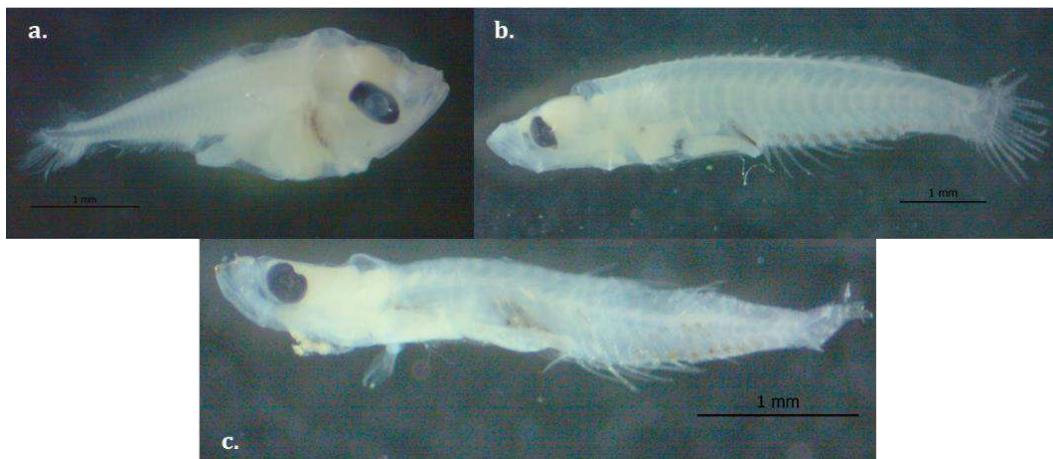


Figura 85. Especies y géneros más representativos encontradas en la masa de agua 1 en bloque COL3. A. *Myctophum obstusirostre* B. *Sparisoma atomarium* C. *Hypseleotris* sp.

**Número de familias:** Se presentaron en total 18 familias de las 32 encontradas (56%), de las cuales se identificaron 20 géneros (87%) y 10 especies (33%) del total de las encontradas en el bloque. De las familias presentes las que mayor número de morfotipos agruparon fueron Myctophidae con cinco, seguido de las familias Carangidae. Gonostomatidae, Scombridae y Gobiidae con dos. Las restantes familias obtuvieron un solo morfotipo y se agrupan en el ítem otros (Figura 86).

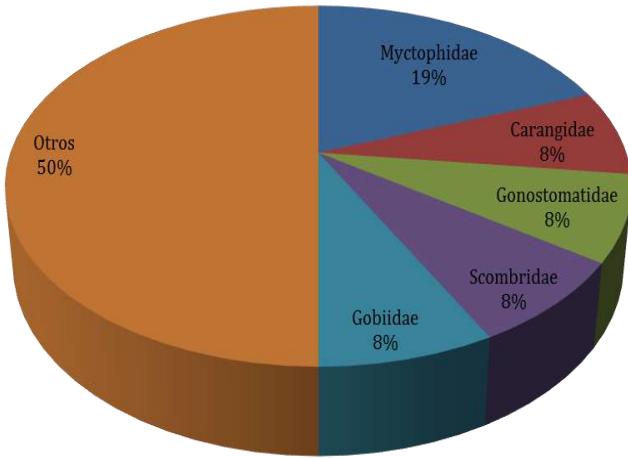


Figura 86. Representatividad porcentual del número de morfotipos agrupados en las familias de larvas de peces encontradas en la masa de agua 1 del bloque COL3.

En cuanto a las estaciones el promedio fue de  $68,42 \pm 30,85$  familias, siendo la estación E564 (lado Norte) la que presentó el mayor número de familias con siete (Carangidae, Gempylidae, Gonostomatidae, Myctophidae, Paralichthyidae, Phosichthyidae y Scombridae), mientras que la estación E559 (lado noroeste) fue la que obtuvo en menor número de familias con dos (Myctophidae y Scombridae) (Figura 87).

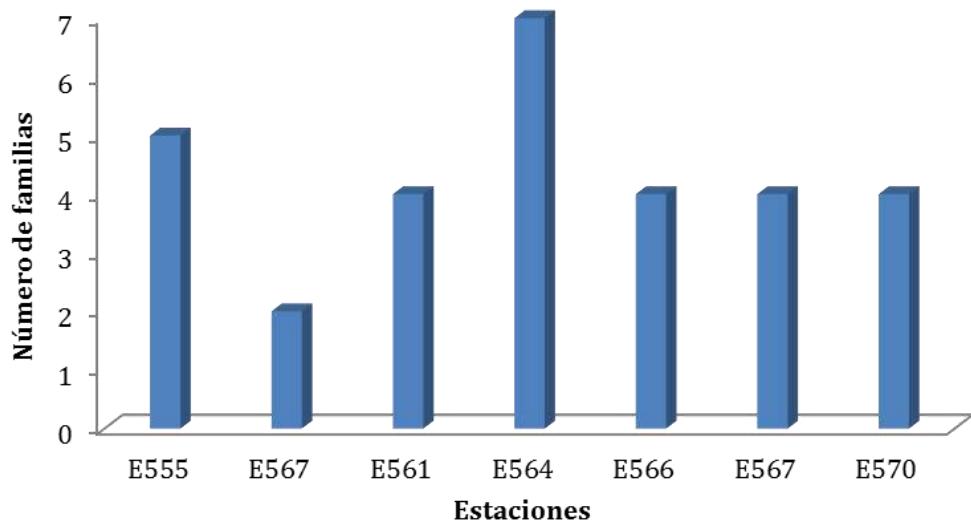


Figura 87. Número de familias de larvas de peces encontradas en la masa de agua 1 del bloque COL3.

**Otros atributos ecológicos:** La estación E559 (lado suroeste) por presentar una sola familia no se le calcularon los diferentes atributos ecológicos. De las seis estaciones a las cuales se le pudieron hacer los cálculos, dos presentaron un valor de uniformidad ( $J'$ ) equivalente a 1 (E555 y E567), mientras que las restantes presentaron valores entre 0,90 a 0,98. Aunque no se presenta una marcada tendencia los valores más altos de uniformidad se ubicaron en la porción central del bloque.

En cuanto al predominio de Simpson ( $\lambda$ ), se obtuvieron valores entre 0,18 (E564) a 0,33 (E561 y E567) bits, mientras que la diversidad de Shannon ( $H'$ ) estuvo entre 0,48 (E567) a 0,76 (E564) bits. Este último atributo está influenciado por los anteriores, observándose una relación inversamente proporcional entre la diversidad y el predominio, donde las estaciones con más alto diversidad coinciden con las de más bajo predominio y viceversa (Tabla 24).

Tabla 24. Principales atributos ecológicos de las estaciones de los bloques COL3 por cada una de las masas de agua.  $H'$ : índice de diversidad Shannon-Wiener,  $J'$ : índice de uniformidad de Pielou e ( $\lambda$ ) índice de dominancia de Simpson. Los valores máximos (negro) y mínimos (rojo) de cada masa, resaltados en negrita

| Estación    | Masa | S | N  | J'          | H'           | $\lambda$   |
|-------------|------|---|----|-------------|--------------|-------------|
| <b>E555</b> | M1   | 5 | 90 | <b>1,00</b> | 0,70         | 0,20        |
| <b>E561</b> | M1   | 4 | 96 | 0,90        | <b>0,54,</b> | <b>0,33</b> |
| <b>E564</b> | M1   | 6 | 7  | 0,98        | <b>0,76</b>  | <b>0,18</b> |
| <b>E566</b> | M1   | 4 | 82 | <b>0,93</b> | 0,56         | 0,30        |
| <b>E567</b> | M1   | 3 | 69 | <b>1,00</b> | <b>0,48</b>  | <b>0,33</b> |
| <b>E570</b> | M1   | 4 | 75 | 0,96        | 0,58         | 0,28        |
| <b>E559</b> | M2   | 5 | 65 | <b>1,00</b> | <b>0,70</b>  | <b>0,20</b> |
| <b>E561</b> | M2   | 2 | 34 | <b>1,00</b> | 0,30         | 0,50        |
| <b>E566</b> | M2   | 6 | 57 | <b>0,91</b> | <b>0,71</b>  | <b>0,23</b> |
| <b>E570</b> | M2   | 2 | 29 | 0,39        | <b>0,28</b>  | <b>0,55</b> |
| <b>E555</b> | M3   | 2 | 20 | <b>1,00</b> | <b>0,30</b>  | <b>0,50</b> |
| <b>E559</b> | M3   | 2 | 20 | <b>1,00</b> | <b>0,30</b>  | <b>0,50</b> |
| <b>E564</b> | M3   | 2 | 12 | <b>1,00</b> | <b>0,30</b>  | <b>0,50</b> |
| <b>E566</b> | M3   | 6 | 27 | <b>0,94</b> | <b>0,73</b>  | <b>0,21</b> |
| <b>E567</b> | M3   | 2 | 18 | <b>1,00</b> | <b>0,30</b>  | <b>0,50</b> |
| <b>E570</b> | M3   | 2 | 6  | <b>1,00</b> | <b>0,30</b>  | <b>0,50</b> |
| <b>E555</b> | M4   | 4 | 18 | <b>0,90</b> | 0,54         | 0,33        |
| <b>E561</b> | M4   | 2 | 15 | <b>0,72</b> | <b>0,22</b>  | <b>0,68</b> |
| <b>E564</b> | M4   | 5 | 19 | 0,83,       | 0,58         | 0,34        |
| <b>E566</b> | M4   | 8 | 24 | 0,69        | 0,63         | 0,37        |
| <b>E567</b> | M4   | 2 | 14 | 0,75        | 0,23         | 0,66        |
| <b>E570</b> | M4   | 8 | 25 | 0,78        | <b>0,70</b>  | <b>0,27</b> |

**Análisis estadístico:** La prueba no paramétrica de Kruskall-Wallis ( $H=2,29$ ;  $p=0,89$ ) permite inferir que no existe diferencias significativas entre las estaciones en la masa de agua 1, mostrando que no hay un patrón de agrupamiento de las estaciones en términos geográficos.

### Masa de Agua 2 - M2 (70 - 140 m)

Abundancia: Se obtuvo una densidad total de 215 larvas/1.000m<sup>3</sup> (23% del total del área de estudio). No se encontraron larvas en la estación E555, de las restantes se obtuvo un promedio de  $28,35 \pm 55,13$  larvas/1.000m<sup>3</sup>, siendo la estación E559 la que más abundancia presentó (67 larvas/1.000m<sup>3</sup>), mientras que la estación E564 fue la de menor abundancia (9 larvas/1.000m<sup>3</sup>).

El 60% de la abundancia total de la capa estuvo representada por las familias Myctophidae (23%), Bregmacerotidae (15%), Scaridae y Scombridae con 11% cada una 10% (Figura 88). De la familia Myctophidae el género más representativo fue *Myctophum* sp. (31 larvas/1.000m<sup>3</sup>) (Figura 89a). La familia Bregmacerotidae, estuvo representada principalmente por *Bregmaceros atlanticus*. (30 larvas/1.000m<sup>3</sup>) (Figura 89b) y la familia Scaridae por la especie *Spalisoma atomarium* (17 larvas/1.000m<sup>3</sup>). La familia Scombridae no se identificó a nivel de género o especie el más representativo.

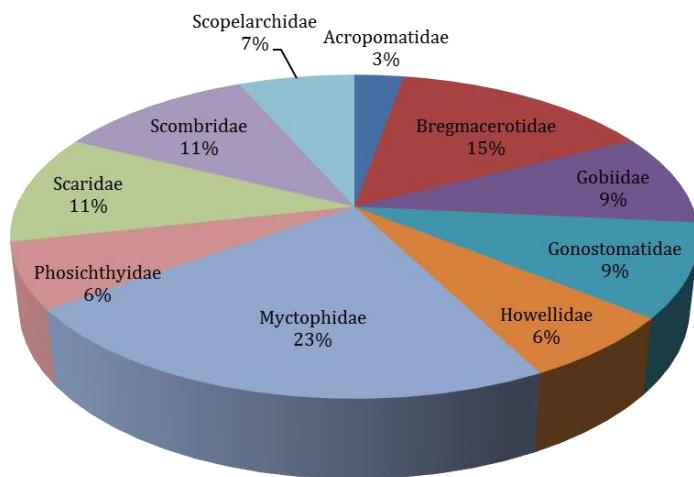


Figura 88. Representatividad porcentual de la abundancia de familias de larvas de peces encontradas en la masa de agua 2 en el bloque COL3.

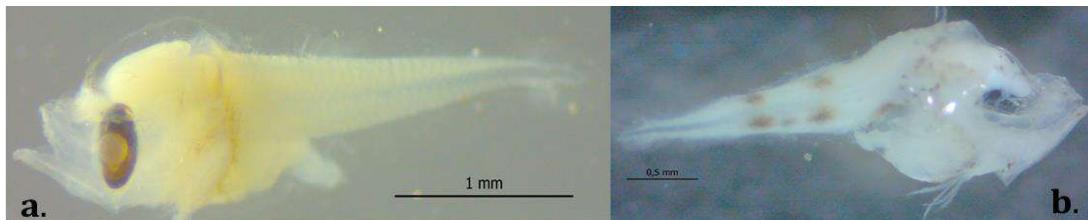


Figura 89. Especies y géneros más representativos encontradas en la masa de agua 2 en bloque COL3. *Myctophum* sp. (A), *Bregmaceros atlanticus* (B).

**Número de familias:** Se presentaron en total 11 familias de las 32 encontradas (34%), de las cuales se identificaron 14 géneros (60%) y 9 especies (30%) del total de las encontradas en el bloque. De las familias presentes las que mayor número de morfotipos agrupó fue la familia Myctophidae y Scombridae con 5 cada una, seguida de las familias Gonostomatidae, Gobiidae y Scaridae con 2 morfotipos; las restantes familias obtuvieron un solo morfotipo y se agrupan en el ítem otros (Figura 90).

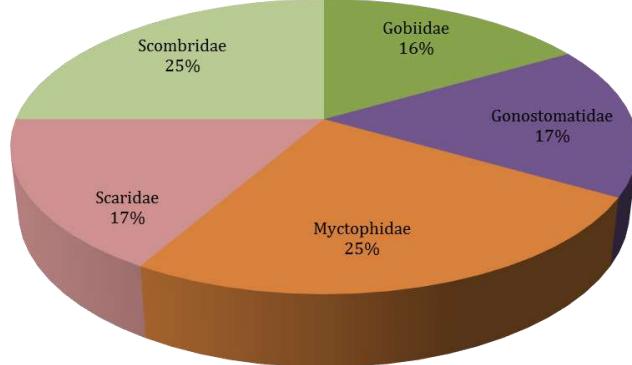


Figura 90. Representatividad porcentual del número de morfotipos agrupados en las familias de larvas de peces encontradas en la masa de agua 2 del bloque COL3.

En cuanto a las estaciones el promedio fue de  $35,80 \pm 21,75$  familias, siendo la estación E566 (porción central del boque) la que presentó el mayor número de familias con seis (Acropomatidae, Gempylidae, Gonostomatidae, Myctophidae, Scaridae y Scombridae), mientras que las estaciones E564 y E567 (lado norte y noreste respectivamente) fueron las que obtuvieron en menor número de familias con sólo un representante perteneciente a las familias Gobiidae (E564) y Myctophidae (E567) (Figura 91).

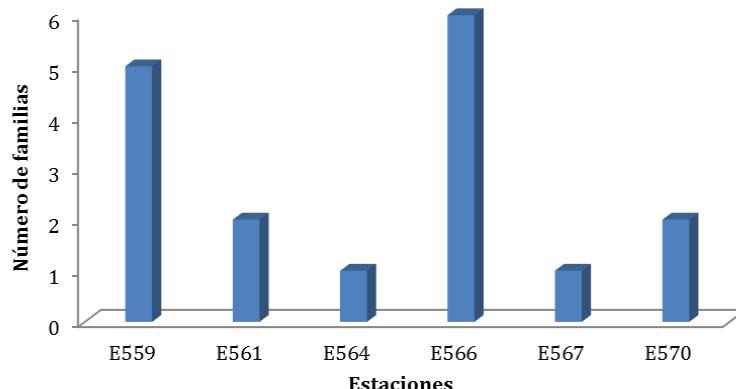


Figura 91. Número de familias de larvas de peces encontradas en la masa de agua 2 del bloque COL3.

**Otros atributos ecológicos:** Las estaciones E555, E564 y E567 por presentar una sola familia no se le calcularon los diferentes atributos ecológicos. De los cuatro restantes se obtuvo que las estaciones E559 y E561 (lado noroeste) obtuvieron un valor de uniformidad ( $J'$ ) equivalente a 1; mientras que las estaciones restantes presentaron valores entre 0,91 a 0,96.

En cuanto al predominio de Simpson ( $\lambda$ ) y diversidad de Shanon ( $H'$ ) la E559 (lado noreste) obtuvo el valor más alto de diversidad (0,70 bits) y el más bajo de predominio (0,20 bits), mientras que la E566 (porción central) presentó los valores inversos, el más bajo de diversidad (0,28) y el más alto de predominio con 0,55 bits. Al igual que la masa de agua anterior se observa una relación inversamente proporcional entre la diversidad y el predominio, donde las estaciones con más alto predominio tienen los valores más bajos de diversidad y viceversa (Tabla 24).

**Análisis estadístico:** La prueba no paramétrica de Kruskall-Wallis ( $H=10,42$ ;  $p=0,10$ ) permite inferir que no existe diferencias significativas entre las estaciones en la masa de agua 2, mostrando al igual que la masa anterior que no hay un patrón de agrupamiento de las estaciones en términos geográficos.

### Masa de Agua 3 - M3 (170 - 340 m)

**Abundancia:** Se obtuvo una densidad total de 106 larvas/1.000m<sup>3</sup> (12% del total del área de estudio). Se encontraron larvas en todas las estaciones de muestreo y se obtuvo un promedio de  $9,46 \pm 6,95$  larvas/1.000m<sup>3</sup>, siendo la estación E566 la que más abundancia presentó (26 larvas/1.000m<sup>3</sup>), mientras que la estación E561 fue la de menor abundancia (5 larvas/1.000m<sup>3</sup>).

El 52% de la abundancia total de la capa estuvo representada por las familias Gonostomatidae (21%), Gobiidae (20%) y Myctophidae (11%) (Figura 92). De la familia Gonostomatidae el género más representativo fue *Cyclothona* sp. (20 larvas/1.000m<sup>3</sup>) (Figura 93A) La familia Gobiidae estuvo representada principalmente por *Gobionellus oceanicus* (10 larvas/1.000m<sup>3</sup>) (Figura 93B) y la familia Myctophidae no se identificó a nivel de género o especie el más representativo.

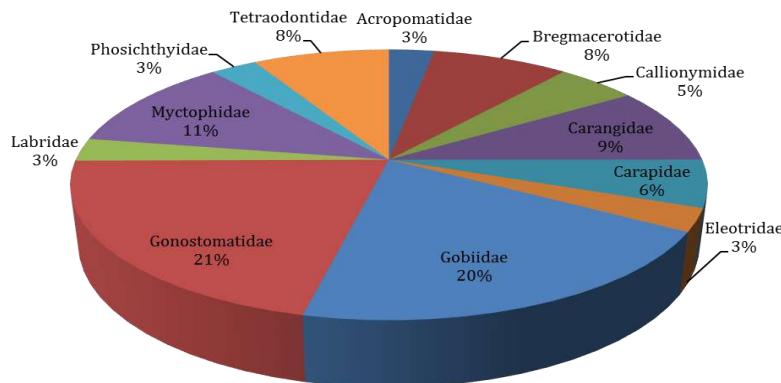


Figura 92. Representatividad porcentual de la abundancia de familias de larvas de peces encontradas en la masa de agua 3 en el bloque COL3.



Figura 93. Especies y géneros más representativos encontradas en la masa de agua 3 en bloque COL3. *Cyclothona* sp. (A) y *Gobionellus oceanicus* (B).

**Número de familias:** Se presentaron en total 12 familias de las 32 encontradas (38%), de las cuales se identificaron 12 géneros (52%) y 7 especies (23%) del total de las encontradas en el bloque. De las familias presentes las que mayor número de morfotipos agrupó fue la familia Myctophidae con 3. Las familias Gobiidae y Gonostomatidae obtuvieron dos morfotipos; las restantes familias obtuvieron un solo morfotipo y se agrupan en el ítem otros (Figura 94).

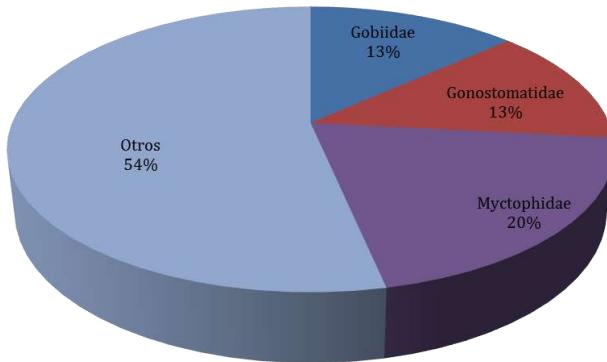


Figura 94. Representatividad porcentual del número de morfotipos agrupados en las familias de larvas de peces encontradas en la masa de agua 3 del bloque COL3.

En cuanto a las estaciones el promedio fue de  $15,14 \pm 7,61$  familias, siendo la estación E566 (Porción central) la que presentó el mayor número de familias con seis (Acropomatidae, Eleotridae, Gobiidae, labridae, Myctophidae y Phosichthyidae), mientras que la estación E561 (lado noroeste) fue la que obtuvo el menor número de familias con sólo un representante perteneciente a la familia Callionymidae (Figura 95).

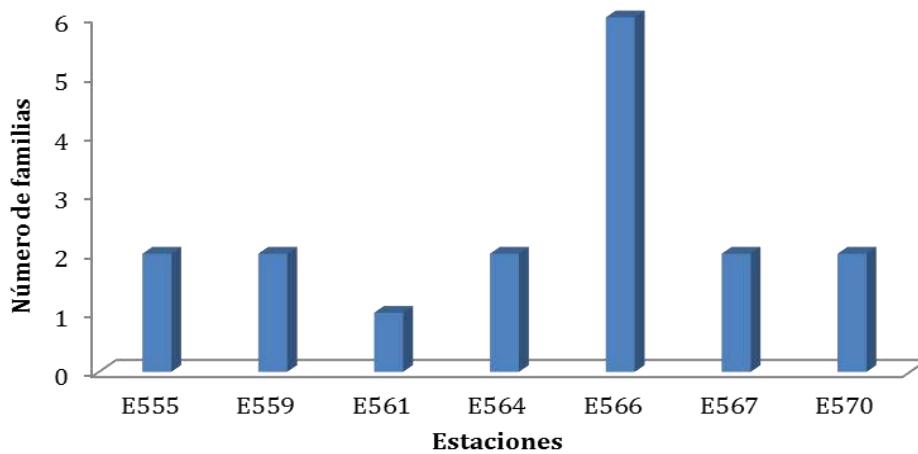


Figura 95. Número de familias de larvas de peces encontradas en la masa de agua 3 del bloque COL3.

**Otros atributos ecológicos:** la estación E461 por presentar una sola familia no se le calcularon los diferentes atributos ecológicos. Las estaciones E555, E559, E564, E 567 y E570 obtuvieron un valor de uniformidad ( $J'$ ) equivalente a 1 y la estación E566 un valor de 0,94. Estos valores de uniformidad de Pielou muestran que las familias fueron muy similares en términos de abundancia en cada una de las estaciones.

En cuanto al predominio de Simpson ( $\lambda$ ) y diversidad de Shanon ( $H'$ ), las estaciones E555, E559, E564, E567 y E570 obtuvieron el valor más bajo de diversidad (0,30bits) y el más alto de predominio (0,50 bits), mientras que la E566 (porción central) presentó los valores inversos, el más alto de diversidad (0,73 bits) y el más bajo de predominio con 0,21 bits. Al igual que las masas de agua anteriores se observa una relación inversamente proporcional entre la diversidad y el predominio (Tabla 24).

**Análisis estadístico:** La prueba no paramétrica de Kruskall-Wallis ( $H=5,84$ ;  $p=0,44$ ) permite inferir que no existe diferencias significativas entre las estaciones en la masa de agua 3, mostrando que no hay un patrón de agrupamiento de las estaciones en términos geográficos al igual que las dos masas anteriores.

#### Masa de Agua 4 - M4 (540 - 1.000 m)

**Abundancia:** Se obtuvo una densidad total de 120 larvas/1.000m<sup>3</sup> (13% del total del área de estudio). Se encontraron larvas en todas las estaciones de muestreo con un promedio de  $7,48 \pm 16,40$  larvas/1.000m<sup>3</sup>, siendo la estación E570 la que más abundancia presentó (27 larvas/1.000m<sup>3</sup>), mientras que la estación E559 fue la de menor abundancia (3 larvas/1.000m<sup>3</sup>).

El 60% de la abundancia total de la capa estuvo representada por la familia Gonostomatidae, (Figura 96). De ésta familia el género y la especie más representativo fue *Cyclothona* sp. (40 larvas/1.000m<sup>3</sup>) (Figura 97A) y *Cyclothona acclinidens* (25 larvas/1.000m<sup>3</sup>) respectivamente (Figura 97B).

**Número de familias:** Se presentaron en total 16 familias de las 32 encontradas (50%), de las cuales se identificaron 18 géneros (78%) y 7 especies (23%) del total de las encontradas en el bloque. De las familias presentes las que mayor número de morfotipos agruparon fueron las familias Gonostomatidae y Sternopychidae con 4. Las familias Carangidae y Myctophidae obtuvieron 3 morfotipos y las familias Gempylidae, Phosichthyidae y Serranidae con 2 cada una; las restantes familias obtuvieron un solo morfotipo y se agrupan en el ítem otros (Figura 98).

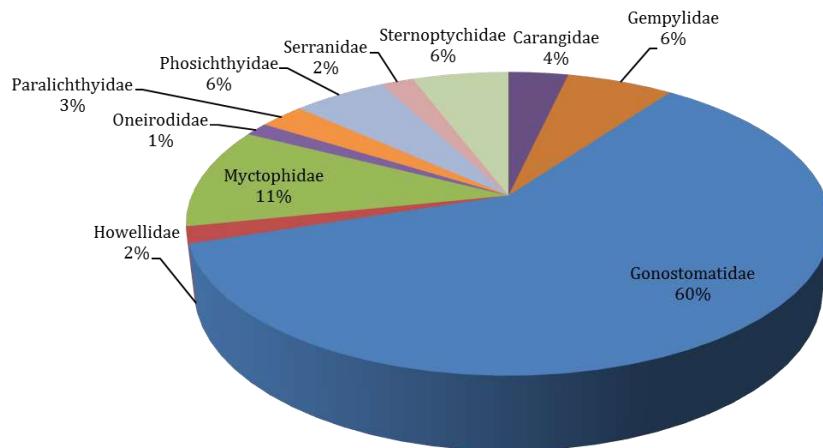


Figura 96. Representatividad porcentual de la abundancia de familias de larvas de peces encontradas en la masa de agua 3 en el bloque COL3.



Figura 97. Especies y géneros más representativos encontradas en la masa de agua 4 en bloque COL3. *Cyclothonidae* sp. (A) y *Cyclothonidae acclinidens* (B).

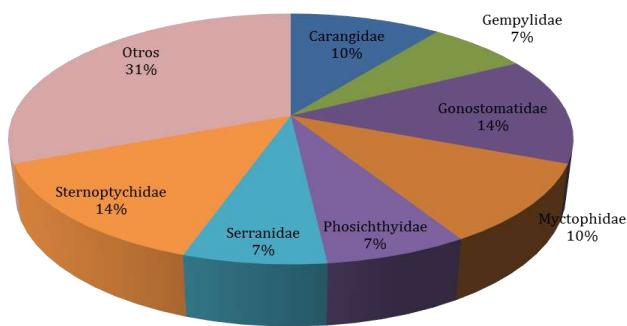


Figura 98. Representatividad porcentual del número de morfotipos agrupados en las familias de larvas de peces encontradas en la masa de agua 4 del bloque COL3.

En cuanto a las estaciones el promedio fue de  $17,10 \pm 7,73$  familias, siendo las estaciones E566 y E570 (Porción central y noreste respectivamente) las que presentaron el mayor número de familias con ocho (Acanthuridae, Gonostomatidae, Howelliidae, Myctophidae, Paralepididae, Serranidae, Sternoptychidae y Stomiidae) para la estación E566 y (Albulidae, Bregmacerotidae, Carangidae, Centrolophidae, Gonostomatidae, Myctophidae, Serranidae y Stomiidae) para la estación E570. Por el contrario, la estación E559 fue la que obtuvo el menor número de familias con sólo un representante perteneciente a la familia Gempylidae (Figura 99).

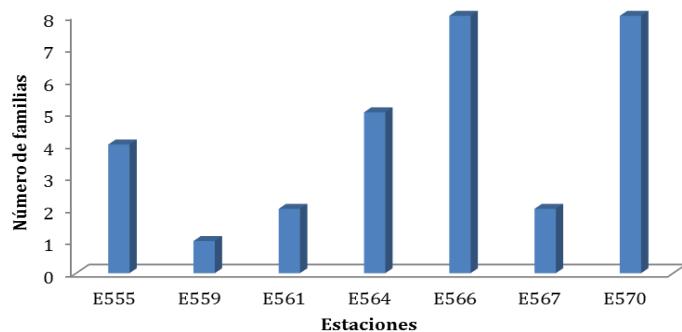


Figura 99. Número de familias de larvas de peces encontradas en la masa de agua 4 del bloque COL3.

Otros atributos ecológicos: la estación E559 por presentar una sola familia no se le calcularon los diferentes atributos ecológicos. La estación E555 obtuvo el valor más alto de uniformidad ( $J'$ ) equivalente a 0,90 y la estación E561 el valor más bajo (0,72).

En cuanto al predominio de Simpson ( $\lambda$ ) y diversidad de Shanon ( $H'$ ), La estación E561 obtuvo el valor más bajo de diversidad con 0,22 bits y el más alto de predominio (0,68 bits). Contrario a la estación E570 que obtuvo el valor más alto de diversidad (0,70 bits) y el más bajo de predominio con 0,27 bits. Al igual que las masas de agua anteriores se observa una relación inversamente proporcional entre la diversidad y el predominio, (Tabla 24).

**Análisis estadístico:** La prueba no paramétrica de Kruskall-Wallis ( $H=12,05$ ;  $p=0,06$ ) permite inferir que no existe diferencias significativas entre las estaciones en la masa de agua 4, mostrando al igual que las masas de agua anteriores que no hay un patrón de agrupamiento de las estaciones en términos geográficos.

**Relación entre los atributos estructurales de la comunidad y las variables ambientales y nutrientes seleccionados:** Los resultados del BIOENV para el bloque COL3 establecieron que las variables Temperatura, Salinidad y Oxígeno disuelto tienen una muy baja correlación sobre la estructura de la comunidad ictioplanctónica con una correlación Harmónica de Sperman ( $r =0,144$ ;  $p=0,06$ ). La variable temperatura presentó el valor más alto de correlación ( $r = 0,262$ ), sin embargo, éste valor es muy bajo como para establecer una correlación positiva entre dicha variable ambiental y la estructura de la comunidad. Los nutrientes (clorofila, nitritos, nitratos, ortofosfatos y silicatos) al igual que los factores anteriores no presentaron correlación alguna con la estructura de la comunidad ictioplanctónica ( $r=0,238$ ;  $p=0,17$ ).

### 3.4.3 Discusión de resultados

La zona de estudio (Caribe central) se caracteriza por tener una fuerte influencia del abanico sedimentario del Magdalena, el cual está alimentado principalmente por el río Magdalena que aporte una descarga considerable de sedimentos (Ercilla *et al.*, 2002). Estos sedimentos de origen terrígenos desembocan principalmente en el talud continental, debido precisamente a la gran llanura deltaica que forma el río Magdalena que hace que en ésta zona la plataforma continental sea casi inexistente (Estrada *et al.*, 2008).

En éste sentido, podríamos considerar que la zona de estudio tiene una relativa alta productividad, si consideramos que esta descarga de sedimentos aporta además materia orgánica y nutrientes que favorecen la productividad primaria y subsecuentemente el aumento de comunidades zooplantónicas e ictioplanctónicas. Comparando con otros estudios en la zona como el de Vides, *et al.*, 2016 quienes encontraron un alto número de familias ( $n=45$ ), podríamos inferir que el bloque COL3 presenta un número de familias relativamente alto ( $n=32$ ).

En cuanto a la composición de larvas de peces podríamos decir que el bloque COL3 presentó un ensamblaje típico oceánico, constituido principalmente por especies

pertenecientes a familias de hábitos mesopelágicos como Gonostomatidae y Myctophidae, las cuales fueron las más abundantes y con mayor frecuencia de aparición en el presente estudio. Estas familias pese a no ser de importancia comercial, si cumplen un papel importante dentro de la cadena trófica mediante la transferencia de energía de un nivel a otro que sumado a su régimen alimenticio plantónico con posibles migraciones diurnas verticales explicarían su alta representatividad en las muestras colectadas (Richards, 2006).

La familia Gonostomatidae se caracteriza por presentar una amplia distribución geográfica, que va desde el trópico a aguas frías de las zonas templadas. Es de hábitos meso y batipelágicas y donde algunas especies suben en la noche a 50 m de la superficie. Son depredadores exitosos debido muy seguramente a sus características (dentición fina y radios branquiestegales) que los habilitan para capturar presas de tamaños variables (Beltran *et. al.*, 2000).

La familia Myctophidae es diversa y abundante compuesto de alrededor de 245 especies en 33 géneros, distribuidas globalmente desde las aguas polares a las aguas ecuatoriales (Paxton, 1979), se encuentran generalmente entre los 200 y 1.000 m en aguas abiertas, aunque algunos se han encontrado a más de 2.000 m y otros cerca de la superficie en horas de la noche. Este comportamiento está relacionado muy probablemente con la captura de crustáceos planctónicos que son su fuente de alimento. Una característica importante de ésta familia son las migraciones verticales que realizan conocida como "la más grande migración diaria de animales en la tierra" (Hays, 2003; van Haren y Compton, 2013), donde también es posible que coexistan diferentes especies. Sin embargo, en algunos casos se puede mostrar preferencia en relación con la profundidad, donde los movimientos tienen un patrón diferente entre juveniles y adultos. Tienen una gran importancia ecológica debido a que son un componente abundante en la dieta de un elevado número de especies marinas que no sólo incluye peces, sino también, cetáceos que hacen de éste un recurso potencial no explotado (Beltran *et. al.*, 2000).

Las especies del género Cyclothona especialmente *Cyclothona acclinidens* dominante en el estudio son llamadas comúnmente como boca cerdosa, pez luciérnaga o pez luminoso por sus órganos bioluminiscentes. Son numéricamente dominantes en zonas meso y batipelágicas en todos los océanos principales. En las redes de arrastre a profundidades superiores a 300 m, los adultos se recolectan rutinariamente (Smith y Laver 1981). son muy comunes en el océano abierto (Kobylianski pers. Comm. 2013). Se alimenta principalmente de especies herbívoras como los copépodos (DeWitt y Cailliet 1972). La longitud máxima registrada para esta especie es de 6,5 cm SL (Gon 1990). Esta especie se observa a menudo flotando inmóvil y casi vertical (Smith y Laver 1981). Pueden exhibir dimorfismo sexual o hermafroditismo. Los adultos se encuentran entre 300 y 1.200 m y las postlarvas entre 0y 70 m (Babcock 1984).

El género *Diaphus* también representativo en el presente estudio, es llamado comúnmente como pez linterna o pez fluorescente. Es de hábitos meso y batipelágicos y se distribuye prácticamente por todos los mares y océanos del mundo. Presenta migración nictimeral en la columna de agua, encontrándose durante el día entre 325 y

750 m de profundidad mientras que durante la noche ocurre una estratificación por tamaños, encontrándose los adultos entre 300 y 600 m y los juveniles entre 40 y 200 m durante la noche. Esta migración se da principalmente con fines de alimentación (Hulley, 1990). Desova durante los meses de otoño y primavera y tiene una expectativa de vida de máximo dos años (Gartner 1991).

En el presente estudio ésta alta representatividad de dichas especies y/o géneros estuvo influenciada muy seguramente por la zona y tipo de estudio, además por la migración vertical que presentan las larvas de peces al igual que el resto del zooplancton, lo que explicaría su abundante captura en la zona mesopelágica.

El conocimiento del ictioplancton en el Caribe colombiano se ha incrementado en los últimos años, gracias a los trabajos de investigación realizados en convenio con la ANH y el INVEMAR, donde se ha intentado aportar al conocimiento de la taxonomía, sistemática y biología del ictioplancton de la provincia oceánica mediante estudios de línea base ambiental en bloques de exploración de hidrocarburos, como los realizados por Garrido- Linares *et al.*, (2014a) y Vides, *et al.*, (2016) donde se reporta en su mayoría géneros y especies de aguas oceánicas o cuyos adultos son de hábitos abisales, pertenecientes a la comunidad mesopelágica, relevando la importancia de éste estudio, pues se amplía su conocimiento a nivel larval con el fin de poder realizar a futuro evaluaciones holísticas que nos permitan conocer su biomasa, su papel en la preservación de la biodiversidad y su influencia en el clima.

La comunidad mesopelágica juega un rol integral en la retención del carbono y por ende en la regulación del clima (Hidaka *et al.*, 2001; Hudson *et al.*, 2014), también, es un recurso clave para los niveles tróficos mayores, sirviendo como presa para mamíferos marinos y poblaciones de peces claves como el atún y tiburones (Potier *et al.*, 2007; Brophy *et al.*, 2009) influenciando y manteniendo así la biodiversidad; además, son considerados aptos para el consumo humano, pero principalmente el logro ha sido el abastecer el mercado de harina de pescado ya que la biomasa global de éste recurso es muy grande (Koslow *et al.*, 1997; Kaartvedt *et al.*, 2008; Henio *et al.*, 2011; Davison *et al.*, 2015). Si bien, hay un incremento en el interés económico alrededor de los recursos mesopelágicos, la biomasa y el potencial de rendimiento y viabilidad de la explotación tienen que ser aún examinados y estudiados, pues las investigaciones actuales sobre la biodiversidad mesopelágica son escasas por lo cual existe una gran brecha en la comprensión de la distribución global de la diversidad mesopelágica en general.

Las masas de agua del Caribe colombiano se caracterizan por ser estratificadas y de distribución uniforme. Sin embargo, en la zona centro del Caribe colombiano, el aporte de sedimentos del Magdalena afecta la estabilidad, estratificación y distribución de las masas de agua influenciada principalmente por los vientos y las corrientes predominantes de acuerdo a la época (Andrade, 2000). Con base en esto podría decirse que las aguas del Caribe colombiano son mixtas, es decir, que se encuentran influenciadas tanto por aguas continentales como oceánicas (Gutiérrez-Salcedo, 2011). El boque COL3 para la época de muestreo (octubre), considerada como época húmeda o época de invierno, estuvo regido principalmente por la contracorriente de Colombia,

la cual está relacionada directamente con la disminución de los vientos Alisios, los cuales bajan considerablemente su velocidad para ésta época (Castro, 2003).

La densidad larval considerada como alta en éste estudio, podría explicarse en relación a la época de muestreo la cual está directamente relacionado con la historia reproductiva de las especies, con los factores ambientales que la afectan (Bernal y Rojas, 1994) y con la dispersión larvaria a causa de las corrientes propias de la época (Leis y Carson, 1997). También a factores oceanográficos tales como: temporalidad, dirección e intensidad de las corrientes y giros ciclónicos que actúan a meso y macro - escala (Sameoto, 1984; Flores – Coto *et al.*, 1989). Y a factores bióticos tales como: productividad, nichos ecológicos, depredación, competencia, alimento, espacio, ciclo biológico, entre otros que explicarían también en gran medida dicha densidad.

En este sentido, se podría decir que la abundancia de larvas de peces obtenida en el presente estudio pudo estar influenciada por la dinámica de procesos hidrológicos locales (aporte de nutrientes provenientes del río Magdalena), a los movimientos de agua generados por las corrientes (Contracorriente de Panamá - Colombia), y al patrón general de circulación (giro ciclónico) (Flores-Coto y Álvarez-Cadena, 1980; Castro-Aguirre, 1978 y Bulit *et al.*, 1989).

La composición ictioplanctónica obtenida estuvo influenciada probablemente por el tipo de arrastre (vertical con sistema de apertura y cierre) pues éste permite obtener muestras por estratos o masas de agua a profundidades de hasta 1.000 metros. Este sistema permite conocer qué tipo de individuos componen cada uno de los estratos en la columna de agua y las diferencias que existen según las masas conformadas hasta los 1.000 metros de profundidad.

La distribución de las larvas de peces en la columna de agua tiene, según diversos autores, diferentes causas, sin embargo, puede generalizarse en primer lugar al comportamiento y dinámica de las masas de agua, en segundo lugar, a la biología e historia reproductiva de la especie adulta, las cuales determinan en gran medida las posibles áreas y épocas de desove (Luzuriaga y Elías, 1999) y finalmente a diversos procesos físicos que las dispersan o concentran, principalmente vientos y corrientes (Sabatés, 1990; Southers y Frank, 1991; Boehlert y Mundy, 1993; Leis y Carson, 1997; Fiuman, 2002; Marancik *et al.*, 2005, Salas de León *et al.*, 1998; Sanvicente-Añorve *et al.*, 1998, Sanvicente-añorve *et al.*, 2006). Después de la eclosión, la sobrevivencia y distribución de las larvas depende de la biología de la especie y de la disponibilidad de alimento. La biología de la especie implica los límites de tolerancia de cada taxón a diversos factores como luz, salinidad, temperatura, etc. (Kinne 1970; Boehlert y Mundy, 1994), límites que se asume han sido fijados a través de un largo proceso evolutivo.

La distribución de las larvas de peces varió con la profundidad siendo las masas 1 y 2 las que obtuvieron los valores más altos de abundancia y las masas 3 y 4 los más bajos debido muy seguramente a que la masa de agua más superficial (M1) presenta una fuerte dinámica océano-atmosférica con alta incidencia solar que eleva la temperatura superficial y corrientes que mezclan lentamente la masa de agua, favoreciendo la actividad fotosintética y por ende mayor productividad que se traduce en un incremento del zooplancton y subsecuentemente del ictioplancton (Gutiérrez – Salcedo,

2011). Contrario a lo que ocurre en la capa de agua profunda (M3), donde la falta de oxígeno hace que haya una disminución en la abundancia de las comunidades planctónicas y donde sólo los más especializados pueden vivir en estas zonas (Longhurst, 1985; Fernandez-Alamo y Farber-Lorda, 2006). Estas masas (M3 y M4) se caracterizan por presentar bajas temperaturas, alta densidad del agua, bajas y constantes velocidades de las corrientes y donde la producción primaria es poca o nula (Longhurst, 1985).

La composición de las familias obtenida estuvo conformada principalmente por la familia Myctophidae para las masas de agua 1 y 2 y por la familia Gonostomatidae para las masas de agua 3 y 4, lo cual coincide con lo reportado por Flores-Coto y Ordoñez-López (1991), quienes muestran a estas familias como las más diversas y abundantes en estudios oceánicos del Caribe colombiano. Pese a que la mayoría de familias colectadas son de hábitos mesopelágicos y de poca importancia comercial, se colectado familias de alta importancia comercial como: Carangidae, Serranidae y Scombridae, de las cuales se tiene muy poca información sobre su uso directo actual, sin embargo, y según lo reportado por Cárdenas *et al.*, (2013) mediante las investigaciones científicas realizadas y los reportes de los sectores de la industria pesquera que se desarrollan en la región se pudieron establecer criterios de su uso en referencia al proceso de extracción de los organismos de su medio natural con base en los beneficios directos que la humanidad obtiene, siendo el alimento comercial y el de subsistencia el uso más importante.

En este sentido y teniendo en cuenta el comportamiento de la especie adulta, podría decirse que el ensamblaje de larvas de peces, presentó en su mayoría ejemplares de especies adultas cuyo hábitat es la zona oceánica (Krefft, 1976; Miya y Nemoto, 1985; Gartner, 1993). Así mismo las familias: Carangidae, Scombridae, Serranidae y Gobiidae, presentan una gran diversidad de hábitats, perteneciendo en su mayoría a ensamblajes costeros y neríticos con posibles migraciones mar afuera debido al efecto de las corrientes predominantes (López, *et al.*, 2006).

Los valores promedio de diversidad obtenidos coinciden con lo propuesto por Margalef (1982) para la provincia oceánica, donde se evidencian los valores más altos en la superficie y van disminuyendo con la profundidad. Sin embargo, la masa de agua más profunda (M4) no fue la que obtuvo el valor más bajo de diversidad, ya que la masa 3 obtuvo una riqueza más baja (menor número de familias). El Predominio de Simpson fue inversamente proporcional a la diversidad, es decir que los valores altos de diversidad tenían los valores bajos de predominio y viceversa, debido seguramente a la dominancia de ciertas familias sobre el resto; como el caso de la familia Gonostomatidae en la masa de agua 4 que apareció en mayor proporción en cada una de las estaciones. La uniformidad de Pielou para la masa de agua 3 fue 1 para la mayoría de las estaciones reflejando una distribución homogénea de familias en las estaciones, las masas restantes obtuvieron en su mayoría valores alejados de 1 mostrando que no hay una distribución homogénea de familias entre las estaciones, lo cual se corrobora con la alta dominancia de ciertas familias, como el caso de Gonostomatidae en la masa de agua 4. En resumen y considerando que es un muestreo puntual con un bajo número de

muestras, estos índices revelan una comunidad ictioplanctónica diversa y de baja equitabilidad, es decir con alta dominancia de familias.

Las asociaciones formadas en cada una de las capas de agua en los bloques se dieron por cambios en la abundancia o en la composición de familias (dominancia de una familia con respecto a las otras) o por la combinación de ambos, mostrando que no existen diferencias a nivel espacial entre las estaciones de muestreo sino a nivel de biológico.

En cuanto a las variables ambientales y nutrientes los resultados del BIOENV no establecieron una correlación positiva con la comunidad ictioplanctónica que pudieran ser indicadores de un efecto de éstos sobre la estructura de dicha comunidad, lo que indica muy probablemente que para éste estudio dichos factores no presentan un efecto determinante sobre la distribución y abundancia del ictioplancton. La temperatura obtuvo el valor más alto de correlación sin ser significativo, debido muy posiblemente a que la temperatura presentó valores relativamente altos, los cuales son detectados durante la época húmeda (época del muestreo), percibiéndose los mayores aportes de las aguas continentales procedentes de los ríos que desembocan directamente en esta zona (Manjarres, 1987). Es por ello que pequeños cambios en la temperatura del mar podrían influir en cambios en la distribución y abundancia larval. Sin embargo, la literatura que revisa las relaciones del ictioplancton con las características del medio indican una nula o baja relación con los parámetros abióticos y una mayor correspondencia con la productividad planctónica (Houde y Chitty 1976, Sameoto 1984, Bratkovich 1988, Van Tongeren *et al.*, 1992).

El estudio del ictioplacton en líneas base de biodiversidad en zonas de exploración petrolera son importantes porque permiten recopilar e interpretar información sobre la comunidad, conocer la composición y abundancia, saber su condición actual, determinar si es posible la presencia de áreas sensibles (áreas de desove), identificar especies de interés y saber cuáles son sus tendencias previo a las labores de exploración. Además, permite detectar los posibles impactos que se generaría en caso de llevarse a cabo la exploración y posterior perforación.

Sin embargo, los impactos sobre el ictioplancton pueden ser difíciles de interpretar debido a la baja tasa de supervivencia natural de huevos de peces y de las larvas; de hecho, los huevos tienen una alta tasas de mortalidad natural previa al reclutamiento. Estas tasas son con frecuencia de poca significancia, comparadas con las variaciones poblaciones debido a otros factores como la predación y la variabilidad ambiental (Houde y Chitty, 1976; Clark, 1997 y Dicks, 1999). Así, pese a diversos estudios que han documentado la presencia de larvas de recursos pesqueros importantes en áreas de exploración petrolera, la información generada no ha permitido hacer inferencia sobre el grado de perturbación de dichas poblaciones ícticas derivadas de estas actividades de perforación (Pemex, 2002). Además, la comunidad ictioplanctónica al igual que el resto del plancton, tiene la capacidad de recuperarse rápidamente debido a que tiene tiempos cortos de regeneración (Anderson *et al.*, 1999).

Trabajos con el de Lozano-Flórez (2004) mostraron que los impactos sobre las larvas de peces se dan muy posiblemente por los trabajos de sísmica realizados previos al

inicio de la perforación, por las ondas de sonido generadas durante dichas campañas, mostrando efectos letales en huevos y larvas de peces en distancias muy cortas. También se reconoce que a profundidades superiores a los 100 metros es muy improbable que se produzcan efectos negativos sobre la ictiofauna de fondo. Parece evidente en este sentido, que los impactos más significativos están relacionados con los individuos/especies que no pueden huir de la zona, es decir sobre larvas de peces y huevos de los mismos. Sin embargo, cabe aclarar que la bibliografía disponible con respecto a los efectos en larvas o huevos es muy reducida y donde muchas de las investigaciones realizadas en este campo, han sido criticadas por no especificar con suficiente claridad las propiedades acústicas de las ondas de sonido generadas durante las campañas sísmicas (Gausland, 2003).

### 3.4.4 Conclusiones

- Los estudios de ictioplancton mar afuera se han incrementado en los últimos años gracias a los trabajos de investigación realizados en convenio con la ANH, con el fin de aportar al conocimiento de la taxonomía, sistemática y biología del ictioplancton de la provincia oceánica mediante estudios de línea base ambiental en bloques de exploración de hidrocarburos.
- La comunidad mesopelágica dominante en esta investigación, revela la importancia de éste tipo de estudios, pues gracias a ellos, se amplía el conocimiento de la comunidad ictioplancótica de aguas oceánicas y de hábitos abisales ya que son importantes para poder realizar a futuro evaluaciones holísticas que nos permitan conocer su biomasa, su papel en la preservación de la biodiversidad y su influencia en el clima.
- La densidad larval fue considerada como alta, lo cual podría explicarse en relación a la época de muestreo la cual está directamente relacionado con la historia reproductiva de las especies y con los factores ambientales, oceanográficos y bióticos que la afectan. Además de procesos locales tales como: aporte de nutrientes provenientes del río Magdalena, movimientos de agua generados por las corrientes y al patrón general de circulación.
- La distribución de las larvas de peces en la columna de agua seguramente está influenciada por: 1) comportamiento y dinámica de las masas de agua, 2) biología e historia reproductiva de la especie adulta y 3) procesos físicos que las dispersan o concentran, principalmente vientos y corrientes.
- La distribución de las larvas de peces varió con la profundidad, donde las masas de agua más superficiales obtuvieron las mayores abundancias y las masas más profundas los valores más bajos, debido muy seguramente a que en superficie se presenta una fuerte dinámica océano – atmosfera, alta incidencia solar y corrientes que mezclan lentamente la masa de agua, favoreciendo la actividad fotosintética y por ende mayor productividad, contrario a la capa profunda donde la falta de oxígeno provoca una disminución en la densidad larval.
- La composición de las familias obtenida estuvo conformada principalmente por Myctophidae para las masas de agua 1 y 2 y Gonostomatidae para las masas de agua 3 y 4. Dichas familias son consideradas como las más diversas y abundantes

en estudios oceánicos del Caribe colombiano, comportándose como un ensamblaje típico de aguas oceánicas tropicales.

- Los índices ecológicos muestran una comunidad ictioplanctónica relativamente diversa y de baja equitabilidad, es decir con alta dominancia de ciertas familias.
- Las asociaciones formadas en cada una de las capas de agua se dieron por cambios en la abundancia o en la composición de familias (dominancia de una familia con respecto a las otras) o por la combinación de ambos, mostrando que no existen diferencias a nivel espacial entre las estaciones de muestreo.
- Las variables ambientales y los nutrientes no establecieron una correlación positiva con la comunidad ictioplanctónica que pudieran ser indicadores de un efecto de éstos sobre la estructura de dicha comunidad, lo que indica muy probablemente que para éste estudio dichos factores no presentan un efecto determinante sobre la distribución y abundancia del ictioplancton.
- El estudio del ictioplancton en líneas base de biodiversidad en zonas de exploración petrolera son importantes porque permiten recopilar e interpretar información sobre la comunidad, conocer la composición y abundancia, saber su condición actual, determinar, si es posible la presencia de áreas sensibles (áreas de desove), identificar especies de interés y saber cuáles son sus tendencias previo a las labores de exploración. Además, permite detectar los posibles impactos que se generarían en caso de llevarse a cabo la exploración y posterior perforación.

### 3.5 Comunidades de la infauna bentónica

Los fondos blandos (arenas, arcillas, cienos, limos) son ecosistemas conformados por agregaciones de sustrato particulado (Eleftheriou y Moore, 2005), los cuales ofrecen alimento y protección a una gran cantidad de animales. En estos ecosistemas, las comunidades bentónicas viven en relación íntima con el fondo, ya sea para fijarse en él, excavarlo, marchar sobre su superficie o para nadar en sus vecindades sin alejarse de él (Pohle y Thomas, 2001).

Las comunidades bentónicas están comprendidas por todos los animales (metazoos y parazoos), incluidos protistas (foraminíferos), que están en contacto con el suelo marino, ya sea viviendo dentro de él (infauna) o sobre la superficie (epifauna). La infauna no es más que una forma de clasificación del bentos, de acuerdo a la ubicación o distribución vertical de los organismos con relación al sustrato de fondo al cual están asociados, y hace referencia a aquellos que viven enterrados entre el sedimento marino sin importar la profundidad.

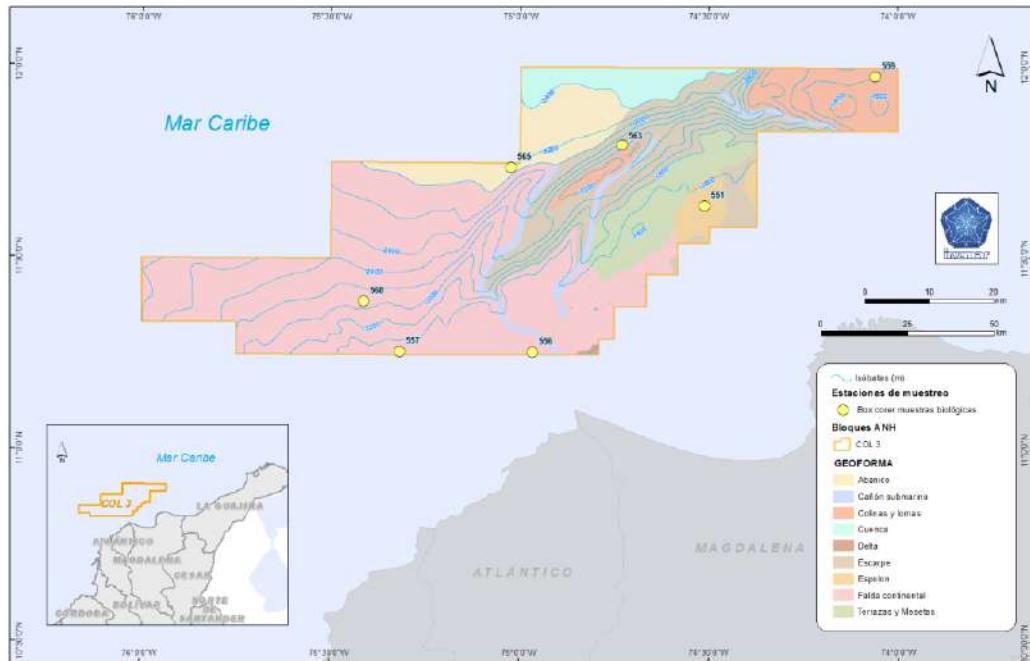
La importancia del estudio de las comunidades bentónicas, radica en su amplia diversidad y abundancia ya que la mayoría de los phyla del reino animal tienen representantes bentónicos, además se ha estimado que hay más de un millón de especies que habitan el bentos (Lalli y Parsons, 1997). Ecológicamente, su función trófica es fundamental siendo alimento de varios grupos animales. Debido a su estrecha asociación con el sedimento, en donde se acumula material orgánico particulado y/o

tóxico, estos pueden llevar contaminantes hacia los niveles tróficos superiores como los peces y el hombre (Gray, 1980; Weston, 1990). Igualmente, las comunidades bentónicas son buenos indicadores de perturbaciones antrópicas y naturales, siendo utilizados en estudios de caracterización, programas de monitoreo, evaluación y vigilancia en muchas partes del mundo (Guzman-Alvis *et al.*, 2005).

El presente estudio provee información de las comunidades macro ( $\geq 500 \mu\text{m}$ ) y meiobentónica ( $\geq 63 \mu\text{m}$ ) en siete estaciones seleccionadas del bloque COL3 (Tabla 25 y Figura 100) durante el muestreo realizado entre septiembre y octubre de 2017. Se proveen además fichas taxonómicas de las familias representativas presentes en el área de estudio (Anexo 1: Fichas familias infaunales representativas del bloque COL3).

*Tabla 25. Listado de estaciones con coordenadas geográficas para el análisis del componente bentónico infaunal.*

| Estación     | Latitud       | Longitud      |
|--------------|---------------|---------------|
| <b>E-551</b> | 11°38'16.61"N | 74°30'43.96"O |
| <b>E-556</b> | 11°15'23.82"N | 74°57'56.25"O |
| <b>E-557</b> | 11°15'28.54"N | 75°19'2.52"O  |
| <b>E-559</b> | 11°58'31.70"N | 74° 3'33.06"O |
| <b>E-563</b> | 11°47'46.54"N | 74°43'47.48"O |
| <b>E-565</b> | 11°44'13.64"N | 75° 1'24.79"O |
| <b>E-568</b> | 11°23'18.16"N | 75°24'47.37"O |



*Figura 100. Mapa de estaciones seleccionadas del bloque COL3 para la recolección de muestras biológicas para el componente bentónico.*

### 3.5.1 Macrofauna bentónica

Las comunidades bentónicas infaunales están compuestas por organismos con una amplia diversidad en tamaños (megafauna, macrofauna, meiofauna y microfauna), formas de vida (sésiles, errantes o parásitos), modos de alimentación (filtradores, carnívoros, detritívoros u omnívoros) y reproducción (sexual y asexual).

Dentro de la infauna, la macrofauna bentónica (organismos  $\geq 500 \mu\text{m}$ ), está conformada por casi todos los phyla del reino animal (Annelida, Arthropoda, Bryozoa, Cnidaria, Foraminifera, Mollusca, Nematoda, Porifera, Sipuncula, etc.). Dentro de estas comunidades, los poliquetos, crustáceos y moluscos (gasterópodos y bivalvos) forman la base del flujo de energía del bentos hacia muchas especies en la comunidad de peces (Longhurst y Pauly, 1987). Por lo tanto, el entendimiento de factores que afectan la producción de los invertebrados bentónicos es muy importante para la comprensión del funcionamiento de los ecosistemas marinos.

El estudio de la macrofauna bentónica y de los organismos infaunales en general radica en su importancia, por lo tanto han sido ampliamente utilizados en estudios de línea base, programas de monitoreo y planes de manejo debido a su estrecha relación con el fondo, en donde habitan y se alimentan, por lo cual, son generalmente de los primeros afectados ante cualquier perturbación ocasionada sobre los ecosistemas marinos (Pearson and Rosenberg, 1978). El éxito de su estudio como indicadores ambientales radica en que estos organismos poseen una limitada movilidad y no pueden evadir condiciones adversas (Ranasinghe *et al.*, 2008).

#### 3.5.1.1 Metodología

En cada una de las 7 estaciones se realizó un lance de Box Corer de 50 cm x 50 cm, recolectando un área de sedimento de 0,25 m<sup>2</sup>. De cada muestra del Box Corer, se extrajo 0,1 m<sup>2</sup> utilizando un cuadrante de 32 cm x 32 cm y una pala, penetrando 10 cm en el sedimento. Cada muestra fue cernida mediante un tamiz de 500  $\mu\text{m}$  y luego se depositaron dentro de bolsas plásticas dobles debidamente rotuladas. A cada una de las muestras se agregó una solución narcotizante de cloruro de magnesio ( $70 \text{ g.L}^{-1}$ ), para relajar los organismos antes de fijarlos y así evitar la pérdida de estructuras taxonómicas importantes para la posterior identificación en laboratorio.

Luego de 15 minutos, se agregó una solución de formalina neutralizada con bórax al 10% (pH= 7,2), preparada con agua de mar filtrada y rosa de bengala (0,1 g.L<sup>-1</sup>), el cual es un compuesto que tiñe el epitelio de los organismos vivos para facilitar la separación en el laboratorio. Posteriormente, las muestras fueron almacenadas en canastas plásticas y trasladadas a las instalaciones de Museo de Historia Natural Marina de Colombia del INVEMAR (MAKURIWA), para su análisis. La Figura 101 muestra el proceso de recolección de muestras de la macrofauna bentónica.

En el laboratorio las muestras se lavaron con abundante agua, con ayuda de un tamiz de 500  $\mu\text{m}$ , el cual retiene la macrofauna bentónica (Figura 102a). Una vez eliminado el exceso de lodo, se realizó la separación manual de los especímenes, con la ayuda de

lupas, estereoscopios y con observación cruzada para asegurar total extracción de los organismos del sedimento (Figura 102b). Los especímenes encontrados se depositaron en frascos con alcohol al 70% para su posterior separación a grandes grupos e identificación a nivel de familia.

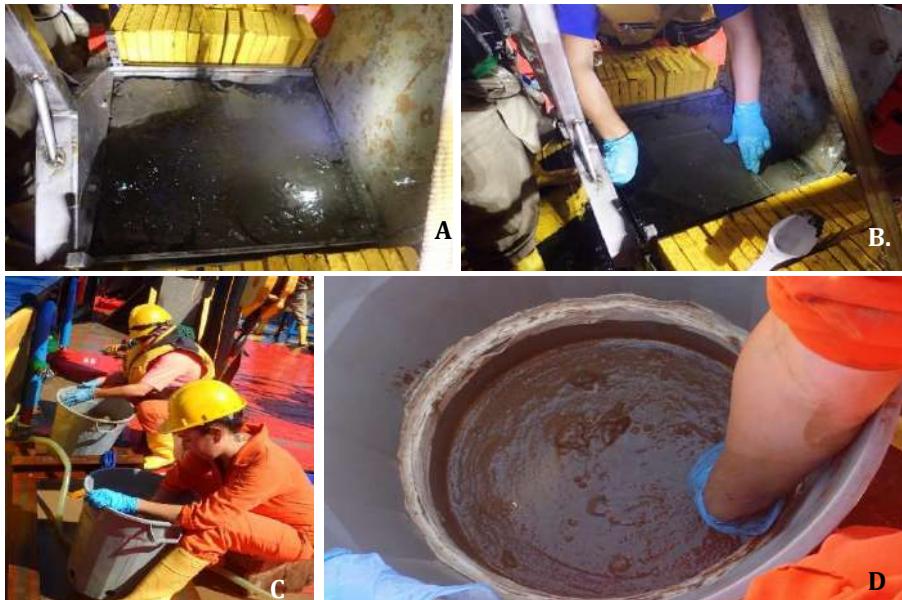


Figura 101. Muestreo de la macrofauna bentónica en el bloque COL3: Muestra obtenida de Box Corer (A), cuadrante para muestra de macrofauna (B) y lavado de muestra (C y D).



Figura 102. Fase de laboratorio para las muestras de macrofauna del bloque COL: Lavado de muestras (A) y separación e identificación de la macrofauna (B).

La identificación taxonómica se realizó con ayuda de estereoscopios, microscopios y literatura específica por grupo taxonómico según el criterio de los investigadores encargados de cada grupo taxonómico.

Para el análisis de información se estimaron atributos básicos comunitarios de diversidad y abundancia, además de valores de densidad de individuos por área muestreada, y se calcularon índices ecológicos.

Para determinar la variabilidad de la comunidad según su distribución, se realizó un análisis de clasificación y ordenación, además de un análisis de relación de estas comunidades, con algunos parámetros ambientales (BIOENV).

Las muestras se depositaron en las colecciones en el Museo de Historia Natural Marina de Colombia Museo - MAKURIWA siguiendo los lineamientos establecidos para su documentación en la base datos del Sistema de Información sobre Biodiversidad Marina (SIBM).

### 3.5.2 Resultados comunidad macrobentónica

En términos generales se encontró que la comunidad macrobentónica del bloque de exploración COL3, del cual se consideraron siete de las estaciones muestreadas para determinar la estructura de dicha comunidad, está compuesta por ocho phyla: Annelida, Arthropoda, Bryozoa, Mollusca, Nematoda, Nemertea, Foraminifera y Sipuncula (Figura 103).

El phylum Foraminifera contribuyó con un mayor porcentaje a la abundancia relativa (94,6%), con 7.105 individuos de un total de 7.511 colectados, y dos colonias de briozoos (Figura 104); así como también, fue uno de los que obtuvo el mayor porcentaje de frecuencia de aparición junto con Annelida (100%), encontrándose en las siete estaciones de muestreo analizadas, del mismo modo en que fueron estos mismos phyla los que presentaron el mayor número de familias de las 92 encontradas (Figura 105).

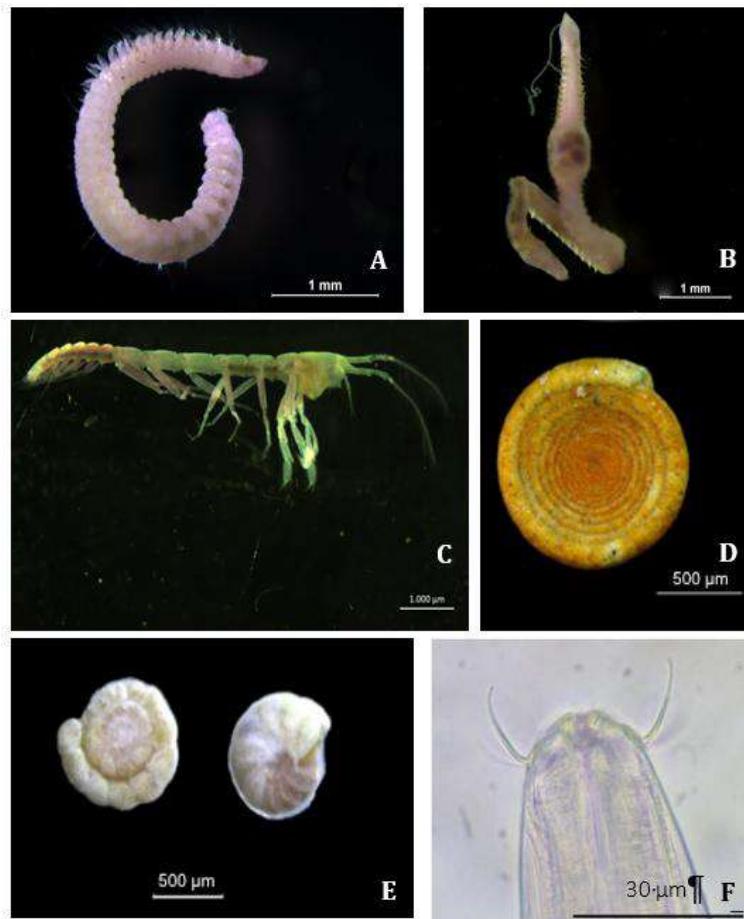


Figura 103. Algunos representantes macrofaunales encontrados en el área de estudio: Phylum Annelida (A y B), Phylum Arthropoda (C), Phylum Foraminifera (D Y E) y Phylum Nematoda (F).

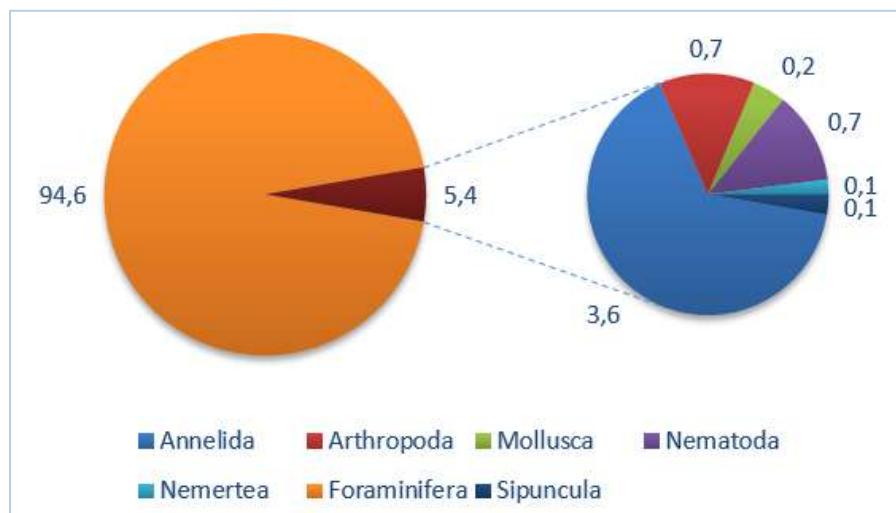


Figura 104. Contribución a la abundancia relativa (%), por parte de cada uno de los phylum encontrados en el bloque de exploración COL3, exceptuando Bryozoa, por ser organismos coloniales.

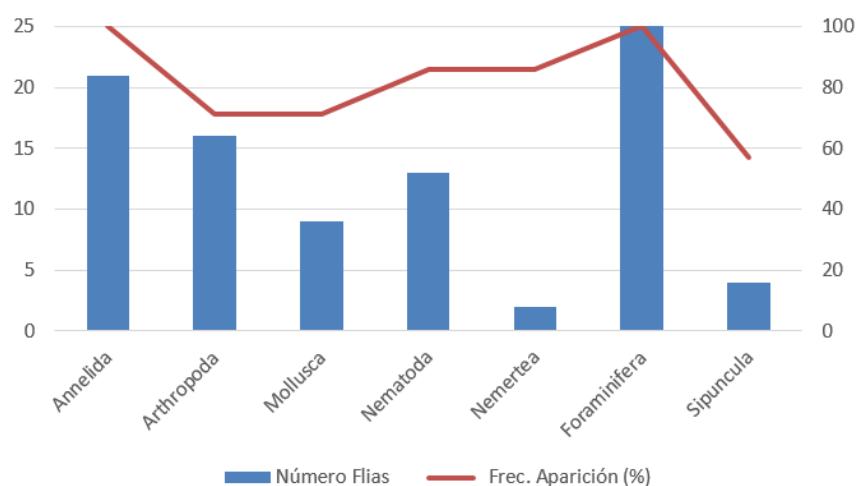


Figura 105. Frecuencia de aparición (%) y número de familias de cada uno de los phylum encontrados en el bloque de exploración COL3 (exceptuando Bryozoa).

En cuanto a la estructura de la comunidad macrobentónica del bloque de exploración COL3 por estaciones de muestreo analizadas, se observó que en casi todas se encontraron la mayor cantidad de phyla que componen dicha comunidad, exceptuando la estación E-563 en la que aparecieron solo tres de los ocho phyla (Figura 106). Del mismo modo se pudo apreciar que Foraminifera fue quien contribuyó en mayor medida a la abundancia relativa por estación, además tuvo el mayor número de familias y apareció en todas las estaciones de muestreo (Figura 106).

Por otro lado, la estación E-565 fue la que obtuvo el mayor valor de abundancia y presentó un total de 26 familias, no siendo precisamente este el número más alto de familias encontradas en una estación; sino 58 para la estación E-559 (Figura 107). En contraposición a la estación E-563 quien mostró el menor valor no solo de abundancia sino también de número de familias (Figura 107).

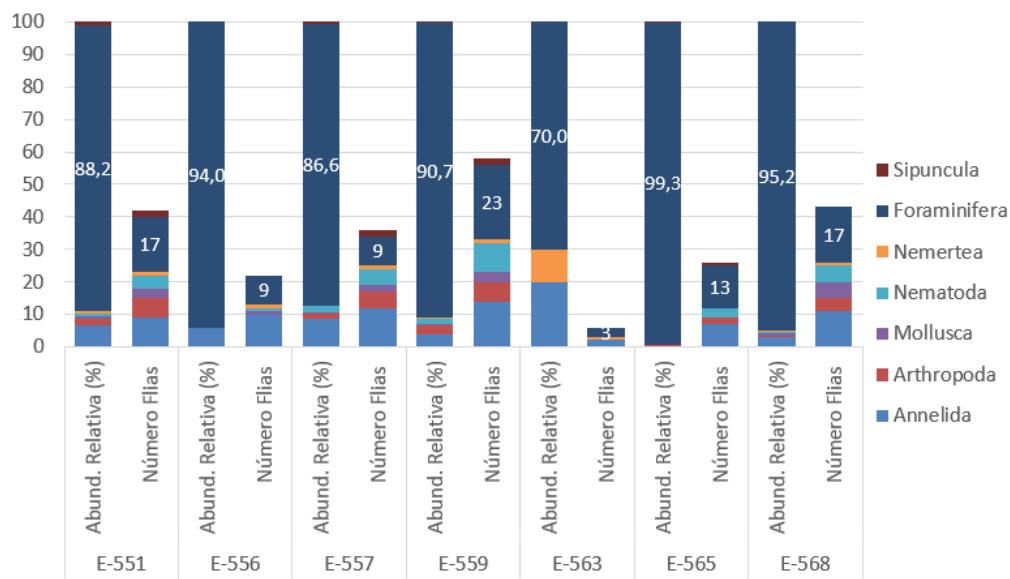


Figura 106. Estructura de la comunidad macrobentónica del bloque de exploración COL3 por estación de muestreo, con su respectivo aporte a la abundancia relativa (%) y número de familias que lo constituyen.

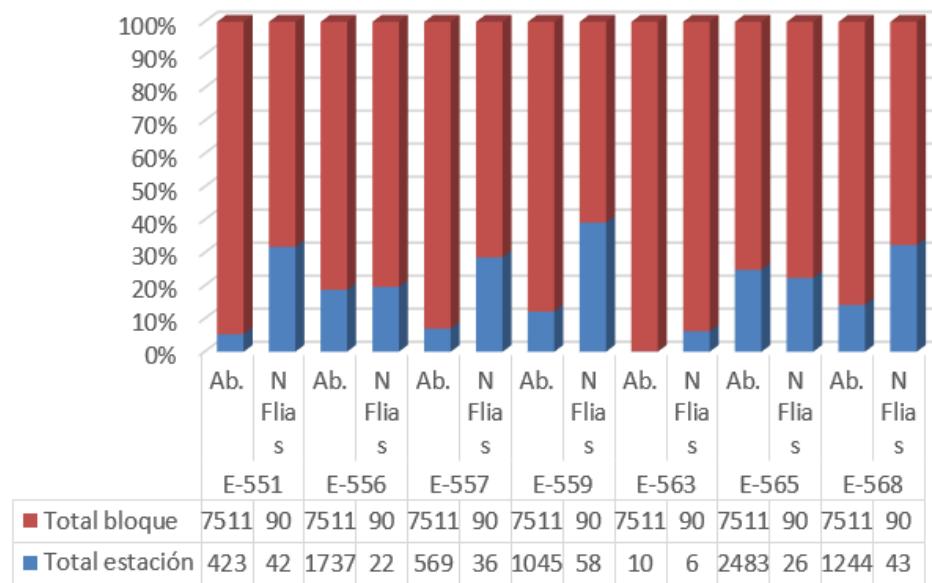


Figura 107. Contribución de todos los phyla a la abundancia (Ab.) y número de familias (N Flias) por estación, con relación a la total del bloque de exploración COL3 (excepto Bryozoa, al cual pertenecen dos familias excluidas de los análisis generales).

Considerando lo anterior y los valores arrojados por los índices de riqueza, diversidad y equitatividad calculados para el bloque de exploración COL3 mediante el programa PRIMER 5, corroboramos lo que se pudo apreciar en las Figura 106 y Figura 107, en donde las estaciones E-559 y E-551 son las más diversas no solo por presentar un mayor número de familias, aun cuando la abundancia de sus individuos no fueron las más altas; sino porque la distribución de las abundancias dentro de las familias encontradas fue más equitativa (Tabla 26).

Tabla 26. Índices que describen los atributos de la comunidad macrobentónica del bloque de exploración COL3 con base en las familias encontradas. S: riqueza, N: abundancia, J': uniformidad de Pielou, H' (log<sub>e</sub>): índice de diversidad de Shannon.

| Índice                | E-551  | E-556  | E-557  | E-559  | E-563  | E-565 | E-568  |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| S                     | 42     | 22     | 36     | 58     | 6      | 26    | 43     |
| N                     | 423    | 1737   | 569    | 1045   | 10     | 2483  | 1244   |
| J'                    | 0,6008 | 0,4069 | 0,4525 | 0,5831 | 0,9172 | 0,379 | 0,5269 |
| H'(log <sub>e</sub> ) | 2,246  | 1,258  | 1,622  | 2,368  | 1,643  | 1,235 | 1,982  |

A nivel general la composición de la macrofauna en este estudio muestra que el phylum Foraminifera fue el que presento el mayor porcentaje de abundancia relativa y frecuencia de aparición y número de familias, en relación a los demás; seguido de Annelida (Figura 104y Figura 105). A este respecto, encontramos que resultados similares fueron obtenidos en estudios anteriores realizados por la ANH en los bloques de exploración COL 4 y 5 en 2014 y COL 1 y 2 entre 2015-2016 (Garrido-Linares *et al.*, 2014 y Cárdenas *et al.*, 2017); excepto porque en Garrido-Linares *et al.* (2014), Arthropoda supero a Annelida. En concordancia con Gooday *et al.* (2002), quienes afirman en el primer de los casos que los foraminíferos son el mayor componente de la fauna bentónica y en el segundo que los anélidos poliquetos son uno de los grupos más importantes y representativos de las comunidades bentónicas (Knox, 1977; McLachlan y Brow, 2006; Martí *et al.*, 2007).

Con relación a la estructura de la comunidad macrobentónica por estaciones de muestreo, se observó que hubo una estación en particular en la que apareció el menor número de phyla del total encontrados, lo que podría estar indicando que dicha estación pudiera estar influenciada por una serie de factores que en su momento condicionarían la presencia o ausencia de ciertos organismos. Cabe resaltar en este sentido, que las condiciones ambientales, son un factor determinante de selección, para el establecimiento y desarrollo de las comunidades macroinfaunales; considerándose la profundidad como uno de los más importantes, ya que esta afecta directamente la presión, la temperatura, la disponibilidad de alimento y el tipo de sedimento; siendo este último, otro de los factores determinantes del bentos en general (Guzmán-Alvis y Díaz, 1993; Guzmán-Alvis y Solano, 1997).

Respecto a las estaciones que calificaron como las que presentaron las mayores abundancias y números de familias, se observó, que coinciden con las que presentaron la familia (Capitellidae), con los más altos valores de abundancia total (E-565 y E-559). Además, la estación E-559, presenta condiciones ambientales que de alguna forma estarían favoreciendo el asentamiento de un mayor número de familias; como una profundidad media (1.772 m) tomando en consideración el intervalo de las estaciones muestreadas (818 – 3.175 m), un alto contenido de materia orgánica y CaCO<sub>3</sub> (15,1 y 18,17 respectivamente), y alto porcentaje de sedimentos finos (< 0,063 con un 96,17 % de la fracción). Se sabe que casi todos los sedimentos contienen materia orgánica, y en algunos casos es un constituyente importante. La cantidad de materia orgánica conservada en los sedimentos depende entre otros, de la textura de los sedimentos, de la tasa de sedimentación y de la relación entre las velocidades de aporte y descomposición de la misma. En el caso de los sedimentos marinos, los contenidos de

materia orgánica varían entre 0,5% y 10% y bajo condicione reductoras en el fondo o cuencas semicerradas con escasa circulación del agua, se pueden encontrar valores superiores al 10%. El promedio de contenido de materia orgánica en sedimentos marinos cercanos a la costa es de 2,5% y en los de mar abierto de 10 % (Pinedo, 2009).

Por su parte hubo una estación (E-563), que no solo mostro el menor valor de abundancia relativa; sino también de número de familias, lo cual pudiera estar más relacionado con la geoforma sobre la que se encuentra ubicada (Figura 100), que con las condiciones ambientales presentes en la estación (esto entrara a corroborarse más adelante, en el apartado de variabilidad y distribución de la comunidad macrobentónica, en el que se plantea hacer análisis de correlación entre la matriz de datos biológicos con la de los ambientales).

Finalmente, al calcular los índices de riqueza, diversidad y equitatividad para cada una de las estaciones de muestreo, mediante el programa PRIMER 5, se logra apreciar que en términos generales la mayoría de las estaciones presentan valores de diversidad muy cercanos a dos, lo que resulta ser un buen indicio y pudiera interpretarse como una zona con un buen estado de condición. El hecho de que la estación E-559 sea la que presenta el valor más alto, ratifica lo que han venido mostrando los análisis anteriores. Queda claro que la riqueza de especies en aguas profundas es sorprendentemente alta aun cuando resulte intrigante debido a la ausencia de productividad primaria, la escasa variedad de recursos alimenticios y la aparente homogeneidad estructural de estos sistemas. Sin embargo, la explicación a este fenómeno ha sido atribuida a causas tan diversas como la heterogeneidad espacial a pequeña escala generada por características del sedimento y perturbaciones, dinámicas de no equilibrio, interacciones entre tres o más niveles tróficos y las escasas barreras existentes para la dispersión (Grassle y Maciolek, 1992; Etter y Mullineaux, 2001).

La concepción ya generalizada de la alta diversidad en estas comunidades de bentos marino radica en una alta riqueza y equidad, basada ésta última en un bajo número total de organismos, es decir, las densidades son bajas y la mayor parte de las especies son raras, en contraste con comunidades de aguas someras caracterizadas por una alta riqueza, pero dominadas por una o pocas especies que presentan elevados valores de abundancia (Sanders, 1968).

### **3.5.2.1 Estructura de la comunidad macrobentónica por phylum**

A continuación, se detalla la composición por grupos taxonómicos de la comunidad macrobentónica encontrada en el bloque de exploración COL3.

#### **3.5.2.1.1 Phylum Annelida**

El phylum Annelida Lamarck, 1809, hace referencia a los gusanos segmentados, en alusión a los segmentos tipo anillados característicos del grupo (Rouse and Pleijel, 2007). Actualmente se encuentra constituido por las clases Clitellata: hirudíneos y oligoquetos (WoRMS, 2004), y Polychaeta: poliquetos, poliquetos incertae sedis y echiuridos (Reads, 2016); las cuales tienen representantes en ambientes marinos, dulceacuícolas y terrestres.

Los gusanos poliquetos, como comúnmente se le conoce, no solo son los más abundantes y diversos dentro del phylum, con más de 9.000 especies reconocidas (Rouse y Pleijel, 2001); sino que también son uno de los grupos más importantes y representativos de las comunidades bentónicas (Knox, 1977; McLachlan y Brow, 2006; Martí *et al.*, 2007), aún en áreas sometidas a fuertes presiones ambientales (Scheltema, 1997). Donde llegan a constituir desde el 50 hasta al 80% de la macrofauna; debido a su habilidad para adaptarse a diferentes rangos de parámetros ambientales, que les permite ocupar hábitats muy diversos (Westheide y von Basse, 1978; Fauchald, 1977; Fauchald y Rouse, 1997; Rouse y Pleijel, 2001).

Son organismos predominantemente marinos, que pueden encontrarse desde zonas someras hasta grandes profundidades oceánicas (Amaral y Nonato, 1996). Los cuales, han tenido gran éxito en la colonización de sedimentos marinos, lo que es atribuido a las características propias del grupo, como son la talla corporal, presencia de apéndices especializados para la alimentación y desplazamiento en el sedimento, elaboración de estructuras como tubos, galerías o madrigueras para su protección, así como a la variedad de fuentes de alimentación, al aprovechar varios recursos al tiempo o solo uno que es especialmente abundante en el medio (Blake *et al.*, 1997; Beesley *et al.*, 2000; Fauchald y Jumars, 1979). Su papel fundamental en el medio marino va desde aspectos como su diversidad etológica y reproductiva hasta procesos de bioerosión y desde su función como bioindicadores de contaminación hasta ser componentes de las redes tróficas de especies explotadas comercialmente.

En el mar profundo, con el avance de la tecnología que permite su exploración, se ha reconocido que los poliquetos son tan abundantes y diversos como en aguas someras (Grassle y Maciolek 1992), estimándose que en los fondos blandos profundos la riqueza de sus especies se acerca, potencialmente, a la de los arrecifes coralinos, el ambiente marino conocido hasta hoy como el más rico y diversificado del planeta. Sin embargo, el estudio del bentos de zonas profundas de los mares tropicales ha sido apreciado como una de las últimas fronteras en el estudio de la biodiversidad marina y el escaso conocimiento que se tiene de sus múltiples paisajes y ambientes asociados, no nos permite todavía hacer evaluaciones fidedignas de los grupos animales presentes.

En términos generales el phylum estuvo representado por miembros de sus dos clases (Clitellata y Polychaeta), de las cuales, la segunda fue la que contribuyó en mayor medida a la abundancia relativa con un 98,9 % (Figura 108). Así como también fue la que presentó 20 de las 21 familias encontradas en este estudio (Figura 105).

Por su parte, la familia con el más alto valor de abundancia relativa fue Capitellidae con 30,3 % (Figura 109), aun cuando no fue la que presentó el mayor porcentaje de aparición; sino Cirratulidae, Paraonidae, Maldanidae, Spionidae y Glyceridae con un 85,7 % (Figura 110). Es importante aclarar que 13 familias de las 21 encontradas, fueron agrupadas como otras familias (\*Otras Flias); porque su contribución a la abundancia relativa fue < 3 % y/o su frecuencia de aparición no superó el 50 % (Figura 109 y Figura 110).

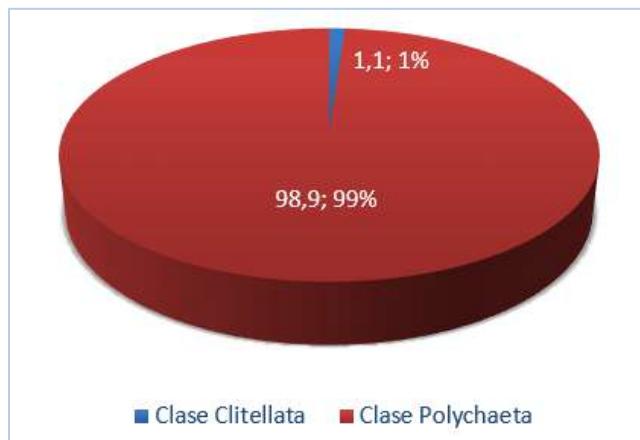


Figura 108. Contribución a la abundancia relativa (%), de las dos clases del phylum Annelida, encontradas en el bloque de exploración COL3.

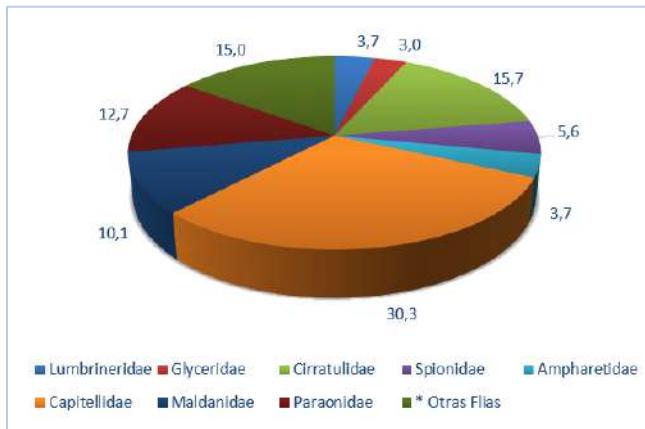


Figura 109. Contribución a la abundancia relativa (%), de las familias que conforman el phylum Annelida de la comunidad macrobentónica del bloque de exploración COL3. \* Otras Flias: hace referencia a aquellas familias cuya contribución a la abundancia relativa fue < 3 %.

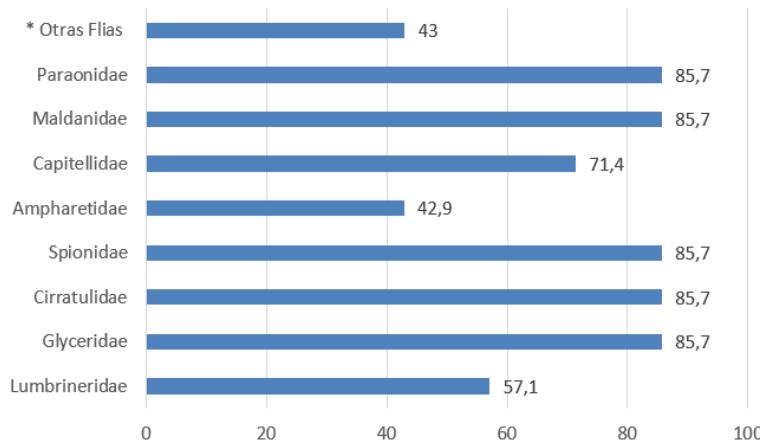


Figura 110. Frecuencia de aparición (%), de las familias que conforman el phylum Annelida de la comunidad macrobentónica en las siete estaciones analizadas del bloque de exploración COL3. \* Otras Flias: hace referencia a aquellas familias cuya frecuencia de aparición no superó el 50 % (excepto aquellas que contribuyeron en más de un 3 % a la abundancia relativa).

Por otro lado, la estación que presento la mayor abundancia fue la E-556; mientras que la que mostro el mayor número de familias fue la E-559 (Figura 111).

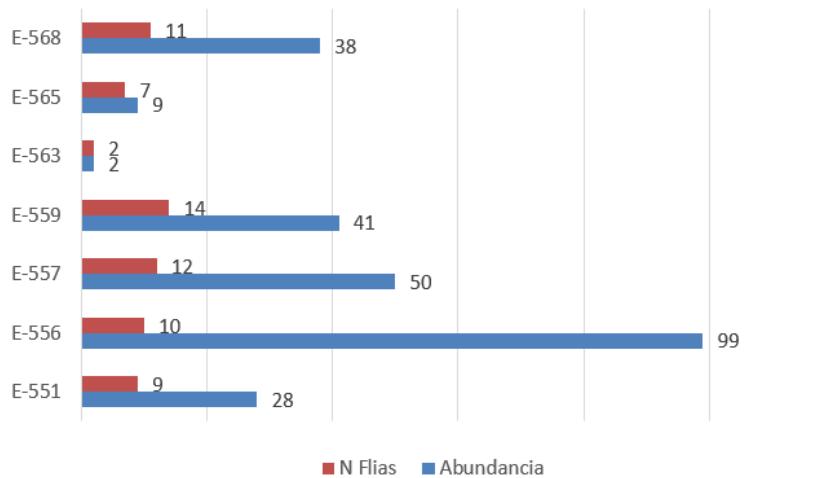


Figura 111. Abundancia y número de familias del phylum Annelida por estaciones de muestreo.

Siguiendo este orden de ideas, con estos resultados se reafirma lo que previamente se ha documentado, en cuanto a que organismos de la clase Polychaeta suelen ser los más abundantes y diversos dentro del phylum Annelida (Rouse y Pleijel, 2001). Del mismo modo en que se ha reportado en informes anteriores realizados para la ANH, en los que Garrido-Linares *et al.* (2014), encontraron que el phylum estuvo representado en un 100% por la clase Polychaeta; mientras que en Cárdenas *et al.* (2017), por un 97,67%.

De las 21 familias encontradas en el bloque de exploración COL3, fueron pocas las que contribuyeron en más de un 3% a la abundancia relativa y presentaron un porcentaje de frecuencia mayor al 50%, en este sentido, algunos autores (Grassle y Maciolek, 1992; Cosson-Sarradin *et al.*, 1998), señalan que al realizar comparaciones del comportamiento de las comunidades bentónicas de aguas someras con las de aguas profundas; las especies de aguas profundas no acumulan valores superiores al 10%, en relación a las de aguas someras, en donde una especie en particular puede acumular hasta 25%. Adicionalmente, en muestras de aguas profundas el número de especies raras es mucho mayor, llegando a acumular hasta un 30% de la abundancia total. De acuerdo a lo anterior, estos resultados coinciden “parcialmente” con lo descrito por estos autores; puesto que, en este estudio la familia que hizo el mayor aporte a la abundancia relativa alcanzo un valor de 30,3% (Figura 109). Sin embargo, Cárdenas *et al.* (2017), encontraron resultados similares a los de este estudio, en donde las familias que hicieron mayor aporte a la abundancia relativa fueron Cirratulidae, Maldanidae, Spionidae, Paraonidae, Capitellidae y Lumbrineridae, con porcentajes superiores al 10 %. Así como también, fueron en su mayoría las mismas familias reportadas por Garrido-Linares *et al.* (2014), pero en términos de frecuencia debido a que los análisis realizados por estos se hicieron basados en matrices de presencia/ausencia.

En cuanto a la estación con mayor abundancia (E-556, Figura 111), y mayor número de familias (E-559, Figura 111); podría obedecer, en el primer caso a que dicha estación fue una de las que presento la familia con mayor aporte a la abundancia relativa

(Capitellidae), y el segundo de los casos como ya fue mencionado antes, se deba a que presenta condiciones ambientales que de alguna manera estarían favoreciendo el asentamiento de un mayor número de familias (Figura 107).

Cabe resaltar que los fondos profundos son dominados por sustratos de fracciones muy finas, como cienos, lodos y limos, los cuales limitan la circulación de agua y oxígeno, llevando consigo que a medida que aumenta la profundidad, la composición de familias en este caso y el número de organismos pueda disminuir. Antes de 1960 se consideraba a muchas de estas zonas como biológicamente desiertas, por ser lugares adversos para el desarrollo de la vida marina, por las bajas temperaturas, presión hidrostática extrema, ausencia de luz solar y escasez de nutrientes (Rex, 1981); sin embargo, en la actualidad el mar profundo es considerado una zona de gran diversidad biológica, con estimaciones de albergar, a escala global, entre 50,000 y 5 millones de especies, únicamente de macrobentos (Sanders, 1968; Sanders y Hessler, 1969; Aller *et al.*, 2001; Smith *et al.*, 1998). A este respecto, Grant (2000), resalta que los lugares influenciados por tormentas abisales y ventilas hidrotermales; oxigenan y aportan nutrientes al fondo. Además, señala que existen estudios que han demostrado que a medida que se amplía el esfuerzo de muestreo, son más las especies encontradas; haciendo que la riqueza no muestre una señal de alcanzar una asymptota.

### 3.5.2.1.2 Phylum Arthropoda

El phylum Arthropoda (arthros= articulación; podos= pie), antiguamente clasificados dentro del grupo de los anélidos (con esqueleto tegumentario formado anillos o de segmentos anulares homólogos); es uno de los más abundantes y diversos en los océanos del mundo (Brusca y Brusca, 2003). En la actualidad hay cuatro subphylum aceptados: Chelicerata, Crustacea, Hexapoda y Myriapoda (WoRMS, 2017). Presentan una gran variedad y complejidad morfológica, razón por la cual su clasificación ha variado sustancialmente a lo largo de la historia.

Los crustáceos como comúnmente se les nombra a los miembros del subphylum Crustacea, son los artrópodos típicos del medio acuático, además de ser el grupo más diverso después de los insectos. Desempeñan un papel primordial en la economía biológica de los mares, debido a que forman parte del plancton, del necton y del bentos. Generalmente son uno de los grupos más abundantes y diversos dentro de las comunidades bentónicas (Grassle y Maciolek, 1992), estratigráficamente se encuentran desde más arriba del nivel mayor de pleamar hasta las grandes profundidades.

En el presente estudio el phylum estuvo compuesto por las clases Malacostraca, Ostracoda y Arachnida; siendo Malacostraca quien hizo el mayor aporte a la abundancia relativa con un 90,4 % (Figura 112). Además, de presentar 13 de las 16 familias encontradas en este estudio (Figura 105).

La familia que contribuyó con un mayor porcentaje a la abundancia relativa fue Apseudidae con 48,1 % (Figura 113). Sin embargo, en cuanto a frecuencia de aparición ninguna alcanzó un porcentaje por encima del 50% (Figura 114).

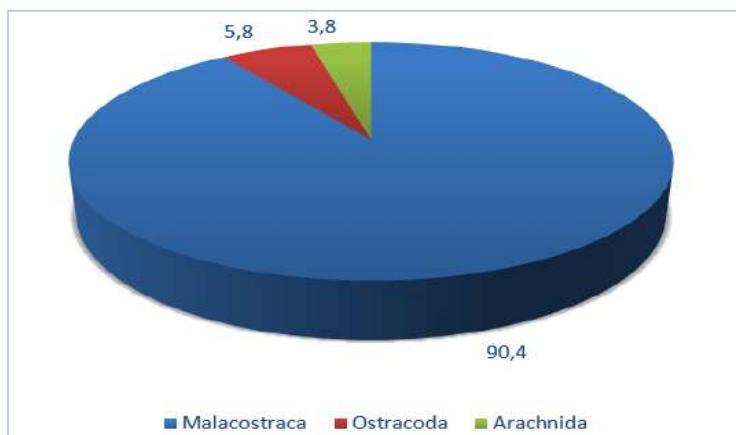


Figura 112. Contribución a la abundancia relativa (%), de las tres clases del phylum Arthropoda, encontradas en el bloque de exploración COL3.

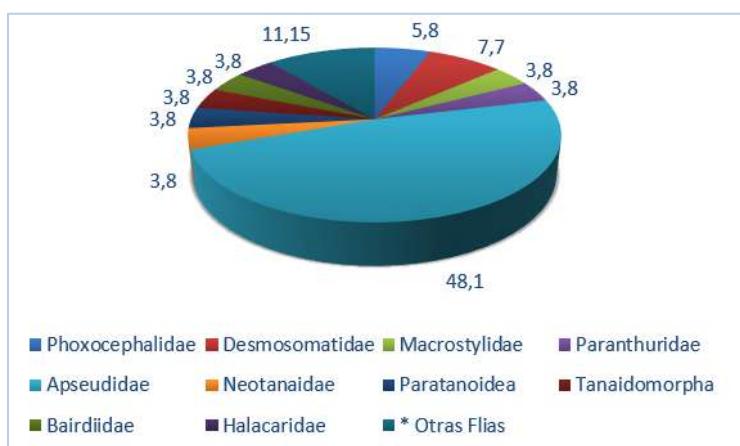


Figura 113. Contribución a la abundancia relativa (%), de las familias que conforman el phylum Arthropoda de la comunidad macrobentónica del bloque de exploración COL3. \* Otras Flias: hace referencia a aquellas familias cuya contribución a la abundancia relativa fue < 3 %.

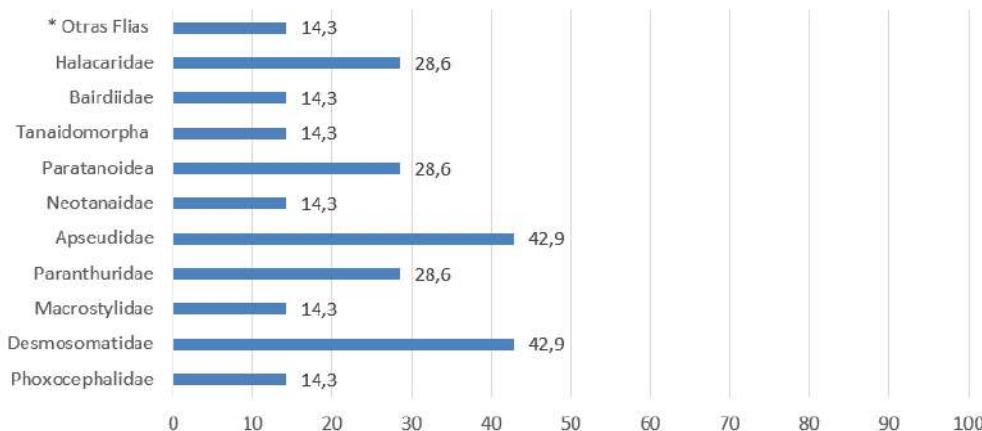


Figura 114. Frecuencia de aparición (%), de las familias que conforman el phylum Arthropoda de la comunidad macrobentónica en las siete estaciones analizadas del bloque de exploración COL3. \* Otras Flias: hace referencia a aquellas familias cuya frecuencia de aparición no superó el 50 % (excepto aquellas que contribuyan en más de un 3 % a la abundancia relativa).

En cuanto a estaciones la E-559 fue la que presento el mayor número de individuos y de familias (Figura 115), mientras que las estaciones E-556 y E-563 no presentaron nada.

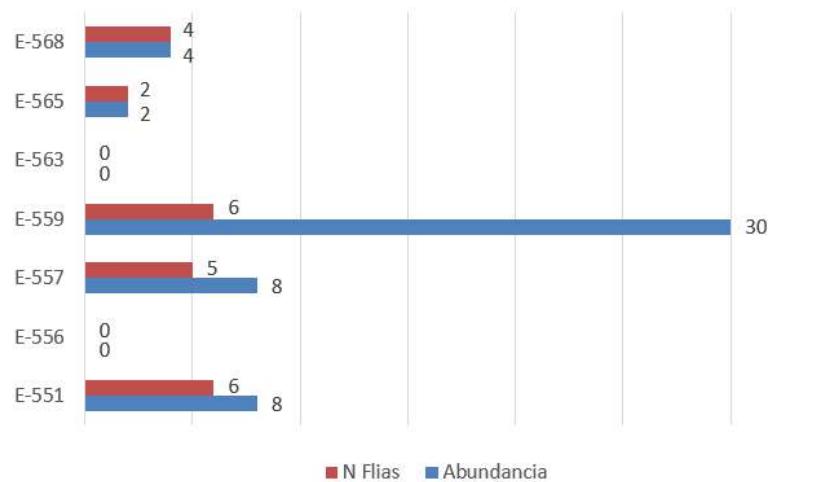


Figura 115. Abundancia y número de familias del phylum Arthropoda por estaciones de muestreo.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, estos resultados están en concordancia con estudios similares realizados en zonas profundas, en los que señalan a la clase Malacostraca como la que hace el mayor aporte a la abundancia relativa dentro de los artrópodos (Grassle y Maciolek, 1992). Así como también fue reportado en informes técnicos anteriores presentados para la ANH (Cárdenas *et al.*, 2017).

En cuanto a la familia que más contribuyó a la abundancia relativa fue Apseudidae a diferencia de lo reportado en informes anteriores (Cárdenas *et al.*, 2017), donde la familia que se destacó dentro del orden Tanaidacea en términos de abundancia fue Tanaelidae. Aun cuando, otros estudios aseguran que los anfípodos suelen ser el grupo más dominante y es por esta razón que usualmente monopoliza el interés de muchos autores (Guerra-García *et al.*, 2009).

Por otro lado, resulta inquietante el hecho de que a pesar de ser este un grupo considerado como uno de los más abundantes y diversos dentro de las comunidades macrobentónicas, se esperaría que también fuera uno de los más frecuentes. Sin embargo, no es lo que se ve reflejado en los resultados de este estudio, en donde ninguna familia alcanzo a tener un 50 % de frecuencia de aparición, pero coincidencialmente las que estuvieron cerca en alcanzarlo fueron precisamente las que mayor aporte hicieron a la abundancia relativa. A este respecto, la bibliografía consultada no hace ningún tipo de referencia y solo enfocan sus resultados en términos de abundancia y diversidad (Grassle y Maciolek, 1992; Cárdenas *et al.*, 2017).

Para finalizar con este grupo, una vez más la estación E-559, fue la que presento las mayores abundancias y número de familias, quizás, como ya se ha mencionado antes esto obedezca a que en esta se encontró la familia que mayor aporte hizo a la abundancia relativa (Apseudidae), además de presentar condiciones ambientales que de alguna forma estarían favoreciendo el asentamiento de un mayor número de

familias. Por su parte las estaciones E-556 y E-563 fueron las que tuvieron los más bajos valores, en este caso en particular fue nulo, a este respecto, para la E-563 se había sugerido que la razón podría ser la geoforma sobre la que está ubicada la estación, más que las condiciones ambientales de la misma, sin embargo, con relación a la E-556 podría estar más relacionado con aspectos intrínsecos al phylum, ya que esta estación ha sido categorizada como una de las que presento los más altos valores de abundancia para una familia de anélidos.

### 3.5.2.1.3 Phylum Bryozoa

En general es poco lo que se conoce sobre los briozoos de profundidad y la información actual acerca de la diversidad del grupo en estos ambientes proviene principalmente de los trabajos realizados para el Atlántico norte y sur (d'Hondt, 1973, 1981, 1985, 1987; Hayward y Ryland, 1978; d'Hondt and Schopf, 1984; Florence, 2015), y para el Pacífico (Busk, 1884; Harmer, 1957; Hayward, 1981; Gordon 1984, 1986, 1988, 1989, 1993, 2014; d'Hondt y Mawatari, 1987; Moyano, 1991; Gordon y Taylor, 2010; Grischenko, 2013; Matsuyama *et al.*, 2014). Sin embargo, la composición del phylum por debajo de los 1.000 m de profundidad, para el Atlántico occidental tropical y para el Caribe es prácticamente desconocida. Aun cuando existen reportes técnicos de registros puntuales en algunas colectas, no hay publicaciones que respalden dichos hallazgos (Cárdenas *et al.*, 2017).

En este estudio, y como parte de la comunidad infaunal macrobentónica del bloque de exploración COL3, el phylum estuvo compuesto por dos colonias de briozoos, que corresponden a dos morfotipos claramente definidos, pertenecientes al orden Cheilostomatida de la clase Gymnolaemata (Figura 116). Cabe resaltar que los mismos fueron excluidos de la matriz de abundancias por ser organismos coloniales y por ende tampoco aparecen relacionados en ninguno de los análisis comunitarios a nivel general. Sin embargo, el que aparecieran en una sola estación (E-559), de las siete consideradas para realizar los análisis descriptivos de la comunidad macrobentónica (Figura 117); les concede el porcentaje de frecuencia de aparición más bajo (14,3 %), con relación a los demás phyla (Figura 118).

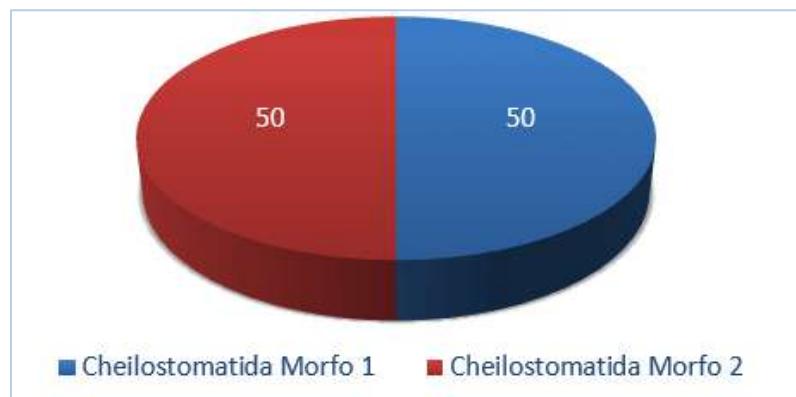


Figura 116. Proporción porcentual del número de colonias de briozoos encontradas en la comunidad macrobentónica del bloque de exploración COL3.

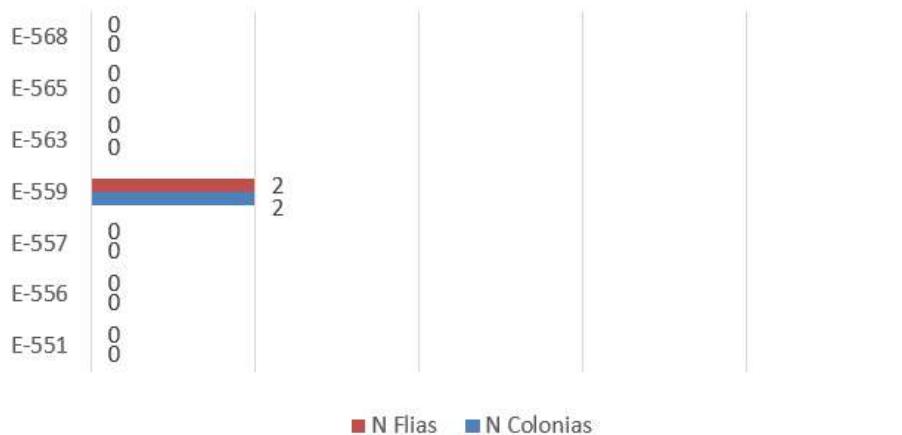


Figura 117. Número de colonias y de familias de briozos por estaciones de muestreo.

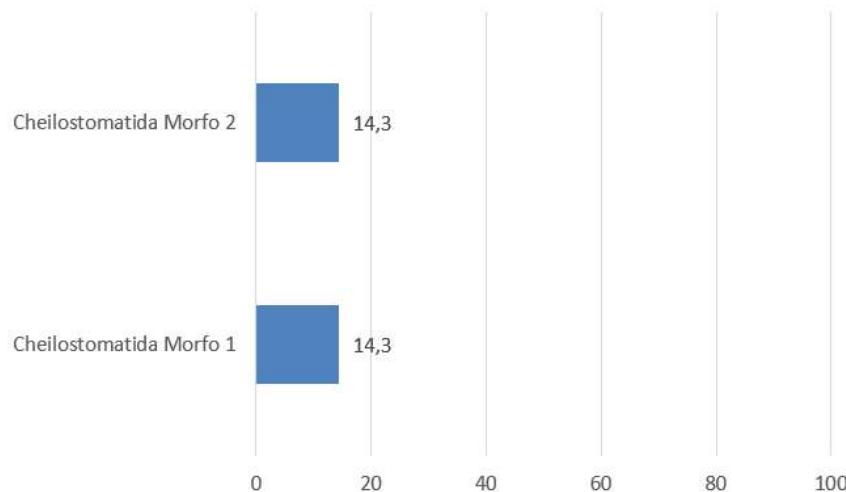


Figura 118. Frecuencia de aparición (%), de las colonias de briozos encontradas en la comunidad macrobentónica de las siete estaciones analizadas del bloque de exploración COL3.

Con base a lo anterior es poco lo que se puede discutir, debido a la poca información existente para este grupo y más aún para zonas profundas. Sin embargo, podemos rescatar el hecho de que a pesar que la clase encontrada en este estudio ha sido registrado para el bloque de exploración COL 1 y 2 (Cárdenas *et al.*, 2017), sus valores de frecuencia de aparición estuvieron por encima del 50 %, a diferencia de los de este estudio (Figura 118). Los cuales aparecieron en la estación con mayores abundancias y número de familias (E-559).

Finalmente, a pesar de que no fue posible establecer ningún tipo de afinidad con alguna de las familias de briozos reconocidas, mediante los análisis morfológicos estándar; debido al mal estado de los mismos. Y que por tal razón no se pudo alcanzar el nivel de identificación comprometido en este estudio; estos resultados contribuyen significativamente al conocimiento de la fauna de briozos de profundidad y con seguridad representarían primeros registros para esta zona en particular.

### 3.5.2.1.4 Phylum Foraminifera

Los foraminíferos son uno de los grupos más abundantes de las comunidades bentónicas de profundidad (Gooday, 1986; Gooday *et al.*, 2000; Bernhard *et al.*, 2008; Tavera-Martínez y Marchant, 2017). La distribución de foraminíferos bentónicos está condicionada por los siguientes parámetros: profundidad, tipo de substrato, disponibilidad de alimentos, concentración de oxígeno, corrientes de agua, turbulencia, luz, salinidad, pH y temperatura (Fiorini, 2015).

Su gran importancia es debido a que son catalogados como bioindicadores de condiciones ambientales, además, son una herramienta de gran utilidad en los estudios de ciencias geológicas, paleoecológicas, sedimentológicas, estratigráficas e investigaciones petroleras (Miranda y Ruffinatti, 1987). Sin embargo, Fiorini (2015) y Tavera-Martínez y Marchant (2017), afirman que las investigaciones sobre foraminíferos bentónicos en el Caribe colombiano, en ambientes de aguas profundas son escasas, y que por tal razón es necesario generar información base de este grupo de organismos.

En este estudio el phylum Foraminifera estuvo conformado por cuatro clases: Foraminifera incertae sedis, Globothalamea, Monothalamea y Tubothalamea; de las cuales Globothalamea fue la que contribuyó fuertemente a la abundancia relativa con un 81 % (Figura 119). Del mismo modo en que es la clase en la que están contenidas el mayor número de familias (15 de 25) encontradas en este estudio (Figura 119). El Anexo 1 muestra los representantes de foraminíferos bentónicos encontrados durante el estudio.

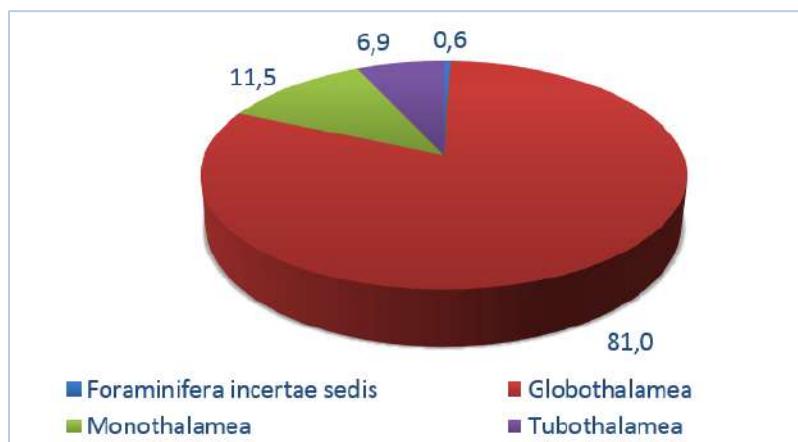


Figura 119. Contribución a la abundancia relativa (%), de las cuatro clases del phylum Foraminifera, encontradas en el bloque de exploración COL3.

La familia Hormosinidae fue la que hizo el mayor aporte a la abundancia relativa con un 52,22 % (Figura 120), y alcanzó el máximo porcentaje de frecuencia de aparición en todas las estaciones analizadas con un 100 % (Figura 121). Cabe resaltar que la mayor parte de las familias pertenecientes a este phylum obtuvieron porcentajes muy altos, inclusive aquellas cuyo aporte a la abundancia relativa no fue tan significativo; razón por la cual en este apartado en particular las familias agrupadas como “\*Otras Flas” muestran una máxima frecuencia de aparición de 58 % (Figura 121).

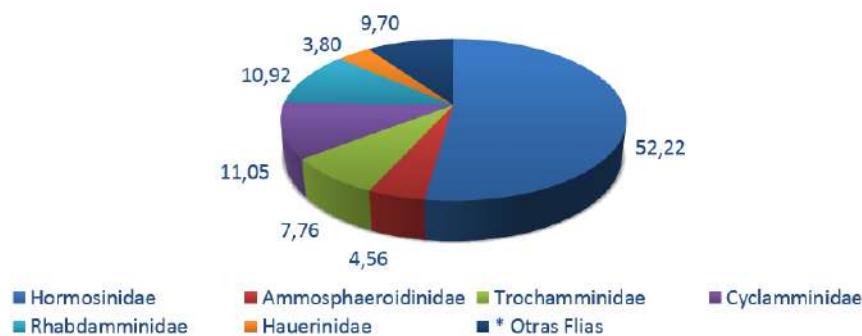


Figura 120. Contribución a la abundancia relativa (%), de las familias que conforman el phylum Foraminifera de la comunidad macrobentónica del bloque de exploración COL3. \* Otras Flias: hace referencia a aquellas familias cuya contribución a la abundancia relativa fue < 3 %.

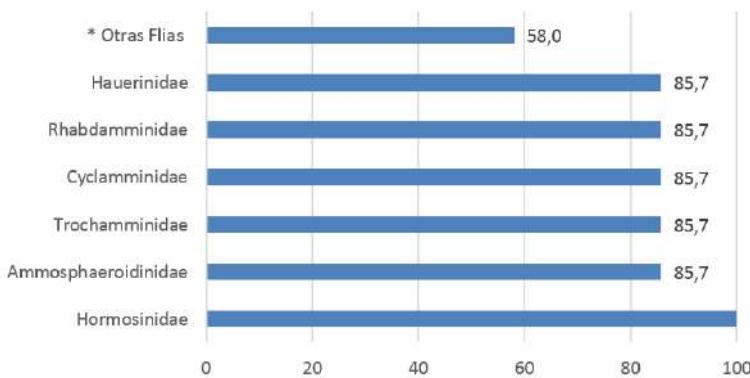


Figura 121. Frecuencia de aparición (%), de las familias que conforman el phylum Foraminifera de la comunidad macrobentónica en las siete estaciones analizadas del bloque de exploración COL3. \* Otras Flias: hace referencia a aquellas familias cuya frecuencia de aparición no supero el 50 % (excepto aquellas que contribuyan en más de un 3 % a la abundancia relativa).

Respecto a la estación con la mayor abundancia de foraminíferos corresponde a la E-565; mientras que la que presento el mayor número de familias, una vez más resultó ser la E-559 (Figura 122). Evidentemente el phylum Foraminifera fue quien presento las mayores abundancias con relación al resto de phyla de la comunidad macrofaunal.

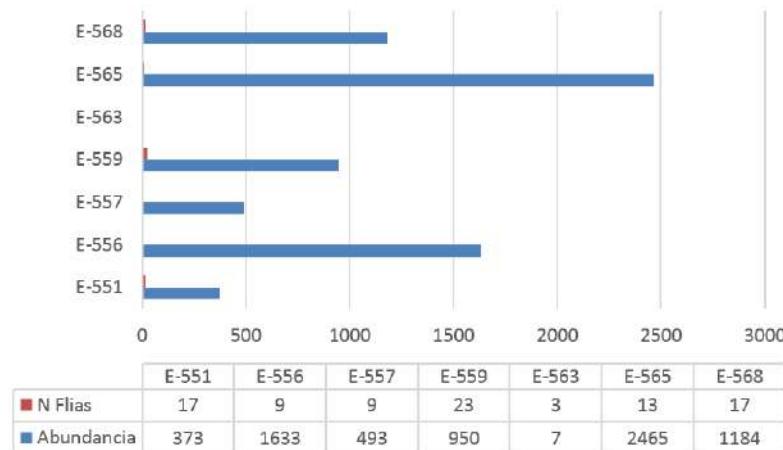


Figura 122. Abundancia y número de familias del phylum Foraminifera por estaciones de muestreo.

Haciendo la recapitulación de los resultados encontrados para el phylum Foraminifera, encontramos que la clase que mayor contribución hizo a la abundancia relativa y tuvo el mayor número de familias fue Globothalamea (Figura 115), los cuales concuerdan con lo encontrado por (Cárdenas *et al.*, 2017). Ahora bien, considerando que esta clase es aglutinadora y que algunos autores (Bernal *et al.*, 2008), señalan que suele dominar ambientes con influencia fluvial. Podemos inferir, que esta es la razón por la que clase Globothalamea fue la que presento los mayores porcentajes de abundancia relativa.

Por otro lado, Cárdenas *et al.*, (2017), también registraron a la familia Hormosinidae, como la que mayor aporte hizo a la abundancia relativa y alcanzo el máximo porcentaje de frecuencia de aparición al igual que en este estudio. Sobre esta familia se sabe que presenta una amplia distribución y es muy frecuente encontrarla en zonas abisales por debajo de la zona mínima de oxígeno, con reporte de hasta 4.000 m de profundidad e indican zonas abisales con una alta oxigenación.

En cuanto a la estación con las mayores abundancias corresponde a la E-565 caracterizada principalmente por ser la estación más profunda, factor que ha sido documentado como condicionante en la distribución de los foraminíferos bentónicos (Fiorini, 2015). Por otro lado, la estación E-559 continúa siendo la que presenta el mayor número de familias y como ya se ha mencionado quizás está relacionada con características propias de esa estación que de alguna manera favoreció el asentamiento de un mayor número de familias y que será corroborado con los análisis de correlación.

Las asociaciones de foraminíferos bentónicos que dominan los diferentes ambientes que existen a lo largo del margen continental a partir del talud superior, son diferentes dependiendo de la ubicación geográfica del lugar de estudio, ya que las especies tienden a adaptarse a las características de las masas de agua, las cuales varían con la latitud y longitud tales como temperatura, salinidad, conductividad, pH, oxígeno disuelto en el agua, fuente de nutrientes, entre otras. Sin embargo, la existencia de ciertas especies en intervalos bien definidos de profundidad, asociadas a ciertas condiciones existentes en el ambiente, en diferentes áreas geográficas, permite que éstas puedan ser empleadas como indicadores batimétricos en el estudio de ambientes acuáticos tanto actuales como antiguos.

### 3.5.2.1.5 Phylum Mollusca

Los moluscos son junto a los anélidos y los crustáceos uno de los tres phyla dominantes de la macrofauna en el mar profundo, representando alrededor del 10 % de los individuos presentes en la mayoría de las cuencas oceánicas investigadas (Allen, 2008). Los estudios realizados hasta el presente han revelado cambios importantes en la riqueza, composición, y abundancia de los moluscos a medida que aumenta la profundidad y la distancia de la plataforma continental. La malacofauna que habita en el benthos, pasa de ser dominada en la plataforma continental (< 200m) por bivalvos eulamelibranquios, con abundancias de 500-2000 ind./m<sup>2</sup>, a ser dominada en la zona abisal (> 3.000) por bivalvos protobranquios, con densidades muy inferiores (1-10 ind./m<sup>2</sup>, e incluso menores) (Allen, 2008).

Aunque todas las clases de moluscos que son reconocidas en la actualidad se encuentran presentes en el mar profundo, son los bivalvos (clase Bivalvia) los más importantes, comprendiendo numéricamente entre el 8 y 10 % de la macrofauna de invertebrados bentónicos en las zonas batial y abisal, siendo el tercer grupo de mayor abundancia después de los poliquetos (> 50 %) y los crustáceos peracáridos (> 30 %) (Gage y Tyler, 1991). Entre los bivalvos, es la subclase Protobranchia la claramente dominante en el bentos profundo (entre 400 m y 5000 m) (Allen, 1983, 2008; Allen & Sanders, 1996).

El phylum Mollusca estuvo conformado por tres clases: Bivalvia, Caudofoveata y Gastropoda; siendo Bivalvia la que hizo el mayor aporte a la abundancia relativa (55,6 %) y presentó cinco de las nueve familias que conforman el phylum (Figura 123).

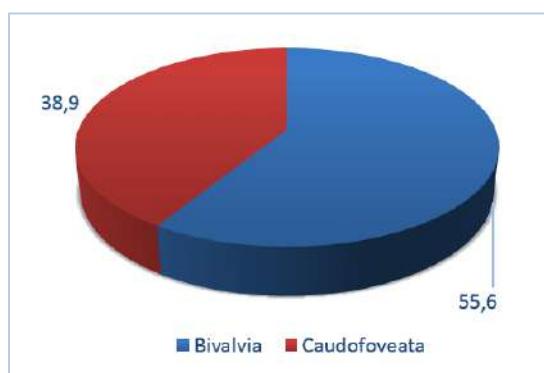


Figura 123. Contribución a la abundancia relativa (%), de las tres clases del phylum Mollusca, encontradas en el bloque de exploración COL3.

Todas las familias de este phylum contribuyeron en más de un 3 % a la abundancia relativa y sus porcentajes aparecen distribuidos equitativamente (Figura 124); sin embargo, ninguna supera el 50 % de frecuencia de aparición (Figura 125). De tal forma que, aunque son cuatro las familias que alcanzan “el mayor valor de abundancia relativa”, resaltamos a Prochaetodermatidae y Yoldiidae, por ser también las más frecuentes (Figura 123 y Figura 124).

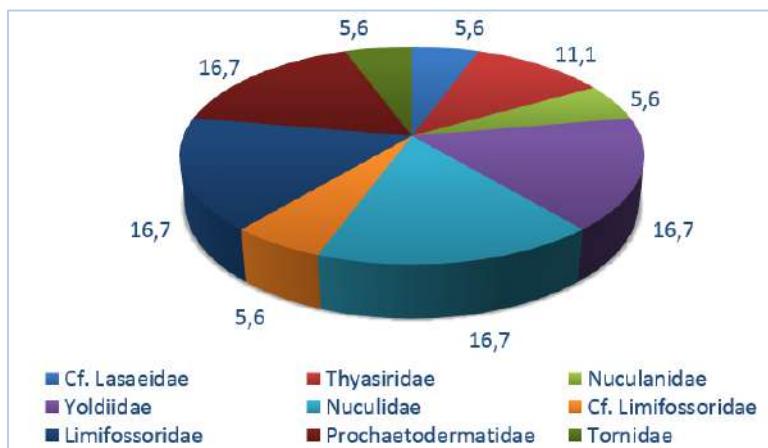


Figura 124. Contribución a la abundancia relativa (%), de las familias que conforman el phylum Mollusca de la comunidad macrobentónica del bloque de exploración COL3.

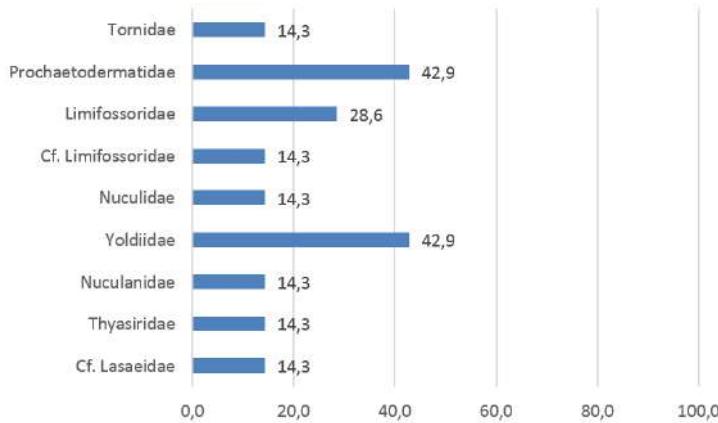


Figura 125. Frecuencia de aparición (%), de las familias que conforman el phylum Mollusca de la comunidad macrobentónica en las siete estaciones analizadas del bloque de exploración COL3.

En cuanto estaciones se puede observar que la E-568 fue la que presento el mayor valor de abundancia y número de familias (Figura 126); siendo notorio que aun cuando estos valores no son tan altos son muy cercanos entre sí y quizás sea esta la razón por la cual se muestran mejor distribuidas con relación al total.

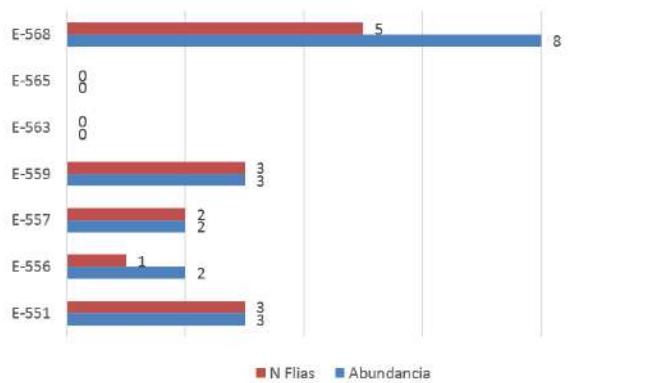


Figura 126. Abundancia y número de familias del phylum Mollusca por estaciones de muestreo.

Siguiendo este orden de ideas, encontramos que para este estudio como para los realizados en los bloques COL 1 y 2 (Cárdenas *et al.*, 2017), la clase Bivalvia fue la que contribuyó en una mayor proporción a la abundancia relativa para este grupo y además fue la que presentó el mayor número de familias. A este respecto, Gage and Tyler (1991), señalan que no solo son los más abundantes e importantes dentro del phylum; sino que, en zonas batiales y abisales, logran alcanzar entre 8 y 10 % de la macrofauna en general; siendo el tercer grupo de mayor abundancia después de los poliquetos (> 50 %) y los crustáceos peracáridos (> 30 %).

Por otro lado, las familias destacadas en términos de abundancia relativa y frecuencia de aparición, fueron Prochaetodermatidae y Yoldiidae, aun cuando sus porcentajes de abundancia no fueron muy altos pero superaron el 3 %, además que ninguna logró alcanzar el 50 % de frecuencia de aparición. Sin embargo, estos resultados coinciden parcialmente con los de Cárdenas *et al.* (2017), quienes reportaron a Yoldiidae como la familia que hizo el mayor aporte.

Los prochaetodermatidos son numéricamente abundantes y ecológicamente importantes en la macrofauna bentónica del mar profundo (encontrándose hasta profundidades que superan los 8000m). Algunas especies pueden llegar incluso a ser dominantes en ciertas localidades, rivalizando en abundancia e importancia con los poliquetos (Grassle and Maciolek, 1992; Scheltema, 1997). Sin embargo, la taxonomía del grupo es aún incipiente, y la mayoría de las especies colectadas aún no han sido descritas (Scheltema and Ivanov, 2000). Por su parte, Yoldiidae hacen parte de la infauna subsuperficial de fondos lodosos y arenosos, siendo fuertes y rápidos excavadores que juegan un papel importante en la bioturbación del sedimento (Bender y Davis, 1984).

Finalmente, la estación con valores más altos de abundancias y número de familias fue la E-568, quizás debido a aspectos puntuales de la biología de las familias allí encontradas.

### 3.5.2.1.6 Phylum Nematoda

Uno de los grupos más diversos y mejor distribuidos son los nematodos, pudiendo encontrarse en ecosistemas tanto terrestres como acuáticos y bajo distintas condiciones, desde litorales rocosos y arenosos hasta fondos abisales (Platt *et al.*, 1984), en todas las latitudes y habitando todo tipo de sedimentos (Heip *et al.*, 1985).

Se alimentan de bacterias, microalgas, detritos, protozoos y metazoos. Ecológicamente participan en el reciclaje de la materia orgánica en descomposición e incrementan la bioturbación del sedimento lo que genera un hábitat propicio para otros organismos de la macro y meiofauna (Creer *et al.*, 2010; Bhadury *et al.*, 2008). Son reconocidos como indicadores del estado de salud de los biomas por su capacidad de rápida respuesta ante cambios ambientales y representan un componente muy importante en los ecosistemas bentónicos ya que la presencia de este grupo mantiene la diversidad de la comunidad procariota del sedimento (Giere, 2009).

Los estudios de profundidad concernientes a este grupo han sido muy pocos, en comparación con investigaciones en ecosistemas tanto someros, como continentales y terrestres. A nivel mundial se cuenta con estudios en la Cuenca central del Océano Índico (Singh *et al.*, 2013), en la plataforma continental y planos profundos del continente europeo (Vanreusel *et al.*, 2010; Danovaro *et al.*, 2009), en el Pacífico sur (Shirayama y Otah, 1990; Gambi *et al.*, 2003; Brandt *et al.*, 2007) y en el Atlántico norte y Mar Mediterráneo (Soetaert y Heip, 1995; Danovaro *et al.*, 2008; Lambshe *et al.*, 2000). En el Gran Caribe los estudios a relacionados son muy limitados, contando con registros de la Cuenca de Venezuela (Tiejen, 1984) y del Estrecho de Puerto Rico (Brandt *et al.*, 2017). Al respecto Miljutin *et al.* (2010), realiza una revisión de literatura de profundidad a nivel mundial de entre los 400 y 8.380 m, encontrando un listado de menos del 16 % de especies de nematodos conocidas, aun cuando el ecosistema de profundidad abarca alrededor del 91 % del fondo oceánico.

Dentro de los limitantes más grandes para el estudio de este grupo está su clasificación taxonómica que ha venido presentando modificaciones importantes en el tiempo, por lo que este estudio se basó en la clasificación propuesta por De Ley and Blaxter (2002),

que ha sido incluida en la literatura moderna. Estos autores han subdividido el phylum en dos grandes clases: Enoplecta (considerado el más primitivo) y Chromadorea. Los Enoplectos son organismos acuáticos de vida libre, la mayoría de los cuales se encuentran en ambientes marinos o salobres (Keppner, 1986), habitando desde aguas someras e intermareales hasta ecosistemas de profundidad, por su parte los Chromadoreos son evolutivamente más recientes y poseen un mayor número de representantes en aguas continentales (Malakova, 1998; Smol y Coomans, 2006). Adicionalmente es empleada la organización propuesta por Wieser (1953), que se basa en la morfología del aparato bucal y en los hábitos tróficos del animal, de modo que se diferencian dos grandes grupos: sin y con armadura bucal.

El phylum Nematoda estuvo representado por dos clases: Chromadorea y Enoplecta, que constituyen un 96 % del total de la abundancia relativa, y el otro 4 % hace referencia a dos ejemplares que quedaron en un nivel de identificación superior “\* Indeterminada” (Figura 127). Siendo Enoplecta la clase mejor representada en términos de abundancia y número de familias dentro del phylum.

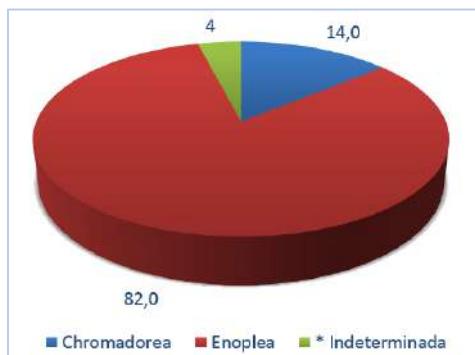


Figura 127. Contribución a la abundancia relativa (%), de las dos clases del phylum Nematoda encontradas en el bloque de exploración COL3.

La familia con el mayor valor de abundancia relativa y frecuencia de aparición fue Leptosomatidae, con un 22 % y un 57,1 % respectivamente (Figura 128 y Figura 129).

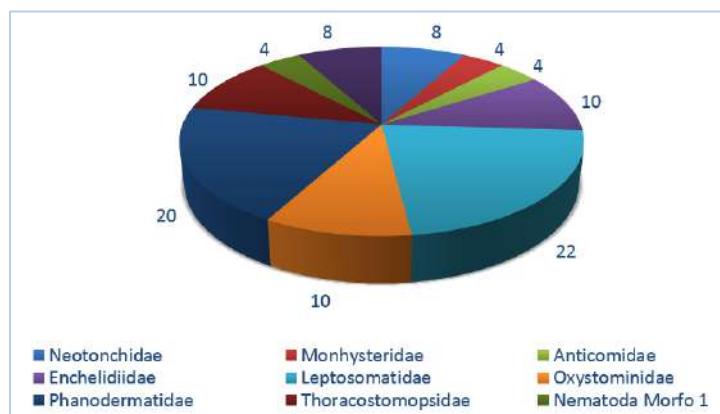


Figura 128. Contribución a la abundancia relativa (%), de las familias que conforman el phylum Nematoda de la comunidad macrobentónica del bloque de exploración COL3. \* Otras Flias: hace referencia a aquellas familias cuya contribución a la abundancia relativa fue < 3 %.

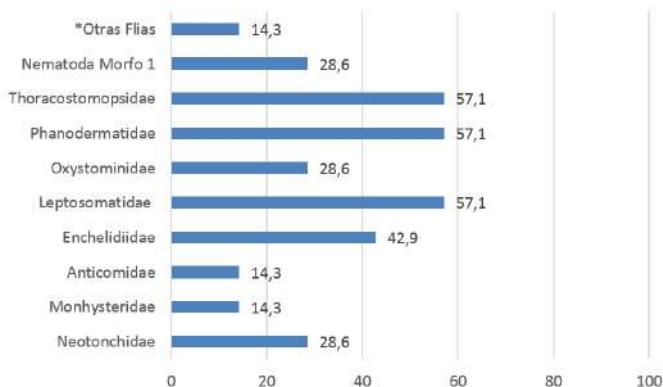


Figura 129. Frecuencia de aparición (%), de las familias que conforman el phylum Nematoda de la comunidad macrobentónica en las siete estaciones analizadas del bloque de exploración COL3. \* Otras Flias: hace referencia a aquellas familias cuya frecuencia de aparición no supero el 50 % (excepto aquellas que contribuyan en más de un 3 % a la abundancia relativa).

Una vez más la estación E-559 fue la que presentó el mayor valor de abundancia y número de familia; de la misma forma en que la E-563 no tuvo nada (Figura 130).

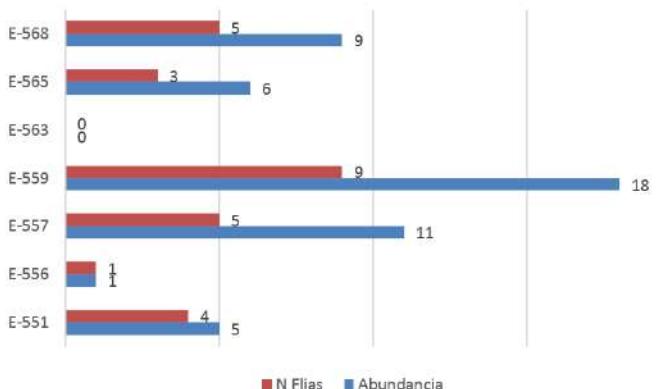


Figura 130. Abundancia y número de familias del phylum Nematoda por estaciones de muestreo.

A pesar de que la clase Enoplecta fue la que estuvo mejor representada en términos de abundancia y número de familias, de la misma manera que para los bloques COL 1 y 2 (Cárdenas *et al.*, 2017). La familia Leptosomatidae no fue la que presentó el mayor porcentaje de abundancia relativa ni de frecuencia de aparición como en este estudio.

Estos resultados difieren de la composición reportada para otros estudios a nivel mundial; Singh *et al.* (2013), reportan una dominancia de las familias Xyalidae, Chromadoridae y Oncholaimidae mientras Sandulli *et al.* (2015), reporta mayor abundancia de Monhysteridae, Desmodoridae y Comesomatidae. Fadeeva *et al.* (2015) reportan una dominancia de las familias Anticomidae, Comesomatidae, Desmodoridae y Oncholaimidae, con menores porcentajes para Oxystominidae, Phanodermatidae y Thoracostomatidae.

De acuerdo a la clasificación por grupos tróficos propuesta por Wieser (1953), Leptosomatidae clasificaría como organismos alimentadores de depósito selectivos, que se caracterizan por ser selectivo en cuanto al tamaño de su alimento, por su aparato bucal de menor tamaño (Gobin, 2007), adicionalmente, los alimentadores de depósito

suelen predominar en grandes profundidades y desplazan a los alimentadores de depósito no selectivos.

Para terminar con el phylum, la estación con el más alto valor de abundancia y número de familias corresponde a la que se ha venido señalando en otros phyla (E-559); así como también la de los más bajos valores es la E-563.

### 3.5.2.1.7 Phylum Nemertea

En este phylum se agrupan a los llamados comúnmente gusanos cinta o cintiformes, por ser formas delgadas, aplanadas dorsoventralmente, sin apéndices corporales externos, y cuyo cuerpo tiene gran capacidad de estiramiento; en este sentido, sus longitudes pueden ir de milímetros y centímetro a varios metros. Se han descrito alrededor de 900 especies, por lo que se consideran un taxón pequeño, encontrados principalmente en el bentos marino somero y litorales rocosos, pero unos pocos son planctónicos y otros viven en simbiosis con moluscos u otros invertebrados marinos; sin embargo, han sido descritos también en aguas dulces y en suelos terrestres muy húmedos. La mayoría son depredadores de formas más pequeñas, función en la que sus largas probóscides juegan un papel fundamental, ya que algunas están armadas con toxinas que inmovilizan a la presa y otras enrollan directamente la trompa alrededor de su captura, tragando el botín entero en ambos casos. También los han descrito como carroñeros y herbívoros (Thiel y Norenburg, 2009; Brusca y Brusca, 2005).

Este grupo ha sido pobemente estudiado, siendo casi nulo el conocimiento que se tiene de ellos especialmente en zonas profundas del Caribe colombiano y del mundo. En relación a esto, son frecuentes en aguas poco profundas, prefiriendo los litorales rocosos en los que viven en hendiduras y debajo de las rocas para evitar depredadores, lo que se relaciona con su estilo de vida, pues son cazadores nocturnos. Este estilo de vida es atribuido a la alta sensibilidad de sus órganos sensoriales, en especial los ocelos por los que evitan la luz intensa (Brusca y Brusca, 2005).

El phylum Nemertea estuvo constituido por dos clases y dos familias que en conjunto contribuyeron a la abundancia relativa con un 50 % (Figura 131); y cuyos porcentajes de frecuencia relativa no alcanzaron el 50 % (Figura 132).



Figura 131. Contribución a la abundancia relativa (%), de las dos clases y dos familias que conforman el phylum Nemertea de la comunidad macrobentónica del bloque de exploración COL3.

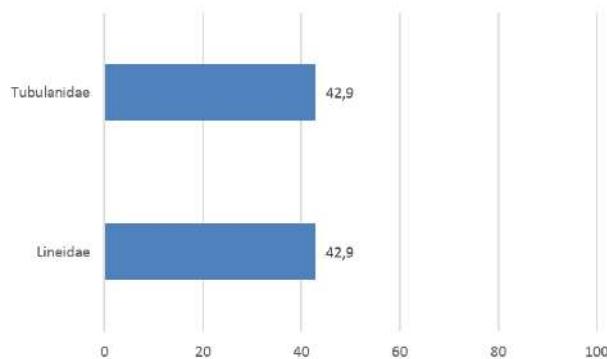


Figura 132. Frecuencia de aparición (%), de las familias que conforman el phylum Nemertea de la comunidad macrobentónica en las siete estaciones analizadas del bloque de exploración COL3.

En cuanto las abundancias y número de familias por estación se observaron que los valores fueron muy cercanos y no parece haber una diferencia marcada entre los mismos excepto por la estación E-565 en donde no se encontraron nemertinos (Figura 133).

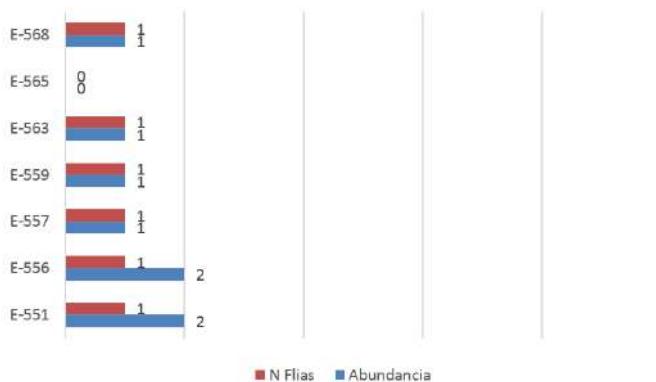


Figura 133. Abundancia y número de familias del phylum Nemertea por estaciones de muestreo.

En el área del bloque COL3 se registraron las familias Lineidae y Tubulanidae con bajas abundancias, sin embargo, su reporte resulta interesante para un área con la profundidad de este estudio, teniendo en cuenta que, bajo el escaso conocimiento de estos organismos, ellos prefieren los fondos de aguas someras. En Colombia se encuentra el trabajo de González-Cueto *et al.*, (2014), como la primera investigación enfocada en este grupo en el país, realizada en las playas Inca Inca y Taganga en Santa Marta, en la cual comparan nuestra biodiversidad de nemertinos con la de Florida y Brasil. Reportaron 11 especies pertenecientes a ocho familias, entre las cuales figuran Tubulanidae y Lineidae, halladas en este estudio, ampliando su distribución a zonas de alta profundidad como las del bloque COL3.

### 3.5.2.1.8 Phylum Sipuncula

Este phylum está integrado por gusanos, no segmentados, celomados y protostomados con simetría bilateral, siendo un grupo pequeño de invertebrados conformado por dos clases, cuatro órdenes, seis familias y 17 géneros solamente con alrededor de 150 especies conocidas. Su cuerpo está formado por dos regiones, un tronco y una parte

más delgada llamada introverteo el cual es retráctil, ambas con una serie de estructuras como papillas, ganchos quitinosos y escudos callosos, dándole una apariencia particular a estos organismos (Cutler, 1994).

Son exclusivamente marinos, encontrados desde aguas tropicales hasta polares, por lo que los consideran con una amplia distribución, y cuyo gradiente batimétrico va desde la zona intermareal hasta la abisal. Son característicos en fondos en los que predominan lodos y limos, como el de este estudio, lo cual se relaciona con su tipo de alimentación (ingieren material particulado que su cuerpo procesa y extrae nutrientes, algas y otros organismos pegados). Algunos viven libres en el sedimento, pero es común encontrarlos en conchas de moluscos y tubos de poliquetos abandonados de los que obtienen protección. Dentro de los fondos blandos desempeñan el papel de bioturbadores del sedimento, lo cual permite la oxigenación del sustrato, y son también parte fundamental de la cadena trófica, siendo la fuente de anémonas, gasterópodos, cefalópodos, cangrejos y peces y, en algunos casos, humanos (Kędra y Murina, 2007).

Actualmente son un grupo que a pesar de ser pequeño ha sido y es poco estudiado en su taxonomía y ecología, siendo la falta de especialistas una de las razones, así como la dificultad de identificación por la disección que es necesaria a los organismos. Quiroz-Ruiz y Londoño-Meza (2015), hicieron una revisión de la literatura teniendo en cuenta todos los registros del phylum en el Gran Caribe, considerando este último como la región comprendida desde el Estado de Carolina del Sur, hasta el litoral norte de Brasil, incluyendo el Golfo de México, las Antillas Mayores y Menores, así como las costas de Centro y Sur América. Encontraron en términos de familia que las seis que integran el phylum han sido registradas en diferentes lugares de este Gran Caribe, y específicamente para Colombia hacen el reporte de especies de las familias Aspidosiphonidae, Phascolosomatidae, Golfingiidae y Themistidae. La primera y no registrada en el área de estudio del bloque COL3, incluye 3 géneros presentes en el Caribe colombiano, su ausencia en el área se debió posiblemente a que es más común en zonas poco profundas dada su preferencia por habitar arrecifes coralinos y conchas de moluscos que abundan en zonas someras.

El phylum Sipuncula estuvo constituido por las clases Phascolosomatidae y Sipunculidea; siendo esta última la que hizo el mayor aporte a la abundancia relativa con un 63,6 % (Figura 134). Además de contener a tres de las cuatro familias encontradas en este estudio.

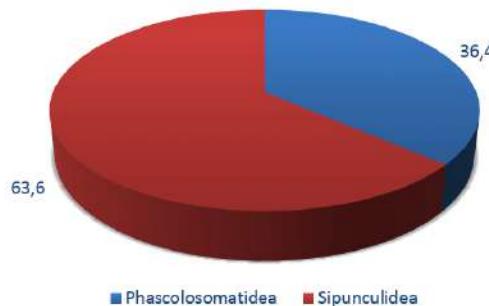


Figura 134. Contribución a la abundancia relativa (%), de las dos clases que conforman el phylum Sipuncula de la comunidad macrobentónica del bloque de exploración COL3.

Al igual que el phylum Mollusca, las familias de este grupo presentaron abundancias relativas por encima del 3 %, siendo Phascolionidae la del porcentaje más alto con un 45,5 % (Figura 135), y el mayor porcentaje de frecuencia de aparición; aun cuando este no supero el 50% (Figura 136).

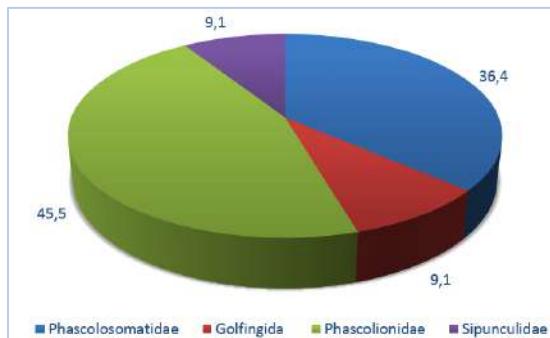


Figura 135. Contribución a la abundancia relativa (%), de las familias que conforman el phylum Sipuncula de la comunidad macrobentónica del bloque de exploración COL3.

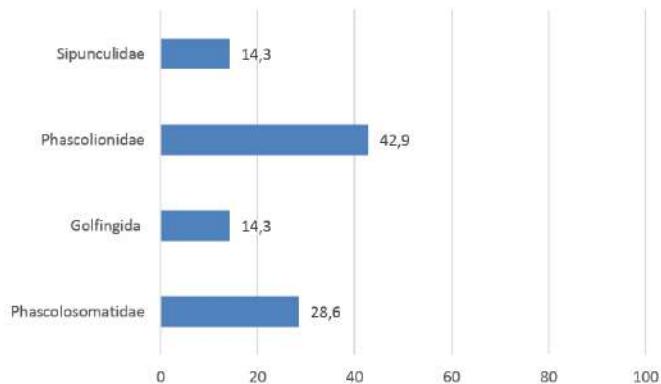


Figura 136. Frecuencia de aparición (%), de las familias que conforman el phylum Sipuncula de la comunidad macrobentónica en las siete estaciones analizadas del bloque de exploración COL3.

Siendo en este caso mayor el número de estaciones en las que no se presentaron sipunculidos (E-556, E-563 y E-568), y dos estaciones (E-551 y E-557), con la misma proporción de abundancias y número de familias (Figura 137).

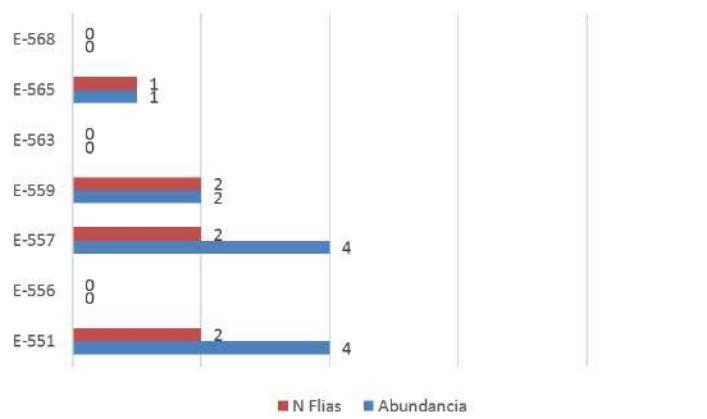


Figura 137. Abundancia y número de familias del phylum Sipuncula por estaciones de muestreo.

Teniendo en cuenta que en este trabajo se encontraron las familias Phascolosomatidae, Golfingida, Phascolionidae y Sipunculidae con bajas abundancias en las estaciones en que se encontraron, lo cual es típico del grupo, siendo significativo que como integrantes del bentos marino hayan sido reportados; sólo Phascolosomatidae y Golfingiidae fueron registradas anteriormente en Colombia, y dejando a las familias Phascolionidae y Sipunculidae como posibles nuevos reportes de distribución del grupo, sumado a que se conoce la existencia de informes técnicos en los que figura este grupo, pero al no ser publicados tampoco es posible respaldar una mayor riqueza de familias o especies del grupo presentes en los mares del país.

### 3.5.3 Análisis multivariado de la comunidad macrobentónica

#### Análisis de clasificación y ordenación

La clasificación y ordenación para las siete estaciones de muestreo se realizó teniendo en cuenta la composición y la abundancia de las familias en las estaciones que forman los diferentes grupos.

Para crear las asociaciones de estaciones y establecer patrones de distribución espacial de la comunidad macrobentónica, se empleó el análisis multivariado de clasificación, previa transformación  $\text{Log}(X+1)$  de la matriz básica de abundancia, con el fin de ponderar la contribución de las familias comunes y raras en el análisis comunitario (Clarke and Warwick, 2001). A partir de la cual se obtuvo la matriz de similaridad con base en el índice de Bray-Curtis, y el dendrograma se generó uniendo los grupos obtenidos utilizando la estrategia de Agrupamiento del Ligamento Promedio No Ponderado (UPGMA) (Clarke and Warwick, 1994).

Como resultado, la separación de dos estaciones (E-563 y E-556), a un nivel de corte de aproximadamente 52% y la formación de dos asociaciones: "A y B" conformado por las estaciones (E-565, E-569 y E-568) y (E-551 y E-557), respectivamente (Figura 138).

Las estaciones separadas de las demás asociaciones (E-563 y E-556), corresponden a una de las más profundas y a la más somera; además de ser las que presentaron los valores más bajos de abundancia y número de familias. Por otro lado, la asociación "A" hace referencia a las estaciones más profundas (E-559, E-565 y E-568) y se caracterizó por presentar las mayores abundancias y número de familias; y la asociación "B", agrupo dos estaciones (E-551 y E-557), con factores ambientales muy similares (Ej. profundidades intermedias, entre otras) que en conjunto condicionaron la abundancia y número de familias de las comunidades presentes en ellas.

De manera complementaria, se usó el Escalamiento Multidimensional No Métrico (nMDS), para obtener los grupos de estaciones definitivos y observar la configuración espacial de la comunidad macrobentónica (Clarke and Warwick, 1994). Como era de esperarse pueden apreciarse claramente la separación de los grupos establecidos en el análisis de clasificación (Figura 139).

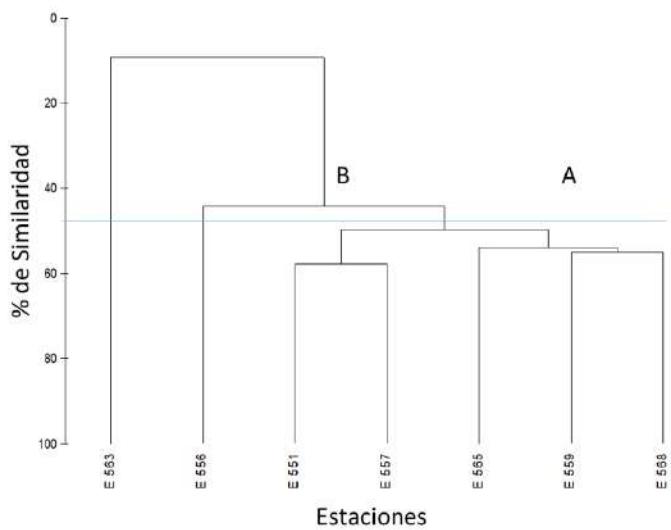


Figura 138. Análisis de clasificación de la comunidad macrobentónica del bloque de exploración COL3.



Figura 139. Análisis de ordenación de la comunidad macrobentónica del bloque de exploración COL3.

En este sentido los análisis de clasificación y ordenación muestran una clara tendencia a la formación de grupos en la comunidad macrobentónica presente en el bloque COL3, en el cual, la estación E-563 se separa notablemente de las demás estaciones, que se agrupan denotando similaridades estructurales. Tal tendencia está posiblemente determinada por la geoforma del sitio, ya que dicha estación, que se aleja considerablemente de las demás estaciones, está ubicada en un escarpe.

Los escarpes como el encontrado en la estación E 563, son zonas con inclinaciones muy pronunciadas o pendientes, es posible que esta condición evite o dificulte la fijación y sostenimiento de los organismos, que en su mayoría son cavadores activos y/o sedentarios que viven en tubos, necesitando un sustrato más o menos consolidado, y no tan inestable. Además, esta estación es una de las de mayor profundidad, lo que determinó que presentara los menores valores de abundancia y número de familias,

con solo seis familias frente a máximos de 58 y mínimos de 22, entre los demás sitios de muestreo; y una abundancia de 10 organismos respecto a valores de hasta 423 en otras estaciones.

Finalmente, el análisis de clasificación muestra una similaridad alrededor del 52 % en la cual se formarían los grupos, sin embargo, en el nMDS tales diferencias estructurales son mucho más marcadas, y con un valor de estrés de 0,01 definido como bueno a excelente, mostrando que en tal organización es muy baja la posibilidad de que haya una mala interpretación (Clarke y Warwick, 1994).

### 3.5.4 Análisis de relación con parámetros ambientales

Con el fin de explicar cuál variable ambiental, o grupo de estas, es la que explica mejor el patrón encontrado en el ordenamiento de las estaciones en el nMDS, se empleó el BIOENV. El cual, indicó a las variables profundidad, las fracciones granulométricas 0,063 - 0,125 mm y 1,0 - 2,0 mm, la variable % MO como las mejores correlacionadas con el esquema biótico hallado en el ordenamiento para la comunidad de estudio, sin embargo, dichas correlaciones son bajas, entre 0,10 y 0,28, y el valor de significancia del análisis fue de  $p= 0,59$ , haciéndolo no significativo (Tabla 27). Es posible que variables no muestreadas en este estudio tengan mejor incidencia en los resultados observados en la comunidad.

Tabla 27. Variables que mejor explican la distribución de las comunidades macrobentónicas del bloque COL3.

| Correlación | Profundidad | 0,063 - 0,125 mm | 1,0 - 2,0 mm | % M.O. |
|-------------|-------------|------------------|--------------|--------|
| 0,288       | x           |                  |              |        |
| 0,205       | x           | x                |              |        |
| 0,106       | X           | X                | x            |        |
| 0,100       | X           | X                | X            | x      |

Es importante destacar que la profundidad y el tipo de sedimento son el principal factor de selección para el establecimiento y desarrollo de comunidades macroinfaunales, siendo que la primera tiene especial influencia en el tipo de sedimento dominante (Guzmán-Alvis y Díaz, 1993; Guzmán-Alvis y Solano, 1997). En los fondos profundos, como el de este estudio, dominan las arenas muy finas, cienos, lodos y limos, y se presentan condiciones ambientales adversas, como la ausencia de luz, menor oxígeno disuelto en el sustrato, así como bajas de alimento, y alta presión, lo que normalmente se relaciona con que a medida que aumentó la profundidad la composición de familias y el número de organismos disminuya. Sin embargo, tal patrón no es el obtenido en este estudio, sino que las estaciones más profundas fueron las de mayor abundancia y número de familias (estaciones E-559, E-565 y E-568 a excepción de la E 563), esto puede relacionarse con el hecho de que antes de los años 60 se consideró a muchas de estas zonas biológicamente desiertas, por ser un lugar adverso para el desarrollo de la vida marina, por las bajas temperaturas, presión hidrostática extrema, ausencia de luz solar y escasez de nutrientes (Rex, 1981), pero actualmente, el mar profundo es considerado una zona de gran diversidad biológica (Sanders, 1968; Sanders and

Hessler, 1969; Aller *et al.*, 2001), con estimaciones de albergar, a escala global, entre 50.000 y 5 millones de especies, únicamente de macrobentos (Smith *et al.*, 1998).

### 3.5.5 Conclusiones

- Con la realización de este estudio se logró hacer una aproximación de la estructura y composición de la comunidad macrobentónica del bloque de exploración COL3.
- Se determinó que la comunidad presente en esta zona, está conformada por ocho phyla de macroinvertebrados (Annelida, Arthropoda, Bryozoa, Foraminifera, Mollusca, Nematoda, Nemertina y Sipuncula); de los cuales Foraminifera y Annelida fueron los más abundantes, frecuentes y diversos.
- De igual forma se determinó la estructura y composición de cada phylum encontrándose que dentro del phylum Annelida la familia Capitellidae fue la más abundante y frecuente, para Arthropoda fue Apseudidae, para Bryozoa se encontraron dos morfos de Cheilostomatida, para Foraminifera fue Hormosinidae, para Mollusca fueron Prochaetodermatidae y Yoldiidae, para Nematoda fue Leptosomatidae, para Nemertea fueron Tubulanidae y Lineidae y para Sipuncula fue Phascolionidae.
- Así como también se pudo establecer el grado de correlación entre las variables ambientales y la composición de la comunidad.
- En este sentido, los análisis de clasificación y ordenación mostraron la separación de dos estaciones caracterizadas por ser la más profunda (E-563) y la más somera (E-556); además de ser las que presentaron los valores más bajos de abundancia y número de familias; y la formación de dos asociaciones (A y B), caracterizadas por ser de las estaciones más profundas (E-559, E-565 y E-568) y porque presentaron las mayores abundancias y número de familias (Grupo A); y otra en donde se agruparon dos estaciones (E-551 y E-557) con factores ambientales muy similares (Ej. profundidades intermedias, entre otras) que en conjunto condicionaron la abundancia y número de familias de las comunidades presentes en ellas (B).
- Finalmente, el análisis de correlación de la comunidad macrobentónica con los parámetros ambientales, muestran a la profundidad como la variable que mejor explica la distribución de la comunidad; y que se corresponde con lo arrojado por el análisis de clasificación y ordenación.

### 3.6 Meiofauna bentónica

Los organismos meiofaunales son los metazoos más pequeños que la macrofauna y más grandes que la microfauna (Somefield y Warwick, 2013). Comprenden grupos de invertebrados y de protozoos (foraminíferos) marinos y de agua dulce que habitan el sedimento, desde un gradiente altitudinal alto, hasta el mar profundo (Balsamo *et al.*, 2012). Los límites en el tamaño de la meiofauna se basan en la medida estandarizada de tamices con un ojo de malla de 500 µm (límite superior) y con un límite inferior de 63 µm (Somefield y Warwick, 2013), aunque otros autores han fijado el límite inferior de la meiofauna en 31 µm para incluir hasta los individuos más pequeños presentes en el mar profundo (Giere, 2009).

Además del tamaño, la meiofauna se diferencia de la macrofauna en que incluyen grupos ecológicamente diferentes, asimismo poseen diferencias en la reproducción (todos los organismos meiofaunales se reproducen *in situ*), dispersión (ningún organismo meiofaunal tiene una fase específica de dispersión) e historias de vida (la mayoría de los juveniles meiofaunales se parecen a los adultos) (Somefield y Warwick, 2013).

La meiofauna comprende el elemento de la biota marina más diversificado, pues al menos 24 de los 35 phyla del reino animal tienen representantes en el meiobentos, ya sea como meiofauna temporal o permanente (Balsamo *et al.* 2012). Además, es el grupo más abundante del suelo marino, estando conectado a otros compartimentos faunísticos del sistema bentónico, por lo cual, en términos de abundancia y diversidad su conocimiento puede estar subestimado.

En términos ecológicos, el estudio de la meiofauna ha proveído excelentes resultados en estudios de asentamiento y monitoreo ambiental, ya que muchos de los grupos que componen el meiobentos pueden ser indicadores biológicos (Coull y Chandler, 1992). Como ejemplo se encuentran los foraminíferos, los cuales juegan un papel importante en los ciclos biogeoquímicos de compuestos orgánicos e inorgánicos, haciéndolos uno de los grupos más importantes en la tierra (Yanko *et al.*, 1999). Otro ejemplo es el de los nemátodos, pues poseen un alto valor ecológico siendo un grupo que domina el bentos en términos cuantitativos, jugando un rol fundamental en la cadena trófica de los ecosistemas acuáticos y han sido propuestos como bioindicadores de la calidad de los ecosistemas marinos (Moreno *et al.*, 2011).

El presente apartado tiene como fin mostrar las características de la comunidad meiofaunal (63-500 µm) encontrada en el bloque COL3 durante el muestreo realizado entre los meses de septiembre y octubre de 2017.

#### 3.6.1 Desarrollo/Hallazgos/Resultados

#### 3.6.2 Métodos

En cada una de las siete (7) estaciones de muestreo seleccionadas para la toma de las muestras biológicas para el análisis del componente bentónico infaunal, se empleó un

Box Corer de 50 cm x 50 cm, con un área de recolección de sedimento de 0,25 m<sup>2</sup>. Después de cada lance de Box Corer, una vez considerado válido el volumen de llenado del box corer, se procedió a realizar el submuestreo de la meiofauna empleando un coronador 2 cm de diámetro el cual fue enterrado 10 cm en el sedimento para así extraer 10cm<sup>2</sup> de sedimento.

Luego de extraído el sedimento, este se depositó en frascos de plástico debidamente rotulados y se procedió a realizar la narcotización de los especímenes agregando cloruro de magnesio (MgCl<sub>2</sub>) suficiente hasta cubrir la muestra. Luego de 15 minutos, se adicionó formalina (4%), neutralizada con bórax, preparada con agua de mar filtrada y rosa de bengala (0.1 g por L-1), el cual es un tinte que facilita la diferenciación de los organismos y la mejor extracción de los mismos del sedimento. La Figura 140 muestra el proceso de muestreo en campo.



Figura 140. Proceso de muestreo de la meiofauna bentónica recolectada en el bloque COL3: a. Muestra de box corer, b-d. Submuestreo de meiofauna mediante coronador.

En el laboratorio, las muestras fueron cernidas a través de tamices de 500, 300 y 63 µm y lavadas cuidadosamente con abundante agua filtrada para eliminar el exceso de formalina. Las fracciones retenidas en los tamices de 300 y 63 µm fueron guardadas en viales con alcohol al 70% para la posterior separación de la meiofauna del sedimento.

La separación de la meoфаuna de tamaño grande (300 µm) se realizó con la ayuda de estereoscopios, mientras que los organismos retenidos en la fracción del tamiz de 63 µm se separaron del sedimento mediante el uso sílica coloidal LudoxTM50 (método propuesto por De Jonge y Bowman, 1977), con una densidad de 1,15 g·mL<sup>-1</sup> para permitir la flotabilidad de los organismos.

El procedimiento de separación de la meoфаuna con LudoxTM50 se realizó teniendo en cuenta los siguientes pasos:

1. La fracción retenida en el tamiz de 63 µm fue lavada con abundante agua para eliminar el exceso de lodo y posteriormente se transfirió a una probeta de 250 ml.

2. Las probetas con la muestra se llenaron con Ludox, preparado a una densidad  $1,15 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$  y se prosiguió a la agitación de las probetas para que la muestra entrara en contacto con el reactivo.
3. Se dejó reposar la muestra durante 40 minutos para posteriormente recoger el sobrenadante y depositar el mismo en viales con alcohol al 70%. Dicho procedimiento se repitió 3 veces.
4. Finalmente, se revisó el sedimento para asegurarse que la meiofauna haya sido extraída en su totalidad.

La identificación taxonómica de los especímenes y el nivel de avance para cada uno de los taxones encontrados, fue determinado según el criterio de los investigadores encargados por grupo. El proceso realizado en el laboratorio de lavado, separación e identificación de muestras meiofaunales se muestra en la Figura 141 (A-E).



Figura 141. Procesamiento de las muestras de la meiofauna bentónica recolectadas en el bloque COL3: a – c. Tamizaje y lavado de muestras con Ludox, d. Fracción separada, e. Separación e identificación de organismos.

#### Características de la comunidad meiofaunal

Para el análisis de composición, riqueza y abundancia de especies, se construyeron matrices de individuos por phylum y familia; se realizaron gráficos circulares y de barras para expresar abundancias, riqueza y densidad de individuos a modo global y por estación de muestreo. Lo anterior se realizó utilizando el programa Microsoft® Excel®.

Se determinaron además los siguientes índices ecológicos: Índice de riqueza de Margalef ( $d$ ), índice diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ) e índice de uniformidad de Pielou ( $J'$ ). Lo anterior se determinó mediante el programa PRIMER v.5® (Plymouth Routines In Multivariate Ecological Research).

### Análisis multivariado

Con ayuda del programa PRIMER v.5® (Plymouth Routines In Multivariate Ecological Research), se realizaron análisis de clasificación mediante el índice de similaridad de Bray-Curtis aplicado a las muestras, con el fin de determinar el grado de afinidad en la comunidad con respecto a las estaciones de muestreo (Ludwig y Reynolds, 1988). Se realizó una transformación de la matriz primaria basada en la ley de Taylor (Taylor, 1961).

Para determinar la relación de la comunidad meiofaunal con las variables ambientales medidas en el sedimento, se realizó un análisis BIOENV el cual está fundamentado en maximizar la correlación de la matriz de similaridad biótica y abiótica.

Previo al análisis BIOENV se realizó un pretratamiento de datos mediante un diagrama de dispersión de puntos para la transformación de las variables que mostraron algún sesgo. Posteriormente, teniendo en cuenta el grado de correlación de las variables ambientales empleadas en el análisis, se descartaron algunas de las variables que tuvieran una correlación mayor a 0,95 ó menor de -0,95. Asimismo, se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman ( $\rho$ ) para determinar las variables ambientales que mejor explicaran la variabilidad de la comunidad meiofaunal, mediante el ajuste de la matriz triangular abiótica (distancia euclíadiana) con la matriz triangular de similaridad biológica (Bray-Curtis).

A modo complementario se realizaron diagramas de burbujas mediante la superposición de las variables ambientales sobre el plano de ordenación nMDS de la comunidad meiofaunal para representar la distribución de las variables en el ordenamiento biológico.

### **3.6.3 Presentación de los Hallazgos y Resultados**

#### **Características de la comunidad meiofaunal**

##### Composición

De las muestras provenientes de las siete (7) estaciones muestreadas, a modos general se cuantificaron un total de 318 especímenes meiofaunales, pertenecientes a 36 familias incluidas en seis (5) phyla: Annelida, Arthropoda, Cephalorhyncha, Foraminifera y Nematoda. De los phyla encontrados, foraminifera fue el grupo con mayor riqueza de familias (23), lo cual corresponde al 64% del total de las familias encontradas, mientras que Cephalorhyncha fue el phylum con menor riqueza con un taxón encontrado, correspondiente al 3% de la riqueza de familias meiofaunales (Figura 142).

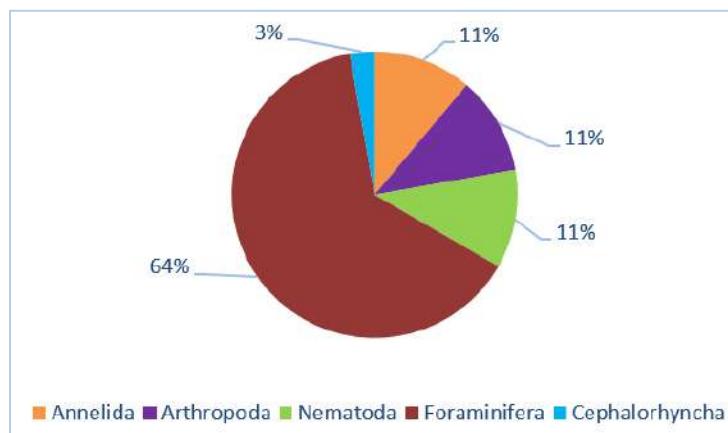


Figura 142. Riqueza de familias por phylum meiofaunal encontrado en el bloque COL3.

En cuanto a las estaciones de muestreo se encontró que la estación E-563 fue la de mayor número de familias (18), mientras que la estación E-556 fue la que presentó menor riqueza (Figura 143).

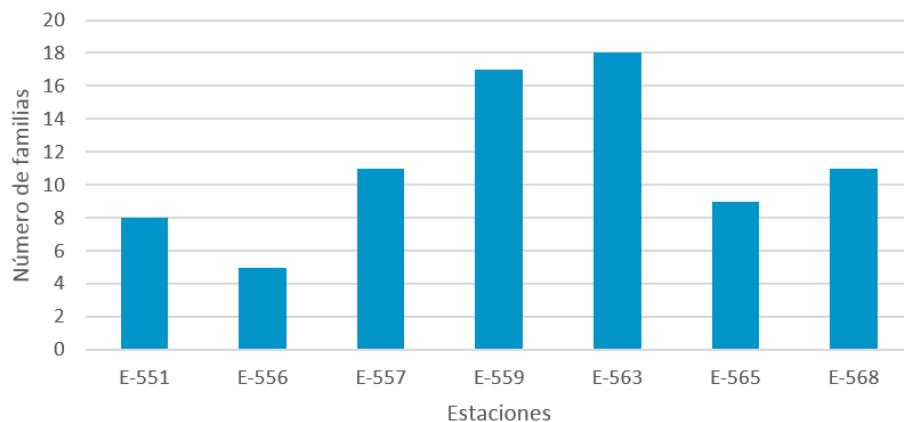


Figura 143. Riqueza de familias meiofaunales por estación en el bloque COL3.

Para la meiofauna de 300 µm, se encontraron en total 22 familias pertenecientes a los phyla Annelida, Arthropoda, Nematoda y Foraminifera, de los cuales Foraminifera presentó la mayor riqueza con 15 familias, mientras que Nematoda únicamente presentó una familia. En cuanto a las estaciones de muestreo E-563 presentó mayor riqueza con 13 familias, mientras que E-556 y E-557, presentaron menor número con tres familias reportadas (Figura 144B).

Para la meiofauna de 63 µm, se encontró mayor riqueza de familias, para un total de 32, pertenecientes a los phyla Annelida, Arthropoda, Cephalorhyncha, Nematoda y Foraminifera, siendo este último el que presentó un mayor número de familias (21). En este caso, la estación con mayor número de familias fue E-559 (16 familias), mientras que E-556 presentó únicamente dos familias (Figura 144B).

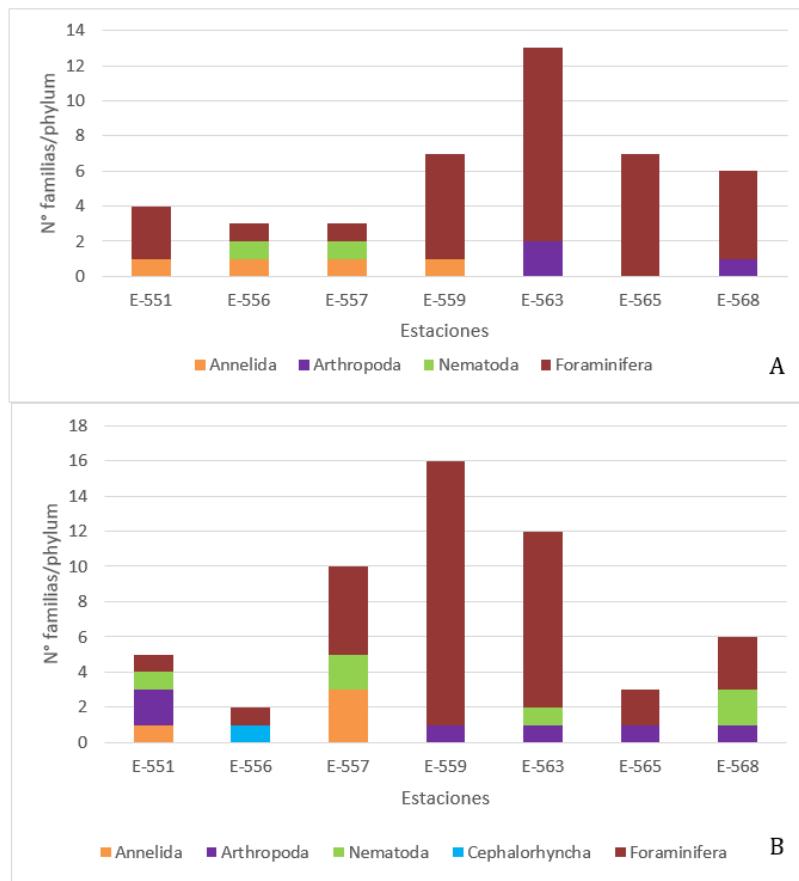


Figura 144. Riqueza de familias meiofaunales por estación por phylum en el bloque COL3: a. Meiofauna de 300 µm, b. Meiofauna de 63 µm.

### Densidad

La densidad total de individuos de las muestras meiofaunales tomadas en el bloque COL3 mostró un valor de 318 ind.10cm<sup>-2</sup>. Para las estaciones muestreadas, se registró un intervalo de densidad de 5 ind.10cm<sup>-2</sup> y 113 ind.10cm<sup>-2</sup>, para las estaciones E-563 y E-556 respectivamente (Figura 145).

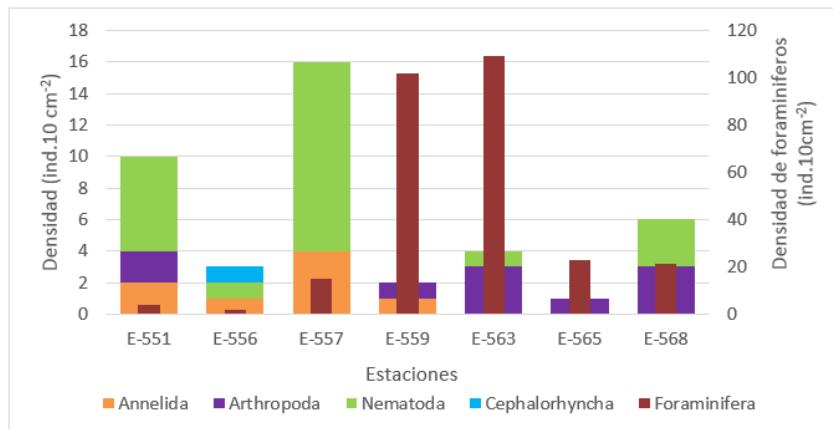


Figura 145. Densidad general (ind./10 cm<sup>2</sup>) de la meiofauna por phylum y por estación de muestreo del bloque COL3.

Especificamente para la meiofauna de 300  $\mu\text{m}$  se evidenció una densidad general de individuos de 149 ind. $70\text{cm}^{-2}$ , predominando los foraminíferos con 139 ind. $70\text{cm}^{-2}$  y menor densidad de nematodos con 2 ind. $70\text{cm}^{-2}$ . La estación E-563 cual registró el mayor valor de densidad con 75 ind. $10\text{cm}^{-2}$ , mientras que la estación E-556 tuvo la menor densidad con 3 ind. $10\text{cm}^{-2}$  (Figura 146A). Para la meiofauna de 63  $\mu\text{m}$  se registró una mayor densidad de organismos con 169 ind. $70\text{cm}^{-2}$ , predominando los foraminíferos con 137 ind. $70\text{cm}^{-2}$ , seguido de nematodos con 21 ind. $70\text{cm}^{-2}$ , mientras que Cephalorhyncha fue el phylum con menor densidad general con un valor de con 1 ind. $70\text{cm}^{-2}$ . La estación E-559 registró el mayor valor de densidad con 81 ind. $10\text{cm}^{-2}$ , mientras que la estación E-556 tuvo la menor densidad con 2ind. $10\text{cm}^{-2}$  (Figura 146B).

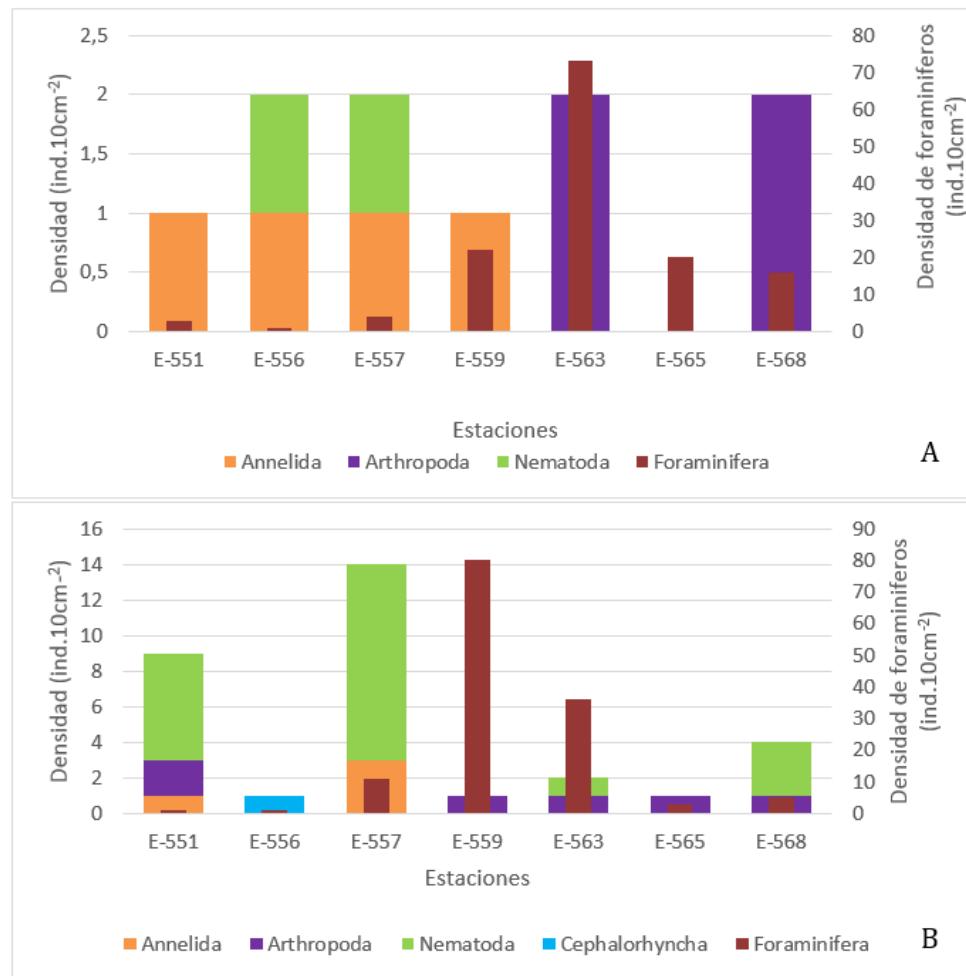


Figura 146. Densidad (individuos/ $10\text{ cm}^2$ ) de la meiofauna por estación por phylum en el bloque COL3: Meiofauna de  $300\ \mu\text{m}$  (A) y meiofauna de  $63\ \mu\text{m}$  (B).

#### Abundancia relativa y frecuencia de ocurrencia

Los resultados obtenidos evidenciaron la dominancia de foraminíferos los cuales representaron el 86,8% de la abundancia relativa, mientras que Cephalorhyncha tuvo el menor porcentaje de abundancia relativa con un valor de 0,3% (Figura 147).

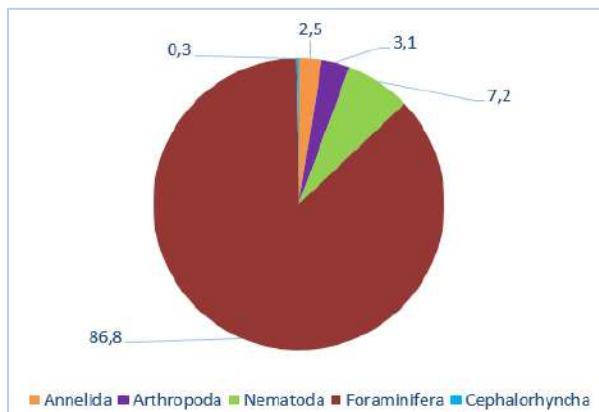


Figura 147. Abundancias relativas totales por phylum encontradas en el bloque COL3.

Al observar la alta abundancia relativa de los foraminíferos, para determinar las familias predominantes por phylum encontrado en el área de estudio, se tomaron matrices de foraminíferos y de los otros phyla por separado. Para foraminíferos predominaron las familias Buliminidae, Discorbineillidae, Cibicididae, Rhabdamminidae, Hauerinidae y Ammodiscidae con abundancias relativas mayores a 5% y frecuencias de ocurrencia mayores a 50% (Tabla 28).

Tabla 28. Abundancia relativa y frecuencia de ocurrencia por familias de foraminíferos predominantes (AR > 5% y FO > 50%).

| Familias          | %AR        | %FO        |
|-------------------|------------|------------|
| Buliminidae       | 6,88405797 | 57,1428571 |
| Discorbineillidae | 6,15942029 | 71,4285714 |
| Cibicididae       | 19,5652174 | 71,4285714 |
| Rhabdamminidae    | 19,2028986 | 71,4285714 |
| Hauerinidae       | 6,52173913 | 85,7142857 |
| Ammodiscidae      | 6,15942029 | 57,1428571 |

Para los otros grupos se encontró predominancia de las familias Paraonidae (Annelida), Miraciidae, Halacaridae (Arthropoda) y Neochontidae (Nematoda), con abundancias relativas mayores a 5% y/o frecuencias de ocurrencia mayores a 50% (Tabla 29).

Tabla 29. Abundancia relativa y frecuencia de ocurrencia por familias predominantes (AR > 5% y/o FO > 50%).

| Familias     | %AR        | %FO        |
|--------------|------------|------------|
| Paraonidae   | 9,52380952 | 42,8571429 |
| Miraciidae   | 9,52380952 | 42,8571429 |
| Halacaridae  | 9,52380952 | 42,8571429 |
| Neotonchidae | 47,6190476 | 57,1428571 |

### Índices ecológicos

Para los índices ecológicos obtenidos de la comunidad meiofaunal, se evidenciaron los mayores valores de riqueza (d) para las estaciones E-563 (3,5961) y E-559 (3,445), mientras que el menor valor de riqueza lo mostró la estación E-556 (2,164). En cuanto a los valores de diversidad obtenidos se evidenció la más alta diversidad en la estación

E-563(2,385) y el menor valor en la estación E-556 (1,3863), siendo concordante con lo mostrado para los valores de riqueza. En cuanto a los valores de uniformidad estos se encuentran entre los 0,79513 (E-559) y 1 (E-556) lo cual evidencia que las familias poseen valores equitativos de abundancias en las estaciones de muestreo (Tabla 30).

*Tabla 30. Índices de diversidad para las familias meiofaunales encontradas en el bloque COL3.*

| Estaciones | d      | J'      | H'     |
|------------|--------|---------|--------|
| E-551      | 2,6525 | 0,8522  | 1,7721 |
| E-556      | 2,164  | 1       | 1,3863 |
| E-557      | 2,9121 | 0,84641 | 2,0296 |
| E-559      | 3,445  | 0,79513 | 2,2528 |
| E-563      | 3,5961 | 0,82516 | 2,385  |
| E-565      | 2,5173 | 0,86914 | 1,9097 |
| E-568      | 3,0341 | 0,85277 | 2,0449 |

### ***3.6.3.1 Análisis multivariado de la comunidad meiofaunal***

Para el análisis multivariado de la meiofauna bentónica se excluyó del análisis el phylum Cephalorhyncha, representado por un único individuo del taxon Kinorhyncha morfo 1, el cual estuvo representado por un solo individuo registrado en la estación E-556. Lo anterior debido a que su presencia en la matriz de abundancia empleada para el análisis, puede crear sesgo en los datos debido a que es un taxón raro dentro de la meiofauna encontrada.

#### Análisis de clasificación y ordenación

El análisis de clasificación obtenido mediante el índice de Bray-Curtis y transformación de los datos con raíz cuarta ( $4\sqrt{}$ ), para la comunidad meiofaunal encontrada en el bloque COL3, mostró una separación de dos grupos a un nivel de similaridad de 25,91% (Figura 148). El primer grupo (A), estuvo conformado por las estaciones E-565, E-559 y E-563, de las cuales las dos últimas fueron las que presentaron el más alto número de familias y un mayor número de individuos en 10 cm<sup>2</sup> de muestra. Por otro lado, la estación E-565 fue la única en la cual se registró la presencia de las familias de foraminíferos Nodosaridae y Nonionidae, siendo separada de las estaciones E-559 y E-563 a un nivel de similaridad de 41,19%.

El segundo grupo (B), estuvo conformado por las estaciones E-557, E-556, E-551 y E-568 con densidades que oscilaron entre 4 y 31 ind. 10 cm<sup>-2</sup> e incluir el menor número de familias registradas (entre 4 y 11 familias). De dichas estaciones, E-557 se caracterizó por ser la única en presentar las siguientes familias: Spionidae y Cirratulidae (Phylum Annelida), y Ethmolaimidae (Nematoda). Por otro lado, la estación E-556 fue la que registró la menor densidad con 4 ind. 10 cm<sup>-2</sup> y el menor número de familias (4 en total), y fue la única en la cual se encontró la familia Capitellidae.

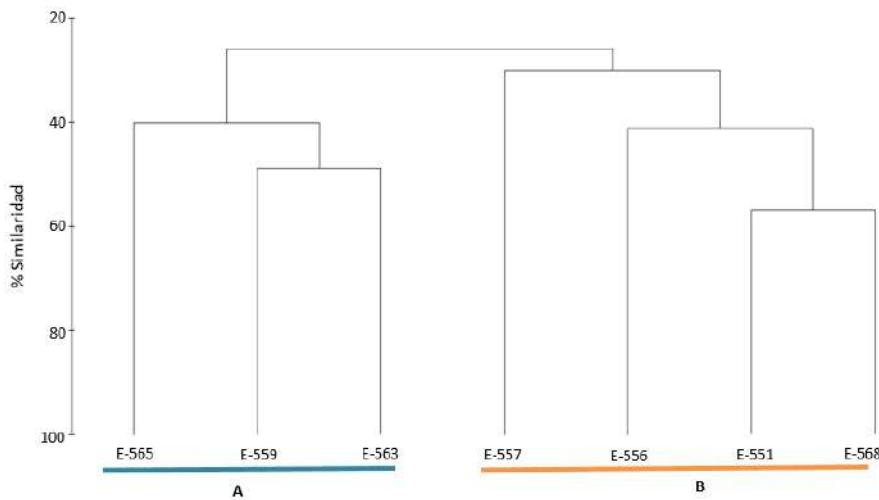


Figura 148. Dendrograma de clasificación basado en el índice de similaridad de Bray-Curtis de la meiofauna bentónica recolectada en el bloque COL3.

El análisis de ordenación arrojó un Escalamiento Multidimensional no Métrico (nMDS) en 2D basado en la matriz de abundancia y los datos transformados con raíz cuarta, con un nivel de estrés de 0,05, arrojando la misma tendencia que el dendrograma de clasificación presentado (Figura 149).

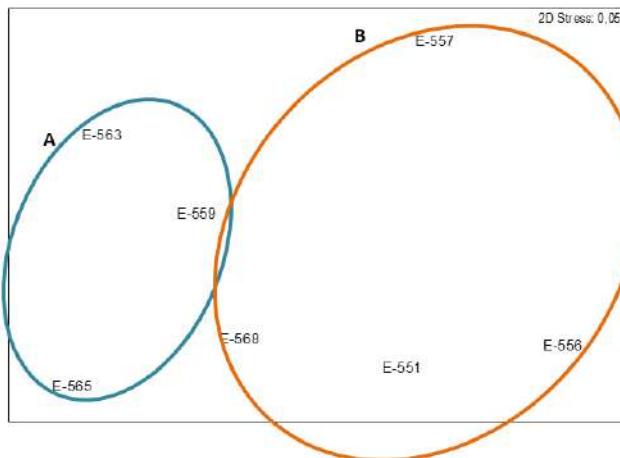


Figura 149. nMDS en 2D basado en la matriz de abundancia con los datos transformados con raíz cuarta para la meiofauna bentónica recolectada en el bloque COL3.

### Análisis BIOENV

Para el análisis BIOENV, el cual se empleó para determinar la relación de la comunidad meiofaunal con las variables ambientales medidas en el fondo marino, se utilizó una matriz conformada por 10 variables (Tabla 31). Las variables expresadas en números corresponden al tamaño del grano de los sedimentos encontrados en el área de estudio, que para fines del presente análisis se explica el tipo de grano según se muestra en la Tabla 32.

Tabla 31. Variables ambientales medidas en el sedimento, usadas para el análisis BIOENV para el componente meiofaunal encontrado en el bloque COL3.

| Variable         | E-551 | E-556 | E-557 | E-559 | E-563 | E-565 | E-568 |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Profundidad      | 1400  | 818   | 1470  | 1772  | 2780  | 3175  | 2106  |
| % MO             | 13,1  | 11,2  | 15,1  | 15,1  | 9,9   | 11,2  | 9,7   |
| %CaCO3           | 6,24  | 0,74  | 0,76  | 18,17 | 8,54  | 7,94  | 0,21  |
| >0,063 mm        | 1,45  | 0,6   | 1,25  | 4,23  | 1,36  | 15,08 | 0,48  |
| 1,0 - 2,0 mm     | 0,02  | 0,01  | 0,06  | 0,03  | 0     | 0,03  | 0     |
| 0,5 - 1,0 mm     | 0,21  | 0,01  | 0,24  | 0,38  | 0,05  | 0,8   | 0,02  |
| 0,25 - 0,5 mm    | 0,43  | 0,04  | 0,4   | 1,59  | 0,26  | 2,23  | 0,1   |
| 0,125 - 0,25 mm  | 0,38  | 0,05  | 0,28  | 1,3   | 0,53  | 3,85  | 0,01  |
| 0,063 - 0,125 mm | 0,36  | 0,46  | 0,2   | 0,91  | 0,48  | 7,95  | 0,26  |
| <0,063 mm        | 98,61 | 99,85 | 99,68 | 96,17 | 98,73 | 86    | 99,81 |

Tabla 32. Tipo de grano según las medidas granulométricas proporcionadas.

| Variable         | Tipo de grano                 |
|------------------|-------------------------------|
| >0,063 mm        | Arenas muy finas              |
| 1,0 - 2,0 mm     | Arenas muy gruesas a gránulos |
| 0,5 - 1,0 mm     | Arenas gruesas a muy gruesas  |
| 0,25 - 0,5 mm    | Arenas medias a gruesas       |
| 0,125 - 0,25 mm  | Arenas finas a medias         |
| 0,063 - 0,125 mm | Arenas muy finas a finas      |
| <0,063 mm        | Limos y arcillas              |

Previo a la realización del análisis BIOENV se determinaron los coeficientes de correlación que existían entre las variables, evidenciando correlaciones mayores a 0,95 y menores de -0,95 para las varias variables tal y como se muestra en la Tabla 33. Teniendo en cuenta dichos valores de correlación, para el análisis BIOENV se excluyeron las siguientes variables: >0,063 mm (arenas muy finas), 0,5 - 1,0 mm (arenas gruesas a muy gruesas), 0,125 - 0,25 mm (Arenas finas a medias), 0,063 - 0,125 mm (Arenas muy finas a finas).

Tabla 33. Correlación entre las variables medidas en el sedimento para el análisis BIOENV con la meiofauna bentónica.

| Variable         | Variable         | Correlación |
|------------------|------------------|-------------|
| >0,063 mm        | 0,125 - 0,25 mm  | 0,995       |
| >0,063 mm        | 0,063 - 0,125 mm | 0,963       |
| >0,063 mm        | <0,063 mm        | -0,998      |
| 0,5 - 1,0 mm     | 0,25 - 0,5 mm    | 0,955       |
| 0,5 - 1,0 mm     | 0,125 - 0,25 mm  | 0,952       |
| 0,125 - 0,25 mm  | 0,063 - 0,125 mm | 0,969       |
| 0,125 - 0,25 mm  | <0,063 mm        | -0,996      |
| 0,063 - 0,125 mm | <0,063 mm        | -0,972      |

El análisis BIOENV mostró que la combinación de las variables medidas que mejor explicaron la variabilidad de la comunidad meiofaunal fueron la profundidad, el porcentaje de materia orgánica (%MO), el porcentaje de carbonato de calcio (%CaCO<sub>3</sub>), las arenas gruesas a gránulos (1,0 - 2,0 mm) y las arenas medias a gruesas (0,25 – 0,5 mm), presentando el mayor coeficiente de rangos de correlación de Spearman ( $\rho = 0,597$ ).

### **3.6.3.2 Descripción de la meiofauna**

De acuerdo con los resultados obtenidos para el componente de la meiofauna bentónica, a continuación, se hace una descripción de los phyla encontrados y se presentan los listados taxonómicos para cada grupo.

#### **3.6.3.2.1 Phylum Annelida**

Los anélidos (Phylum Annelida) son un grupo sustancial de animales, comúnmente referidos como gusanos segmentados (Rouse y Pleijel, 2001). La morfología básica de los anélidos consta de un plan metamérico en el cual el cuerpo del animal está compuesto de metámeros en los cuales se repiten ciertas estructuras internas a lo largo del cuerpo. El cuerpo de los anélidos está compuesto de tres partes: Prostomio, la cual es la región que contiene la cabeza, metastomio o tronco y pigidio la cual es la parte posterior que contiene el ano.

Tradicionalmente, dentro del Phylum Annelida se han incluido tres clases: Polychaeta, Oligochaeta e Hirudinea, sin embargo, una nueva clasificación ha dividido el Phylum en dos clases: Polychaeta y Clitelatta, incluyendo a Hirudinea y Oligochaeta como dos subclases dentro de Clitelatta (Worms, 2017).

Dentro de los anélidos, la clase Polychaeta está constituida por alrededor de 9 000 especies repartidas en más de 80 familias conocidas, es frecuentemente el taxón más abundante en zonas de poca profundidad y aún en zonas profundas, alcanzando entre 50 y 80 % del total de organismos en la macrofauna (Fauchald, 1977; Fauchald y Rouse, 1997; Rouse y Pleijel, 2001).

Dentro de la comunidad meiofaunal, los poliquetos, son siempre reportados en estudios que involucran el meiobentos. Aunque hay solo alrededor de 250 especies de poliquetos de tamaño meiobentónico, que pertenecen aproximadamente a 25 familias, su abundancia es bastante alta, y generalmente ocupan el cuarto lugar en las muestras meiofaunales (Giere, 2009).

Para el presente estudio, se cuantificaron un total de ocho (8) individuos pertenecientes a la clase Polychaeta, subclase Sedentaria, de las siguientes familias (Figura 150): Capitellidae, Cirratulidae, Paraonidae y Spionidae (Tabla 34).



Figura 150. Poliqueto de la familia Paraonidae encontrada en la meiofauna bentónica del bloque COL3.

Tabla 34. Clasificación taxonómica de los anélidos poliquetos meoфаунаles encontrados en el bloque COL3.

| Clase      | Subclase   | Infraclase    | Orden       | Suborden        | Familia      |
|------------|------------|---------------|-------------|-----------------|--------------|
| Polychaeta | Sedentaria | Canalipalpata | Spionida    | Spioniformia    | Spionidae    |
|            |            |               | Terebellida | Cirratuliformia | Cirratulidae |
|            |            | Scolecida     | -           | -               | Capitellidae |
|            |            |               | -           | -               | Paraonidae   |

De los ocho (8) individuos cuantificados, Paraonidae fue el que presentó mayor abundancia con cuatro (4) individuos, mientras que Capitellidae y Cirratulidae fueron representados por un individuo respectivamente.

En cuanto a las estaciones de muestreo, se evidenció que E-557 fue la que presentó mayor densidad de individuos (4 ind.10cm<sup>2</sup>), mientras que en las estaciones E-563, E-565 y E568 no se reportaron individuos pertenecientes a este phylum (Figura 151).

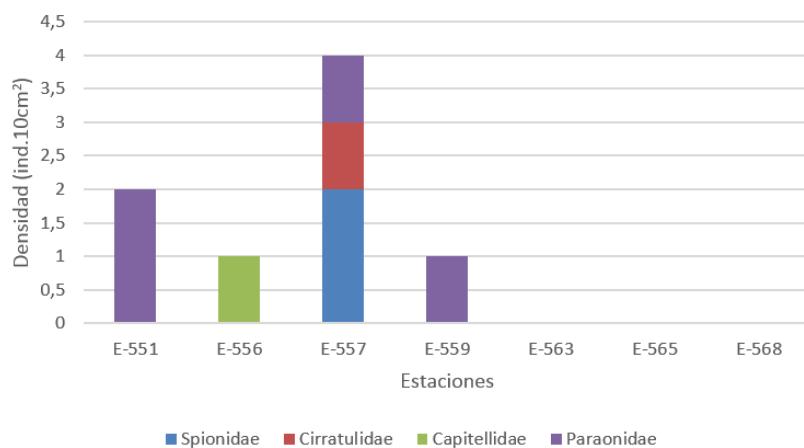


Figura 151. Densidad de las familias de anélidos meoфаунаles encontrados en el bloque COL3.

### 3.6.3.2.2 Phylum Arthropoda

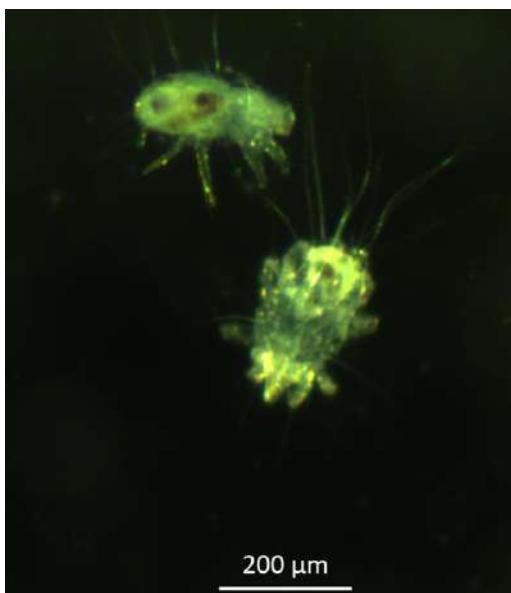
El phylum Arthropoda, comprende el phylum más diverso y abundante del reino animal, con alrededor de 1'200.000 especies descritas y un amplio registro fósil extendiéndose desde mediados del periodo Cámbrico (Hickman y Roberts, 2002). Los artrópodos, junto con los anélidos, onicóforos (Phylum Onychophora) y tardígrados (Phylum Tardigrada), están relacionados evolutivamente y muchas de las evidencias sugieren que estos cuatro phyla constituyen un grupo derivado de un ancestro común con cuerpo segmentado originado en el Precámbrico (Brusca y Brusca, 2005).

En el mar, los artrópodos están presentes en todos los ecosistemas desde zonas intermareales hasta las profundidades del océano, con representantes principalmente de los subphyla Chelicerata y Crustacea, siendo este último uno de los grupos más dominantes en abundancia y riqueza en el meiobentos (Giere, 2009).

Para el presente estudio, se cuantificaron un total de diez (10) individuos pertenecientes al phylum Arthropoda, incluidos en 2 subphyla (Chelicerata y Crustacea) y cuatro (4) familias: Desmosomatidae, Halacaridae, Miraciidae y Podocopida morfo 1 (Tabla 21). De las familias mencionadas, Halacaridae fue la única familia de ácaro reportada durante el estudio (Figura 152).

*Tabla 35. Clasificación taxonómica de los artropodos meiobfaunales encontrados en el bloque COL3.*

| Subphylum          | Clase        | Subclase       | Orden          | Suborden   | Familia               |
|--------------------|--------------|----------------|----------------|------------|-----------------------|
| <b>Crustacea</b>   | Hexanauplia  | Copepoda       | Harpacticoida  | -          | Miraciidae            |
| <b>Crustacea</b>   | Malacostraca | Eumalacostraca | Isopoda        | Asellota   | Desmosomatidae        |
| <b>Crustacea</b>   | Ostracoda    | Podocopa       | Podocopida     | -          | Podocopida<br>morfo 1 |
| <b>Chelicerata</b> | Arachnida    | Acari          | Trombidiformes | Prostigmat | Halacaridae           |



*Figura 152. Espécimen de la familia Halacaridae encontrado en el bloque COL3.*

De los diez (10) individuos cuantificados, Miraciidae y Halacaridae fueron las familias con mayor abundancia con 4 individuos respectivamente, que corresponden al 40% de la abundancia total de artrópodos, mientras que las familias Desmosomatidae y el orden Podocopida fueron representados por un individuo respectivamente (Figura 153).

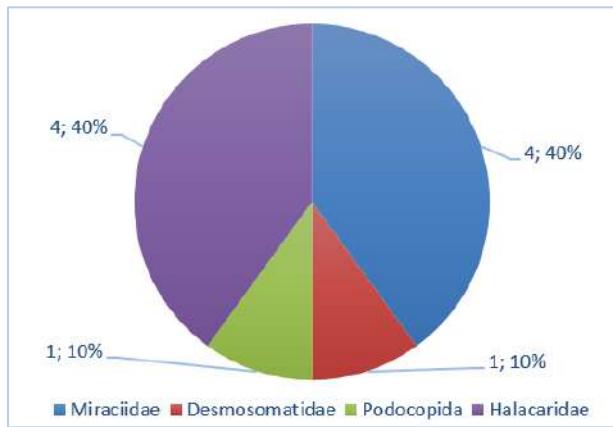


Figura 153. Abundancia relativa de las familias de anélidos meiofaunales encontrados en el bloque COL3.

En cuanto a las estaciones de muestreo, se evidenció que E-563 y E568 tuvieron las mayores densidades de individuos (3 ind.10cm<sup>2</sup>), mientras que en las estaciones E-556 y E-557 no se reportaron individuos pertenecientes a este phylum (Figura 154).

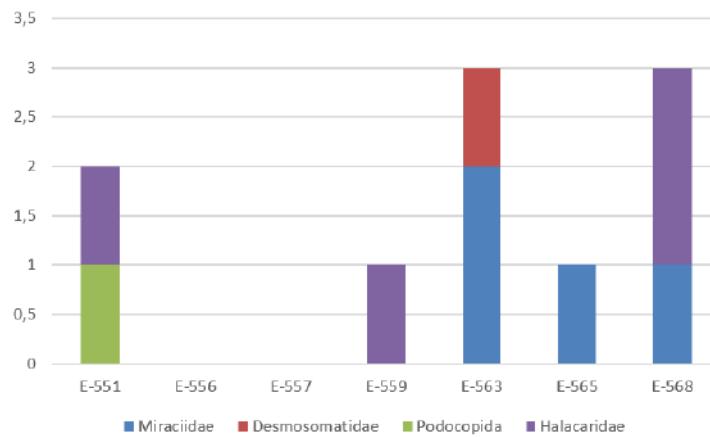


Figura 154. Densidad de las familias de anélidos meiofaunales encontrados en el bloque COL3.

A continuación, se muestran algunas generalidades de los taxones de artrópodos meiofaunales encontradas en el bloque COL3.

#### Orden Harpacticoida, familia Miraciidae

Harpacticoida es uno de los grupos más importantes del meiobentos, pero poco estudiados en sistemas colombianos (Fuentes-Reinés y Gómez, 2014). Dentro de este orden, Miraciidae es una de las familias más comunes y abundantes, y está compuesta de cerca de 364 especies y 53 géneros (Hendrickx y Fiers, 2010).

#### Orden Isopoda, familia Desmosomatidae

Es una de las familias más abundantes de isópodos de zonas abisales, con gran cantidad de especies (Brandt *et al.*, 2004), de distribución cosmopolita (Brix y Bruce, 2008) y pertenecientes a la macrofauna bentónica. Los individuos colectados en meiofauna corresponden a juveniles.

#### *Orden Trombidiformes, Familia Halacaridae*

Halacaridae es una familia cosmopolita, predominantemente marina, con aproximadamente 900 especies, y se encuentran desde regiones intermareales a grandes profundidades (Petato y Tiago, 2013). Son organismos de la meiofauna, y es la única familia de ácaros completamente adaptada a la vida permanente en el mar (Bartsch, 2006).

#### *Clase Ostracoda, Orden Podocopida*

Los ostrácodos son pequeños crustáceos caracterizados por poseer un cuerpo encajonado dentro de dos valvas con un caparazón calcificado el cual puede ser liso y en ocasiones ornamentado (Higgins y Thiel, 1988). Dentro de Ostracoda, el Orden Podocopida se caracteriza por incluir organismos que se han reportado en casi todos los ambientes, prevaleciendo en el bentos, los cuales morfológicamente llevan una concha elongada con un margen ventral cóncavo (Giere, 2009).

#### **3.6.3.2.3 Phylum Cephalorhyncha**

Este phylum incluye organismos microscópicos, con una forma corporal vermiforme, con cabeza, cuello, tronco y sin extremidades, algo aplanados y dividido en 13 segmentos espinosos, siendo dichas espinas una importante característica. Habitán principalmente fondos fangosos pero son encontrados también en sustratos arenosos, distribuyéndose desde la zona intermareal hasta profundidades abisales, en donde llegan a ser bastante comunes, por lo que su reporte en este estudio puede considerarse común; este grupo ha sido reportados a 7800 m en la fosa de Atacama, siendo descrito como cosmopolita, viviendo de polo a polo (Venkataraman *et al.*, 2015).

Son encontrados en las capas superiores de sedimento donde la oxigenación es mayor, como un componente básico de la meiofauna, dentro de la cual juegan un importante rol en la descomposición y remineralización del carbono y nitrógeno, por medio de su alimentación de bacterias, diatomeas y otras microalgas presentes entre las diferentes capas de sedimento, lo que indirectamente estimula la comunidad microbiana (Sorensen, 2013; Venkataraman *et al.*, 2015).

Con alrededor de 186 especies, es aún un taxón que poco se ha estudiado, y que se encuentra en una etapa pionera a nivel mundial, lo que incluye el Caribe colombiano.

Para el presente estudio, se reportó un único organismo del phylum Ceohalorhyncha, Clase Kinorhyncha (Kinorhyncha morfo 1) (Figura 155), presente en la estación E-556. La estación E-556, es aquella ubicada en la parte sur-este del bloque, caracterizada en términos biológicos por ser la estación con menor abundancia y diversidad de individuos, además de la presencia de especies raras como lo son el quinorrinco en mención y un poliqueto de la familia Capitellidae. La diferencia en composición y abundancia de organismos de la estación E-556 del resto de estaciones puede radicar

en varios como lo son su cercanía a la línea de costa, es la estación de menor profundidad y una posible mayor influencia de agua dulce del río Magdalena, y por sus geoformas puede estar en una zona cambiante lo cual influya en el asentamiento de especies meiofaunales, las cuales responden rápidamente a condiciones adversas.



Figura 155. Espécimen del phylum Cephalorhyncha (objetivo de 40X) encontrado en el bloque COL3.

Ecológicamente, según Higgins y Thiel (1988), existen tres clases de ambientes en donde los quinorrincos se pueden encontrar; la mayoría se pueden encontrar en los primeros 3 cm del suelo marino en suelos con altos porcentajes de lodos, como se encontró para el presente estudio; algunos pueden encontrarse asociados a algas u otros invertebrados; y el tercer hábitat en los cuales se pueden encontrar quinorrincos puede ser en los intersticios de sedimentos medios a gruesos, o gravas.

Finalmente, cabe aclarar que el estudio de los quinorrincos es aún escaso, particularmente para Colombia en donde poco se sabe de la biología y sistemática de estos organismos, por lo cual, el presente hallazgo contribuye en gran medida al conocimiento del grupo.

#### 3.6.3.2.4 Phylum Nematoda

Uno de los grupos más diversos y mejor distribuidos son los nematodos, pudiendo encontrarse en ecosistemas tanto terrestres como acuáticos y bajo distintas condiciones, desde litorales rocosos y arenosos hasta fondos abisales (Platt *et al.* 1984), en todas las latitudes y habitando todo tipo de sedimentos (Heip *et al.*, 1985).

Se alimentan de bacterias, microalgas, detritos, protozoos y metazoos. Ecológicamente participan en el reciclaje de la materia orgánica en descomposición e incrementan la bioturbación del sedimento lo que genera un hábitat propicio para otros organismos de la macro y meiofauna (Creer *et al.* 2010; Bhadury *et al.* 2008). Son reconocidos como indicadores del estado de salud de los biomas por su capacidad de rápida respuesta ante cambios ambientales y representan un componente muy importante en los ecosistemas bentónicos ya que la presencia de este grupo mantiene la diversidad de la comunidad procariota del sedimento (Giere, 2009).

Para el presente estudio, para la meiofauna de 300  $\mu$  se determinaron dos ejemplares hasta el nivel de familia; del mismo modo, 1 ejemplar correspondiente a la meiofauna de 63  $\mu$  fue identificado hasta orden y 20 individuos fueron identificados hasta el nivel de familia (Tabla 36). La familia más dominante en la meiofauna, tanto de 300 $\mu$  como de 63  $\mu$  fue Neotonchidae (Figura 156).

Tabla 36. Clasificación taxonómica de los anélidos poliquetos meiofaunales encontrados en el bloque COL3.

| Phylum   | Clase       | Orden              | Familia          |
|----------|-------------|--------------------|------------------|
| Nematoda | Chromadorea | Chromadorida       | Ethmolaimidae    |
|          |             |                    | Neotonchidae     |
|          | Plectida    | Cf. Aphanolaimidae |                  |
|          | Enoplea     | Enoplida           | Enoplida Morfo 2 |



Figura 156. Familia Neotonchidae: Individuo completo (escala: 0,5mm) (A) y bulbo faríngeo (escala: 30 $\mu$ ) (B).

La Familia Neotonchidae estrictamente marina, tiene una cutícula anulada y punteada, con setas anteriores en tres arreglos circulares, solo las cuatro setas cefálicas son setiformes. Los ánfidos siempre son laterales, multiespiral con más de tres vueltas. La cavidad bucal tiene un diente largo dorsal, con o sin dos pequeños dientes sublaterales. La faringe de esta familia tiene un bulbo terminal (Schmidt-Rhaesa, 2014).

En términos de abundancia, como ya se mencionó, la familia Neotonchidae fue dominante representando el 87% de la abundancia relativa de nematodos durante el estudio (Figura 157). Cabe aclarar que los Nematodos fueron el segundo grupo más representativo en términos de abundancia después de foraminíferos.

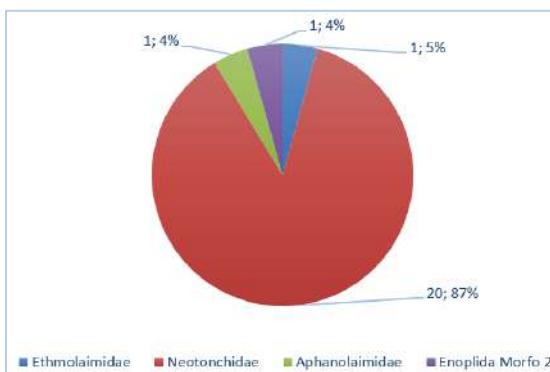


Figura 157. Abundancia relativa de las familias de nematodos meiofaunales encontrados en el bloque COL3.

En cuanto a los valores de densidad se observó que la estación E-557 fue la que presentó mayor densidad con 12 ind.  $10\text{cm}^{-2}$ , mientras que la estación E-559 no presentó registros de nematodos (Figura 158). Esta última se caracteriza por la presencia de colinas y lomas submarinas y ser la estación ubicada en la punta noreste del bloque.

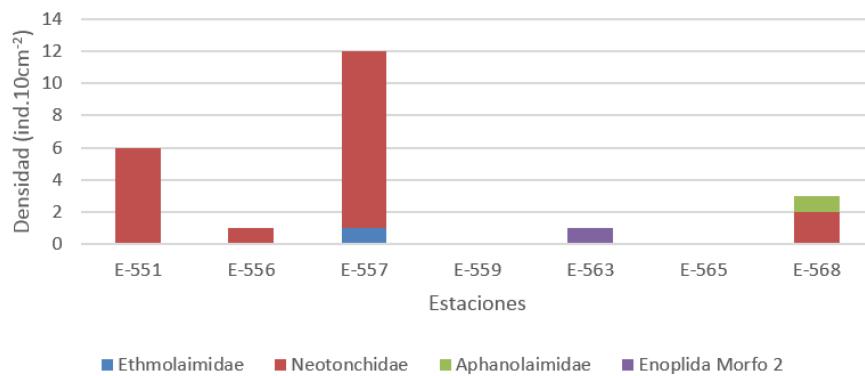


Figura 158. Densidad de las familias de nematodos meiofaunales encontrados en el bloque COL3.

### 3.6.3.2.5 Phylum Foraminifera

Los foraminíferos bentónicos son eucariotas unicelulares (protistas) que producen una "testa" (caparazón) y son muy comunes en ambientes marinos desde las marismas intermareales hasta las profundidades oceánicas más grandes (Stefanoudis *et al.* 2016).

Los foraminíferos pueden encontrarse en todos los ambientes marinos. Son más comunes en ambientes con características de sedimentos finos y usualmente se encuentran en altas densidades en intersticios lodosos ( $>1000$  organismos vivos por  $10\text{ cm}^2$ ) (Ellison, 1984). En muchos de estos ambientes los foraminíferos suelen ser el componente más importante de la meiofauna así como en el más profundo (Thiel, 1983; Snider *et al.*, 1984; Gooday, 1986).

Para el presente estudio, los foraminíferos fueron dominantes con 276 organismos cuantificados, incluidos en 23 familias (Tabla 37, Figura 159, Anexo 1). De las familias encontradas, Cibicidae fue la más abundante con 54 organismos, seguida de Rhabdaminidae con 53 organismos reportados, mientras que las familias Nodosariidae, Alabaminidae, Melonidae, Nonionidae y Rhizamminidae, estuvieron representadas por

un individuo. En cuanto a ocurrencia, la familia Hauerinidae fue la más frecuente, encontrándose en 6 de las 7 estaciones muestreadas. La Figura 160 muestra algunas de las familias con representantes meiobentónicos.

Tabla 37. Clasificación taxonómica de los foraminíferos meiofaunales encontrados en el bloque COL3.

| Clase                              | Orden        | Superfamilia       | Familia            |
|------------------------------------|--------------|--------------------|--------------------|
| <b>Foraminifera incertae sedis</b> | Lagenida     | Nodosarioidea      | Nodosariidae       |
| <b>Foraminifera incertae sedis</b> | Lagenida     | Nodosarioidea      | Vaginulinidae      |
| <b>Foraminifera incertae sedis</b> | Lagenida     | Polymorphinoidea   | Ellipsolagenidae   |
| <b>Globothalamea</b>               | Robertinida  | Ceratobuliminoidea | Epistominidae      |
| <b>Globothalamea</b>               | Rotaliida    | Buliminoidea       | Buliminidae        |
| <b>Globothalamea</b>               | Rotaliida    | Buliminoidea       | Uvigerinidae       |
| <b>Globothalamea</b>               | Rotaliida    | Chilostomelloidea  | Alabaminidae       |
| <b>Globothalamea</b>               | Rotaliida    | Discorbinelloidea  | Discorbinellidae   |
| <b>Globothalamea</b>               | Rotaliida    | Nonionoidea        | Melonidae          |
| <b>Globothalamea</b>               | Rotaliida    | Nonionoidea        | Nonionidae         |
| <b>Globothalamea</b>               | Rotaliida    | Planorbulinoidea   | Cibicididae        |
| <b>Globothalamea</b>               | Rotaliida    | Planorbulinoidea   | Planulinidae       |
| <b>Globothalamea</b>               | Lituolida    | Hormosinelloidea   | Ammolagenidae      |
| <b>Globothalamea</b>               | Lituolida    | Hormosinoidea      | Hormosinidae       |
| <b>Globothalamea</b>               | Lituolida    | Lituoloidea        | Haplophragmoididae |
| <b>Globothalamea</b>               | Lituolida    | Trochamminoidea    | Trochamminidae     |
| <b>Globothalamea</b>               | Lituolida    | Verneuilinoidea    | Prolixoplectidae   |
| <b>Globothalamea</b>               | Loftusiida   | Loftusioidea       | Cyclamminidae      |
| <b>Monothalamea</b>                | Astrorhizida | Astrorhizoidea     | Rhabdamminidae     |
| <b>Monothalamea</b>                | Astrorhizida | Komokiidea         | Rhizamminidae      |
| <b>Monothalamea</b>                | Astrorhizida | Hippocrepinoidea   | Hyperamminidae     |
| <b>Tubothalamea</b>                | Miliolida    | Milioloidea        | Hauerinidae        |
| <b>Tubothalamea</b>                | Spirillinida | Ammodiscoidea      | Ammodiscidae       |

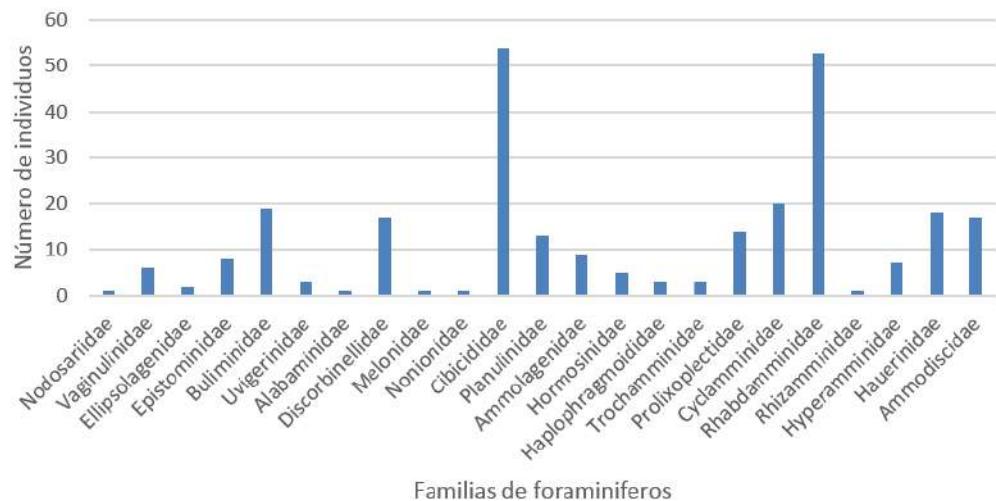


Figura 159. Número de individuos por familias de los Foraminíferos meiofaunales encontrados en el bloque COL3.



Figura 160. Foraminíferos meiofaunales encontrados en el bloque COL3: Cyclamminidae (A), Hauerinidae (B), Uvigerinidae (C), Melonidae(D), Prolixoplectidae (E) y Ammolagenidae (F).

En términos de densidad (Figura 161), la estación E-563 fue la que presentó mayor número de foraminíferos con 109 ind.  $10 \text{ cm}^2$ ; esta estación E-559 es aquella ubicada al noreste del bloque COL3 y se caracteriza por la presencia de colinas y lomas, y registró una profundidad de 1.772 m.

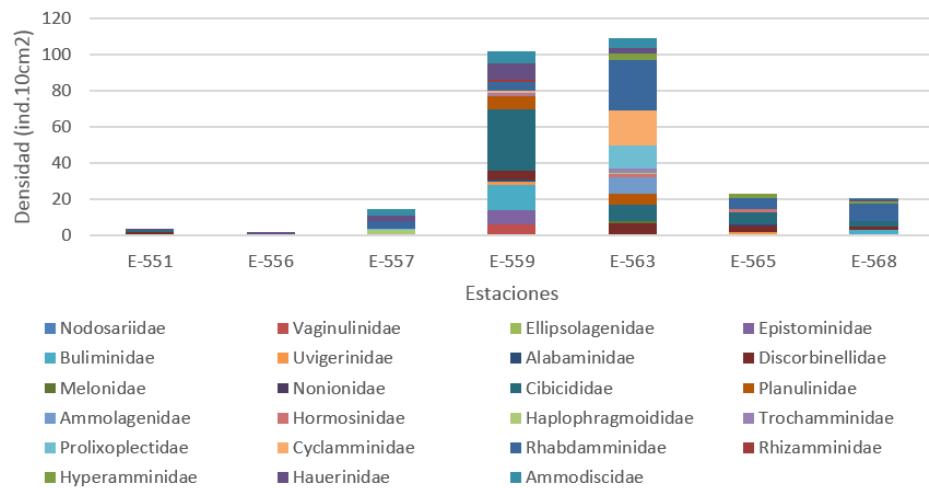


Figura 161. Densidades por estación de las familias meiofaunales encontradas en el bloque COL3.

En contraste, la estación E-556 presentó menor densidad de foraminíferos, con 2 ind.  $10 \text{ cm}^2$ ; esta estación se encuentra ubicada en la parte sur del bloque y se caracteriza por encontrarse en una falda continental a 818 m de profundidad, siendo la estación más somera del estudio para las comunidades bentónicas. Cabe resaltar que esta estación es la más cercana a la línea de costa y puede tener una mayor influencia continental en particular por la alta carga de agua dulce que proviene del río Magdalena.

### 3.6.4 Discusión

El estudio de las comunidades bentónicas ha proveído a los investigadores interesados en este particular componente, diferentes herramientas para que estos sean utilizados como indicadores biológicos que miden el grado de perturbación en un ecosistema. Además, su conocimiento ha generado un aumento en los listados de diversidad, particularmente en invertebrados marinos. A nivel mundial, son varios los trabajos realizados que involucran el componente bentónico los cuales han sido base importante para el estudio del bentos, particularmente para zonas profundas se destaca a Rex *et al.* (2006), quienes trataron con datos a nivel global e incluyen diferentes grupos faunísticos bentónicos (meio-, macro- y megafauna, incluso bacterias), y a Rex y Etter (2010), quienes sintetizaron los patrones geográficos de biodiversidad en el bentos del mar profundo.

En cuanto a estudios meiofaunales en zonas cercanas a las del presente estudio, son pocos los estudios registrados que involucran estas comunidades y particularmente para zonas profundas; entre ellos se destacan los trabajos de Escobar-Briones *et al.* (1997), Bernhard *et al.* (2008), Escobar-Briones *et al.* (2008) y Marcelino (2013), todos para el golfo de México, la cual, según los registros encontrados, es la zona del Gran Caribe mejor estudiada.

De los resultados obtenidos en el presente estudio es de resaltar la predominancia de foraminíferos meiofaunales los cuales fueron dominantes en términos de diversidad y abundancia. Es importante resaltar que para este grupo en particular ha existido una incógnita en cuanto a la manera de realización de los análisis de laboratorio para determinar la inclusión o exclusión de los foraminíferos dentro de un estudio considerando el cuestionamiento de si estaban o no vivos a la hora de la recolección y preservación. En ese sentido, Higgins y Thiel (1988) aclaran que para la preservación de material el uso de la Rosa de Bengala es una herramienta importante en dicha diferenciación, tiñendo el protoplasma de estos organismos. Debido a que existen estudios que han determinado que la tinción con Rosa de Bengala no asegura en un 100% que los foraminíferos hubieran estado vivos al momento de la preservación, como medida complementaria, Higgins y Thiel (1988), dan algunas pistas adicionales para tener en cuenta: apariencia fresca de la testa; la acumulación de un bolo de desechos fuera de la apertura de la testa; y el desarrollo de un capullo de sedimentos finos alrededor de la testa. Por lo anterior, para el presente estudio se procuró tener en cuenta dichos criterios al momento de la separación e identificación de los organismos vivos.

En términos de densidad y número de taxones, los resultados obtenidos evidenciaron mayor diversidad y abundancia en las estaciones E-559 y E563. La alta densidad y número de taxones reportados para estas estaciones en particular puede deberse a la geoforma de colinas y lomas, en donde la heterogeneidad del sustrato puede favorecer el asentamiento de comunidades meiofaunales. Asimismo, las dos estaciones en mención, aunque con diferencias en profundidad y locación dentro del bloque, son las estaciones más alejadas del continente lo cual puede traducirse en una mayor estabilidad en los fondos de dichas áreas estando un poco más alejadas de la

influencia del río Magdalena. Diferencia marcada con la estación E-556 la cual en términos generales fue la que presentó menor densidad de individuos y de número de familias meiofaunales, explicado probablemente por la inestabilidad de su suelo marino siendo la estación menos profunda y la más cercana a la línea de costa. Asimismo, la estación E-556 por localizarse una falda continental y estar cercana a un cañón submarino, puede dificultar el asentamiento de organismos en el fondo. En relación a todo lo anterior, la formación de las agrupaciones según el análisis de clasificación realizado en el presente estudio, se fundamenta en la distribución horizontal de las estaciones en relación con su distancia de la línea de costa y las geoformas encontradas en el bloque COL3.

Como medida adicional, para los análisis meiofaunales realizados en el presente estudio, se tuvieron en cuenta diferencias en composición meiofaunal según el tamaño del ojo de malla con el que fueron tamizadas las muestras (300 y 63 µm), evidenciando una mayor densidad en las muestras de 63 µm. Cabe resaltar que en cuanto a la densidad de foraminíferos para cada una de las fracciones no se evidenció una diferencia significativa en los valores (139 ind.70cm<sup>-2</sup> en la meiofauna de 300 µm y 137 ind.70cm<sup>-2</sup> en la fracción de 63 µm), pero en términos de composición en la fracción de 63 µm se encontró un aumento significativo en la densidad de nematodos y la presencia de grupos raros. En ese sentido es importante mencionar que según Giere (2009), a medida que el tamaño de poro disminuye, existe un predominio en los nematodos, y aunque en el presente estudio en la fracción de 63 µm, continuaron dominando los foraminíferos, se evidenció una tendencia de aumento en los nematodos.

Con respecto a la relación de la comunidad meiofaunal con las variables ambientales seleccionadas para las mediciones realizadas en los sedimentos, se encontró que los parámetros que mejor explicaban la variabilidad de la comunidad meiofaunal entre las estaciones de muestreo, fueron la profundidad, el porcentaje de materia orgánica (%MO), el porcentaje de carbonato de calcio (%CaCO<sub>3</sub>), las arenas gruesas a gránulos (1,0 - 2,0 mm) y las arenas medias a gruesas (0,25 - 0,5 mm). De las variables mencionadas, la profundidad exhibió un amplio cambio entre estaciones (desde 818 m en la estación E-556, hasta los 3175 en la estación E-565), lo cual indica su relevancia a la hora de relacionarla con la variabilidad de la comunidad meiofaunal. Respecto a la profundidad, un hecho ya reportado por otros autores en diferentes regiones geográficas (Mokievsky 2004; Sajan *et al.*, 2009), es la relación de la estructura de comunidades de meiofauna con la profundidad. Sin embargo, esta relación es bastante polémica, ya que la profundidad puede reflejar, tanto directa e indirectamente, otras variaciones ambientales en los ecosistemas marinos de profundidad, sea en la plataforma o el talud continental. Mokievsky *et al.* (2004) observó que las densidades no disminuyen con el aumento de la profundidad y sus mayores valores ocurren hasta las profundidades de 50 metros.

De manera adicional, los resultados del presente estudio respaldan lo expuesto por Escobar-Briones *et al.* (1997) quienes aclararon que la complejidad estructural del sedimento es otro factor que puede definir la estructura y funcionamiento comunitario de la meiofauna. En cuanto al porcentaje CaCO<sub>3</sub> y de materia orgánica, la estación E-559

fue la que presentó los mayores valores en ambas variables. En ese sentido, es clave considerar que según Baguley (2004), la disponibilidad de materia orgánica actúa directamente proporcional con el aumento o disminución en la abundancia de organismos, es decir que, a mayor disponibilidad de materia orgánica, mayor sería la abundancia, lo cual concuerda para el presente estudio. Por otro lado, Escobar-Briones *et al.* (1997) afirma que la disponibilidad de carbono orgánico como alimento determina la densidad bentónica, lo cual se podría evidenciar con los resultados obtenidos en este trabajo.

Sumado a lo anterior, algunas investigaciones (Turnewitsch *et al.* 2015, Morris *et al.* 2016) sugieren que el transporte de materia orgánica juega un papel importante en la ecología de las comunidades bentónicas de colinas abisales; en conjunto, estas observaciones sugieren que la disponibilidad total de materia orgánica es generalmente mayor en las colinas que en la llanura, asimismo, sustentan que una mayor disponibilidad de materia orgánica en las colinas podría parcialmente explicar las mayores densidades de foraminíferos en comparación con los alrededores, lo cual concuerda con lo obtenido en la presente investigación.

A nivel de los grupos taxonómicos identificados, es importante mencionar que han existido diferencias significativas en varios estudios en cuanto a la ocurrencia y abundancia de nematodos en contraste con los foraminíferos. Para la meiofauna de nematodos se ha evidenciado que es el grupo más representativo, pudiendo alcanzar valores de abundancia de hasta 98% de acuerdo al tipo de fondo (Aller y Aller, 1986; Fonseca-Genevois y Lucena, 1990; Corbisier, 1993; Soltwedel, 2000). Según lo anterior, se evidencia un contraste de lo usualmente documentado con los resultados obtenidos en la presente investigación, en donde los foraminíferos fueron dominantes, sin embargo, las particularidades del área de estudio, explican la composición faunística evidenciada.

A modo general, es importante destacar que el presente estudio provee un avance en el conocimiento de las comunidades meiobentónicas para zonas profundas y particularmente del Caribe colombiano, mediante un análisis descriptivo y cualitativo que genera un conocimiento básico del comportamiento de esta comunidad infaunal para las particularidades de la zona. Asimismo, con el desarrollo de este tipo de estudios se contribuye al enriquecimiento taxonómico del país, particularmente de este componente infaunal que son pocos sus estudios. En este sentido, es importante continuar con estudios que involucren comunidades meiofaunales ya que, al ser un grupo tan desconocido, en especial para el neotrópico, una labor taxonómica exhaustiva y con las correctas herramientas, podría permitir nuevos descubrimientos para la ciencia y/o nuevos registros para Colombia.

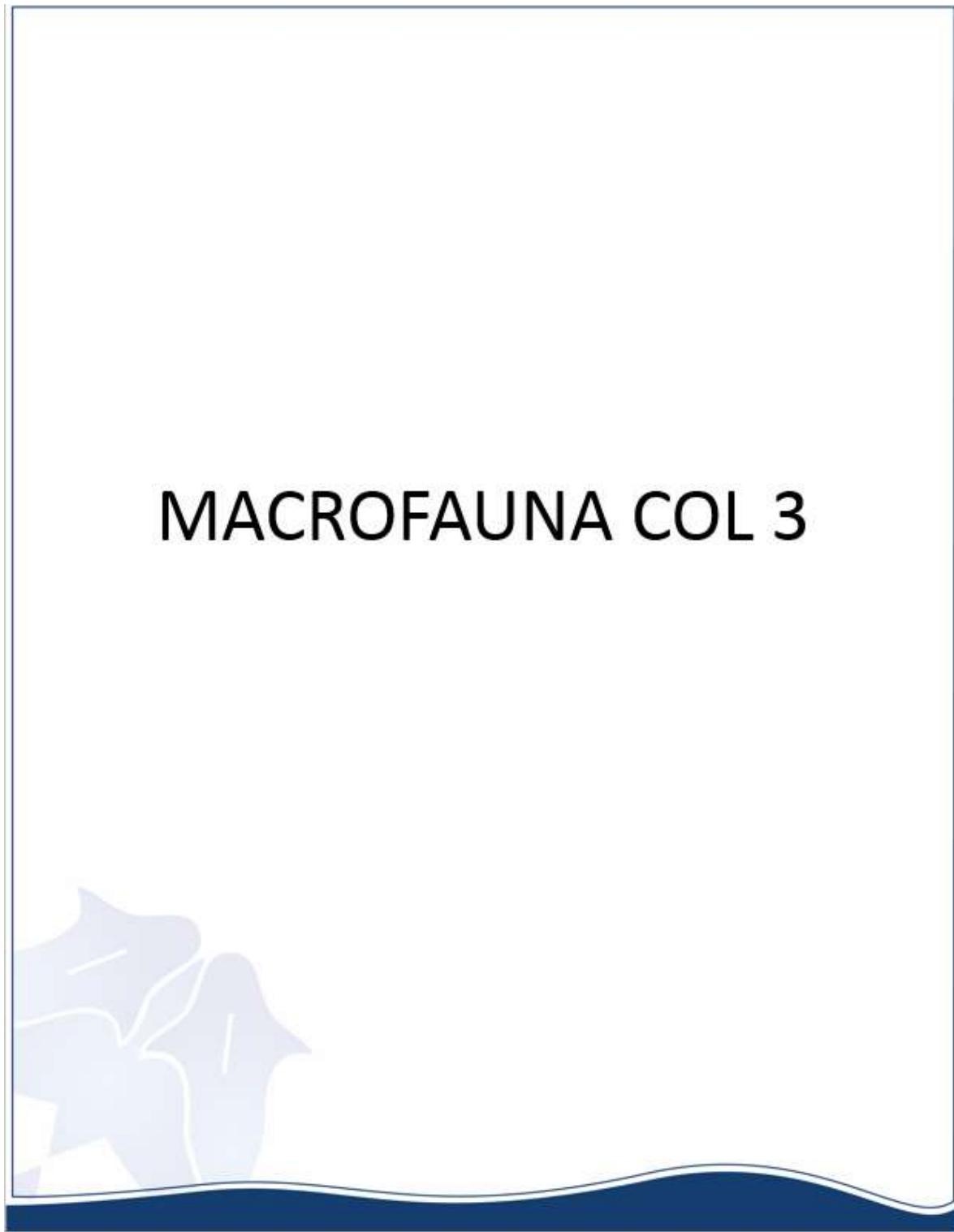
### 3.6.5 Conclusiones

- El estudio de la comunidad meiobentónica del bloque COL3 permitió realizar una caracterización de esta comunidad infaunal en términos de abundancia y riqueza de taxones. En ese sentido, se encontraron organismos de los phyla Annelida, Arthropoda, Cephalorhyncha, Foraminifera y Nematoda, siendo los

foraminíferos el grupo dominante en abundancia y riqueza, tanto para la meiofauna de tamaño grande (300 µm), como para la meiofauna de menor tamaño (63 µm).

- Se evidenció que el phylum Nematoda fue el segundo más importante en términos de abundancia y riqueza, estando conformado en gran medida por organismos separados de las muestras tamizadas a 63 µm, observándose una tendencia a una dominancia de este grupo cuando los tamaños meiofaunales son menores.
- Para las estaciones de muestreo, se encontró una mayor abundancia y riqueza en la estación E-559 lo cual se sustenta en la geomorfología de la zona, presentando colinas y lomas las cuales pueden permitir un mejor asentamiento de la comunidad meiofauna por la heterogeneidad en sus sustratos. De forma contrastante, la estación E-556 fue la que presentó menor riqueza y abundancia de organismos meiofaunales, sustentándose por su cercanía con el continente y la influencia del río Magdalena, presumiéndose como una zona cambiante que dificulta el asentamiento de organismos. Pese a ello, dicha estación presentó un taxón “raro” para el estudio (Kinorhyncha), lo cual la hace diferente del resto.
- Las variables ambientales utilizadas para el análisis BIOENV con la comunidad meiofaunal mostraron que las variables profundidad, % materia orgánica, % porcentaje de carbonato de calcio, las arenas gruesas a gránulos (1,0 - 2,0 mm) y las arenas medias a gruesas (0,25 – 0,5 mm), fueron las que mejor explicaron la variabilidad meiofaunal, sin embargo, una revisión bibliográfica y un análisis de los datos obtenidos permitió inferir que el porcentaje de materia orgánica y de CaCO<sub>3</sub>, tuvieron un mayor peso dentro del análisis por sus altas variaciones entre estaciones.

### 3.7 Anexo 1. Fichas de organismos



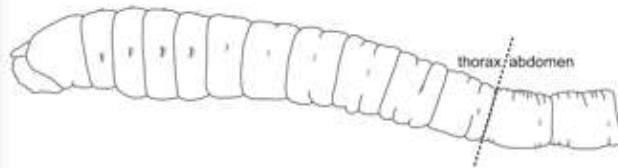


MAKURIWA  
MUSEO OCEANOGRÁFICO  
NACIONAL MARÍANO  
DE LA CERDA



**ANH**   
AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS  
COLOMBIA

## Capitellidae Grube, 1862<sup>(1)</sup>



### Clasificación taxonómica

Filum: Annelida / Clase: Polychaeta / Subclase: Sedentaria / Infraclase: Scolecida / Familia: Capitellidae<sup>(1)</sup>.

### Características morfológicas

Prostomio pequeño y sin apéndices; tronco dividido en dos regiones bien diferenciadas, la primera llamada tórax es corta, relativamente gruesa y con un número de segmentos fijo para cada especie, la segunda es el abdomen, con un número variable de segmentos, mucho más larga y delgada; parápodos son birrámeos, sin acículas y rudimentarios, con setas que parecen surgir directamente de la pared del cuerpo e incluyen ganchos encapuchados multidentados y setas capilares<sup>(2, 3)</sup>.

### Ecología

Sedentarios, parecidos superficialmente a las lombrices de tierra, y frecuentemente abundantes en fondos blandos. Considerados como bioindicadores en áreas enriquecidas orgánicamente por acción antropogénica, pero también en sedimentos naturalmente ricos en materia orgánica donde mantienen densidades moderadamente altas. En general, de alimentación no selectiva, algunas formas pueden presentar un grado de selectividad por el tamaño de partícula o el tipo de alimentos, clasificados como Limnívoros excavadores, móviles.<sup>(2, 3)</sup>

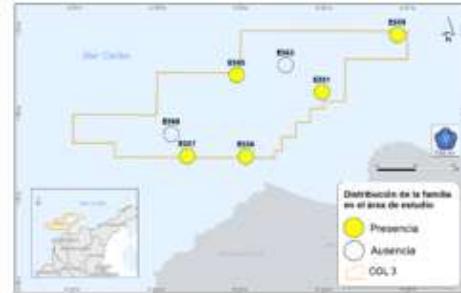
**Tamaños (cm):** Desde menos de 1 hasta más de 20 cm<sup>(3)</sup>.

### Distribución:

La mayoría de ambientes marinos, encontrados desde el intermareal hasta profundidades abisales; pero también comunes en estuarios, y poco frecuentes en fondos de agua dulce<sup>(3)</sup>.

### Bibliografía

- (1) Grube, A.E. 1862. Nach ein Wort über die Capitellen und ihre Stelle im Systeme der Anneliden. Archiv für Naturgeschichte, Berlin, 28(1): 368-378..
- (2) Glasby, C.J. (2000). Family Capitellidae. Pp 67-72 in Beesley, P.L., G.J. B. Ross and C.J. Glasby. (eds) Polychaetes & Allies. The Southern Synthesis. Fauna of Australia. Volume 4A Polychaeta, Myzostomida, Pionopagophora, Echiura, Sipuncula. CSIRO Publishing, Melbourne. 465 p.
- (3) Mustapha H.F. 2015. Revisión de las familias Capitellidae Grube, 1862 y Maldanidae Malmgren, 1867 (Annelida, Polychaeta) en el ámbito ibero-balear. Estudio morfológico, sistemático y faunístico. Tesis doctoral, Universidad de Valencia. Facultad de ciencias biológicas, Valencia.





Bentos marino



MAKURIWA  
MUSEO DE BIOLOGÍA MARINA  
DE COLOMBIA



Colombia 50% Mar  
**invam**ar



**ANH**  
AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS  
COLOMBIA

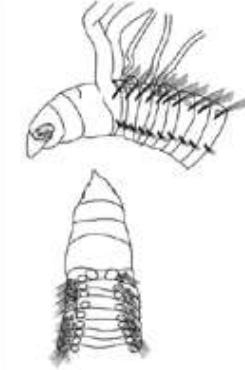
**Cirratulidae Carus, 1863<sup>[1]</sup>**



2 mm



1 mm



**Clasificación taxonómica**

**Filum:** Annelida / **Clase:** Polychaeta / **Subclase:** Sedentaria / **Infraclase:** Canalipalpata / **Orden:** Terebellida / **Suborden:** Cirratuliformia / **Familia:** Cirratulidae<sup>[1]</sup>.

**Características morfológicas**

Formas con numerosos segmentos (puede llegar a 400), prostomio cónico o redondeado y sin apéndices, y peristomio fusionado con al menos dos segmentos; filamentos branquiales pares, que salen desde la superficie dorsal en cada segmento. Parapodios birrámeos y sin acicula, con setas capilares simples en cada setígero, lisas o con el borde aserrado; espinas suavemente curvadas y delgadas, uni, bi o multidentadas, comunes en regiones medias y posteriores del cuerpo<sup>[2, 3]</sup>.

**Ecología**

Comunes y frecuentes en el bentos intermareal, y considerados generalmente como alimentadores de deposito superficial, actuando como un vínculo importante en el reciclaje de materia orgánica del detritos. Clificados como indicadores por bioacumulación de toxinas y metales pesados aunque sin un efecto tóxico, así como oportunistas capaces de colonizar fondos defaunados por dragados<sup>[2, 3]</sup>.

**Tamaños (mm)** Entre 7 y 250, en promedio 50<sup>[2, 3]</sup>.

**Distribución:**

Desde zonas intermareales a profundidades abisales, en zonas polares y tropicales. Viven libremente en el sedimento, otros dentro de grietas en rocas o bajo estas, asociados a pastos y algas marinas<sup>[2, 3]</sup>.

**Bibliografía**

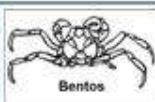
(1) Carus, J. Victor 1863. Vermes. In W. C. H. Peters, J.V. Carus and C.E.A. Gerstäcker eds., Handbuch der zoologie: Leipzig, Wilhelm Engelmann, p. 422-484.  
 (2) Glesby, C.J. (2000). Family Cirratulidae. Pp 208-211 in Beesley, P.L., G.J. B. Ross and C.J. Glesby, (eds) Polychaetes & Allies. The Southern Synthesis. Fauna of Australia. Volume 4A Polychaeta, Myzostomida, Pogonophora, Echiura, Sipuncula. CSIRO Publishing, Melbourne. 465 p.  
 (3) De León-González J.A., J.R. Bestide-Závala, L.F.Carrera-Parras, M.E. García-Gerza, A. Peña-Rivera, S.I. Zalezn-Barreto y V. Solís-Weis (Eds). 2009. Poliquetos (Annelida: Polychaeta) de México y América Tropical. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México, 737 pp.



Distribución de la familia en el área de estudio

- Presencia
- Ausencia
- COL 3

LÍNEA BASE AMBIENTAL PRELIMINAR DE LOS BLOQUES DE EXPLORACIÓN DE HIDROCARBUROS COL 3 EN EL CARIBE COLOMBIANO (2017)

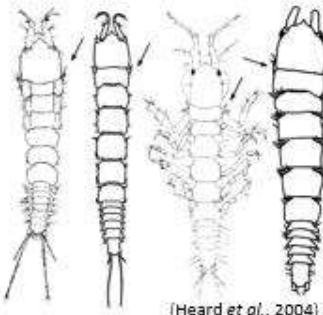


MAKURIWA  
MUSEO DE NATURALEZA MARINA  
DE COLOMBIA



**ANH**   
AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS  
COLOMBIA

### *Apseudidae* Leach, 1814



(Heard et al., 2004)

#### Clasificación taxonómica

Filum: Arthropoda / Clase: Malacostraca / Orden: Tanaidacea / Familia: Apseudidae<sup>(1)</sup>

#### Características morfológicas

Pereópodo 1 con espina coxal, propodo y cuerpo ancho y con numerosas setas largas. Antenas con escama bien desarrollada. Pereópodos 4-6 inflados. Pleon con pleonitos no fusionados, no notablemente comprimido. Pleópodos bien desarrollados, birámeos con numerosas setas en forma de plumas. Algunas especies son hermafroditas<sup>(2)</sup>.

#### Ecología

Familia cosmopolita, encontrada desde la zona intermareal hasta más allá de los 8000m de profundidad, teniendo preferencia por fondos lodosos, pero poco se conoce sobre su ecología<sup>(3)</sup>.

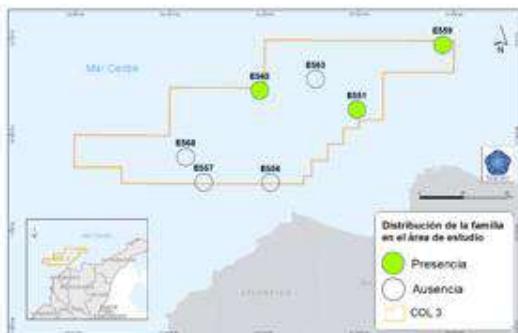
Tamaño (mm) 1-1.2 mm<sup>(4)</sup>

#### Distribución

● Estuarino ● Costero ○ Nerítico ● Oceánico

#### Zonación

● Epipelágico ○ Mesopelágico ○ Batipelágico



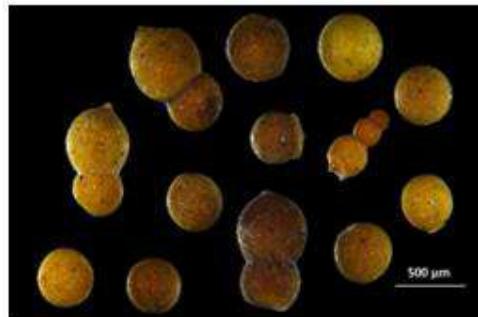
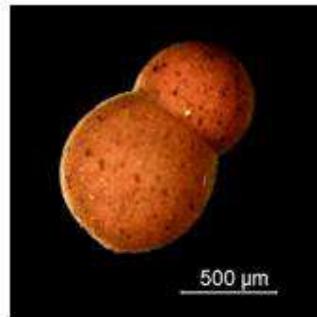
#### Bibliografía

- (1) World Register of Marine Species <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=136153>
- (2) Heard, R., Hansknecht, T., & Larzen, K. (2004). An illustrated identification guide to Florida tanaidaceans (Crustacea, Pericarida) occurring in depths of less than 200 meters. Final Supplemental Report. Florida Department of Environmental Protection, Tallahassee, 1-163.
- (3) Sieg J. 1986. 1986. Distribution of the Tanaidaceae: synopsis of the known data and suggestions on possible distribution patterns, pp. 165-194. In: Gore, R.H. and Heck K.L. (eds.), Crustacean biogeography. [Crustacean Issues 4]. A.A. Balkema, Rotterdam.
- (4) Heard et al., 2004.

LÍNEA BASE AMBIENTAL PRELIMINAR DE LOS BLOQUES DE EXPLORACIÓN DE HIDROCARBUROS COL 3 EN EL CARIBE COLOMBIANO (2017)



### Hormosinidae Haeckel, 1894 <sup>[1]</sup>



#### Clasificación taxonómica

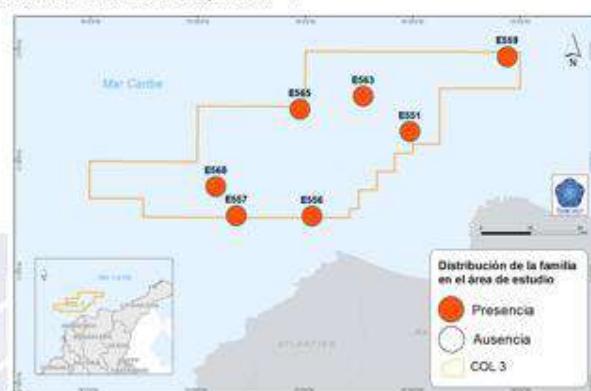
Filum: Foraminifera / Clase: Globothalamea / Orden: Lituolida

#### Características morfológicas

Foraminífero bentónico formado por cámaras libres, alargadas, dispuestas en series rectilíneas o arqueadas, cada cámara sucesiva está unida cerca de la base del cuello de apertura de la cámara anterior; terminal de apertura, redondeado, producido en un cuello leve; presentando una pared delgada de una sola capa de granos aglutinados de cuarzo, mica, espículas de esponja o pruebas de foraminíferos mantenidos en un mínimo de cemento orgánico. Su rango cronoestratigráfico abarca desde Bathoniense hasta la Actualidad. <sup>[2][3]</sup>

#### Distribución

Cosmopolita, encontrado en zona batial y abisal <sup>[4]</sup>.

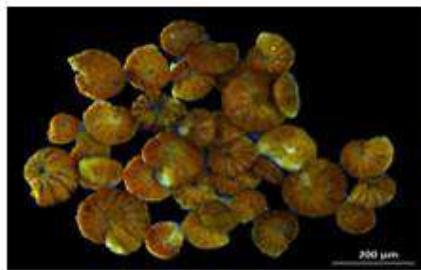


#### Bibliografía

- (1) Hayward, B.; Gross, O. (2010). Hormosinidae Haeckel, 1894. In: Hayward, B.W.; Le Coze, F.; Gross, O.
- (2) Acosta, N. 2004. Compendio de foraminíferos de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Colección Monografías Facultad de Ciencias, Número 1, Colombia, 144 p.
- (3) <http://edol.org/pages/4893/overview>
- (4) Holbourn A, Henderson A, Macleod N (2013). Atlas of Benthic Foraminifera. Wiley-Blackwell. ISBN: 978-1-118-38980-5, 654 p



### Cyclamminidae Marie, 1941<sup>(1)</sup>



#### Clasificación taxonómica

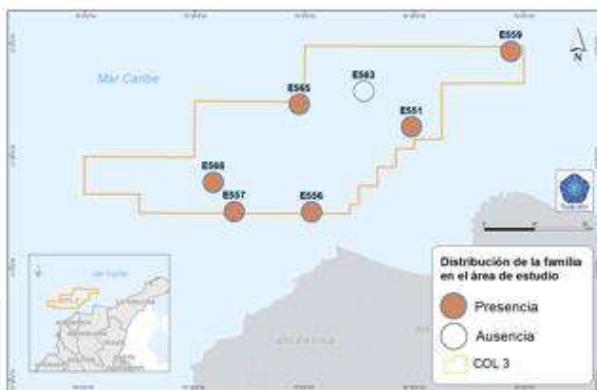
**Filum:** Foraminifera / **Clase:** Globothalamea / **Orden:** Loftusiida

#### Características morfológicas

Foraminíferos bentónicos de forma espiralada y enrollada helicoidalmente, con numerosas cámaras anchas por veticilo; abertura interiomarginal con abertura y una serie de poros redondos con bordes elevados diseminados por la cara; pared con capa exterior imperforada muy delgada y capa alveolar interna prominente. Su rango cronoestratigráfico abarca desde el Jurásico hasta la actualidad<sup>(2)(3)</sup>.

#### Distribución

Cosmopolita, encontrado en zona batial y abisal<sup>(4)</sup>.

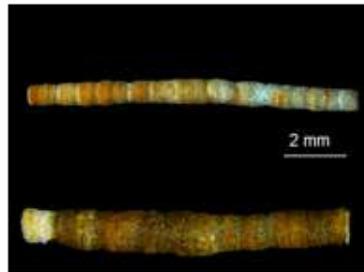


#### Bibliografía

- (1) Hayward, B. (2013). Cyclamminidae Marie, 1941. In: Hayward, B.W.; Le Coze, F.; Gross, O.
- (2) Acosta, N. 2004. Compendio de foraminíferos de Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Colección Monografías Facultad de Ciencias, Número 1, Colombia. 144 p.
- (3) <http://eol.org/pages/4893/overview>
- (4) Holbourn A, Henderson A, Macleod N (2013). Atlas of Benthic Foraminifera. Wiley-Blackwell. ISBN: 978-1-118-38980-5. 654 p



### Rhabdamminidae Brady, 1884 <sup>(1)</sup>



#### Clasificación taxonómica

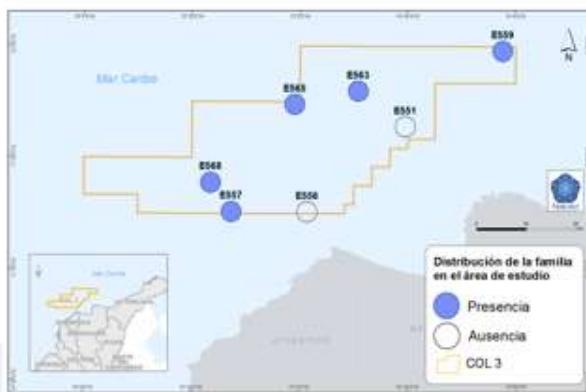
**Filum:** Foraminifera / **Clase:** Monothalamea / **Orden:** Astrorhizida

#### Características morfológicas

Foraminífero bentónico concha libre o adherente, simple o poco ramificada, tubular a ligeramente inflada. No septada. Su rango cronoestratigráfico abarca desde el Cretácico hasta la Actualidad<sup>(2)</sup>.

#### Distribución

Cosmopolita, encontrado en zona batal y abisal<sup>(3)</sup>.



#### Bibliografía

- (1) Hayward, B. (2010). Rhabdamminidae Brady, 1884. In: Hayward, B.W.; Le Coze, F.; Gross, O.
- (2) Acosta, N. 2004. Compendio de foraminíferos de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Colección Monografías Facultad de Ciencias, Número 1, Colombia. 144 p.
- (3) Holbourn A, Henderson A, Madeod N (2013). Atlas of Benthic Foraminifera. Wiley-Blackwell. ISBN: 978-1-118-38980-5. 654 p

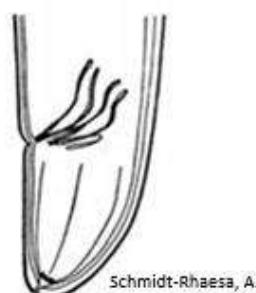
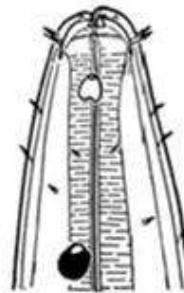


MAKURIWA



ANH  
AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS  
COLOMBIA

## Leptosomatidae Filipjev, 1916



Schmidt-Rhaesa, A.

### Clasificación taxonómica

**Filum:** Nematoda / **Clase:** Enopla / **Orden:** Enopla / **Familia:** Leptosomatidae<sup>(1)</sup>.

### Características morfológicas

Individuos largos (2-50 mm), con dos círculos de setas anteriores: seis setas en labio interno mayormente papiliformes, seis en labio externo y cuatro setas setiformes céfálicas, a menudo las setas céfálicas son muy pequeñas. Ánfido con forma de bolsillo. La mayoría de especies con ocelos. Cavidad bucal reducida, la capsula céfálica varía de forma, el contorno de faringe siempre liso<sup>(2)</sup>.

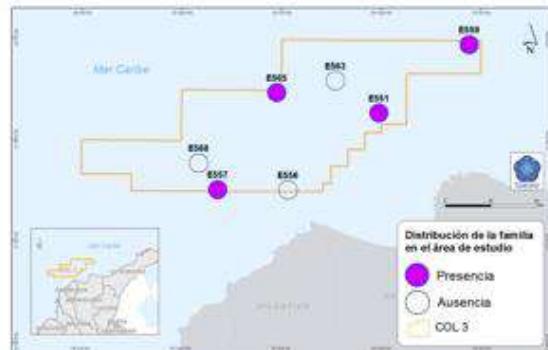
### Ecología

Nematodos marinos. Cosmopolita<sup>(2)</sup>.

### Distribución en área de estudio

La familia se encuentra distribuida en las siguientes estaciones:

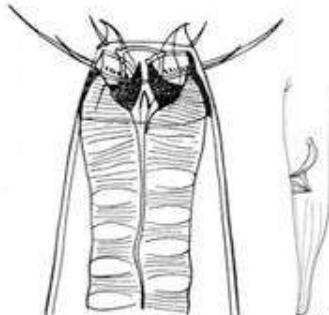
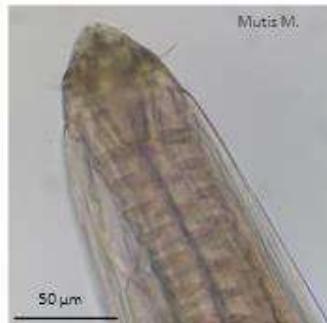
E 551  
E 557  
E 559  
E 565



### Bibliografía

- (1) Borshch, G. A., Mees, J., Costello, M. J., Hernandez, F., Goñi, S., Hoeksema, B. W., ... & Reed, G. B. (2014). World Register of Marine Species (WoRMS). WoRMS Editorial Board.
- (2) Schmidt-Rhaesa, A. (Ed.). (2014). Handbook of Zoology. Vol. 2, Gastrotricha, Cycloneuralia and Gnathifera. Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston. 759p.

## Thoracostomopsidae Filipjev, 1927



Schmidt-Rhaesa, A.

### Clasificación taxonómica

Filum: Nematoda / Clase: Enoplia / Orden: Enoplopida / Familia: Thoracostomopsidae<sup>(1)</sup>.

### Características morfológicas

Tiene labios altos, con ornamentaciones dorsolaterales. Las setas labiales son robustas y setiformes. La cavidad bucal se caracteriza por un complejo mandibular y por la presencia de dientes. Con una capsula céfala robusta y su ánfito es pequeño o ausente<sup>(2)</sup>.

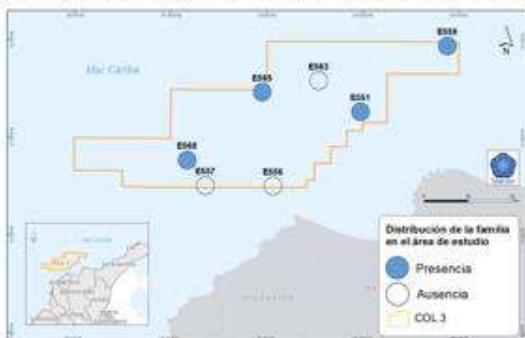
### Ecología

Animales marinos y de agua dulce (Enoplolaiminae). Estas especies marinas se pueden encontrar en playas con hidrodinámica intensiva y áreas sublitorales poco profundas, y sus abundancias varían estacionalmente ( Greenslade & Nicholas 1991<sup>(3)</sup>, Nicholas 2007<sup>(4)</sup> ).

### Distribución en área de estudio

La familia se encuentra distribuida en las siguientes estaciones:

- E 551
- E 556
- E 557
- E 568



### Bibliografía

- (1) Boxshall, G. A., Mees, J., Costello, M. J., Hernandez, F., Goñi, S., Hoeksma, B. W., ... & Read, G. B. (2014). World Register of Marine Species (WoRMS). WoRMS Editorial Board.
- (2) Schmidt-Rhaesa, A. (Ed.). 2014. Handbook of Zoology, Vol.2, Gastrotricha, Cyconurida and Gnathifera. Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston. 758p.
- (3) Greenslade, P., Nicholas, W.L. (1991) Some Thoracostomopsidae (Nematoda: Enoplopida) from Australia, including Descriptions of Two New Genera and Diagnostic Keys. Invertebrate Taxonomy 4: 1031-1052.
- (4) Nicholas, W.L. (2007) A new species of *Tripletium* (Nematoda, Thoracostomopsidae) from a sandy beach in southeastern Australia, with a key to species and observations on geographical distribution. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research 41: 335-344.

# MEIOFAUNA COL 3





### Paraonidae Cerruti, 1909<sup>(1)</sup>



#### Clasificación taxonómica

**Filum:** Annelida / **Clase:** Polychaeta / **Subclase:** Scolecida / **Familia:** Paraonidae<sup>(1)</sup>.

#### Características morfológicas

Formas pequeñas, delgadas y elongadas, con cuerpo enroscado que puede alcanzar los 200 segmentos; un prostomio fijamente cónico bien definido y una sola antena posterodorsal en este. Con branquias usualmente están presentes en la región media anterior del cuerpo, y setas que incluyen capilares, espinas y ganchos.<sup>(2)</sup>.

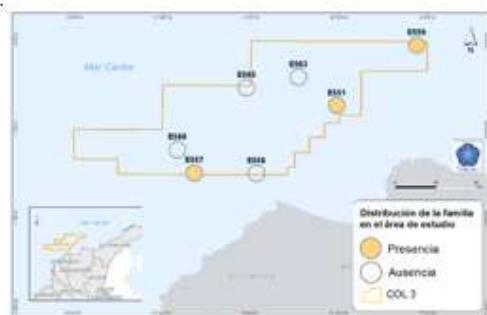
#### Ecología

Común y típicamente encontrada en hábitat de fondos blandos, son especialmente abundantes, caracterizada por su forma de alimentación en el sedimento, en el que van perforando y consumiendo detritus haciendo una espiral<sup>(3)</sup>. Su alimentación incluye foraminíferos, diatomeas, dinoflagelados y posiblemente una fracción de bacterias que viven pegadas a los granos de arena, ingieren sedimento y digieren la parte orgánica de este<sup>(2)</sup>.

**Tamaños (mm)** Desde 2-3 hasta 40<sup>(2)</sup>.

#### Distribución:

Habitan fondos blandos que van de arenas hasta barros, desde la zona litoral hasta profundidades de mas de 6000 m<sup>(2)</sup>.

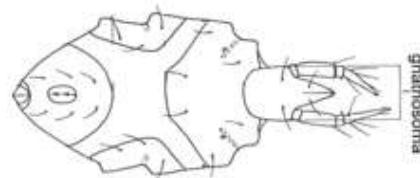


#### Bibliografía

- (1) Cerruti, Attilio. (1909). Contributo sull'anatomia, biologia e sistematica delle Paraonidae (Levinsonidae) con particolare riguardo alle specie del golfo di Napoli. Mittheilungen aus der Zoologischen Station zu Neapel. 19(3): 459-512, plates 18-19.
- (2) Glesby, C.J. [2000]. Family Paraonidae. Pp 82-84 in Beesley, P.L., G.J. B. Ross and C.J. Glesby, (eds) Polychaetes & Allies. The Southern Synthesis. Fauna of Australia. Volume 4A Polychaeta, Myzostomida, Pogonophora, Echiura, Sipuncula. CSIRO Publishing, Melbourne. 465 p.



## Halacaridae Murray, 1877



(Bartsch, 2006) Se omiten las patas en el diagrama

### Clasificación taxonómica

Filum: Arthropoda/ Clase: Arachnida/ Orden: Trombidiformes / Familia: Halacaridae<sup>[1]</sup>

### Características morfológicas

El cuerpo de un halacarido, así como la de la mayoría de ácaros adultos, se divide en idiosoma y gnathosoma. En el idiosoma se encuentran cuatro pares de patas y generalmente está cubierto con placas esclerotizadas, mientras que en el gnatosoma se encuentran los palpos y los quelíceros; para la identificación a nivel de género y especie se usan caracteres como el número, la forma y la disposición de las placas idiosómicas, la disposición de quetas del idiosoma y de las patas<sup>[2]</sup>.

### Ecología

Organismos presentes en la meiofauna; única familia de ácaros completamente adaptada a la vida permanente en el mar, familia cosmopolita, encontrada desde regiones intermareales hasta grandes profundidades. Viven en una variedad de sustratos, incluidos los intersticios del sedimento, pero son raros o están ausentes en sedimentos limosos, anóxicos, contaminados o con temperaturas extremas. Aparentemente se alimentan chupando el material alimenticio que ha sido sometido previamente a una digestión pre-oral.<sup>[3]</sup>

Tamaño (mm) 150 µm a 2000 µm<sup>[4]</sup>

### Distribución

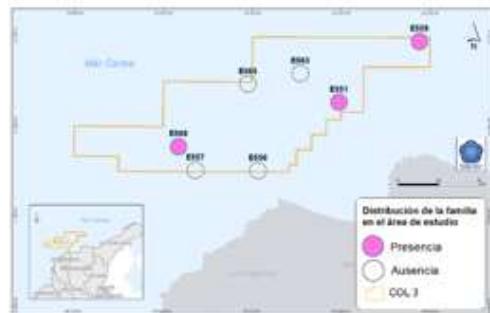
● Estuarino ● Costero ○ Nerítico ● Oceánico

### Zonación

● Epipelágico ○ Mesopelágico ○ Batipelágico

### Bibliografía

- (1) World Register of Marine Species (<http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=1484>)
- (2) Abé H. 2010. Redescription of the First Japanese Halacarid Mite, *Halacarus spongophilus* (Arachnida: Acari: Halacaridae). *Species Diversity*, 2010, 15, 109–117
- (3) Bartsch, I. 2006. Halacaroidea (Acar): a guide to marine genera. *Org. Divers. Evol.* 6, Electr. Suppl. 6: 1 – 104. URL: <http://www.senckenberg.de/odes/06-06.htm>
- (4) Bartsch, 2006, *ibid*.



LÍNEA BASE AMBIENTAL PRELIMINAR DE LOS BLOQUES DE EXPLORACIÓN DE HIDROCARBUROS COL 3 EN EL CARIBE COLOMBIANO (2017)







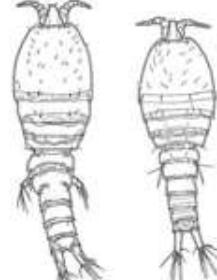


**Miraciidae** Dana, 1846

Juan Sebastián Cartés



200 µm



[<http://chess.myspecies.info/taxonomy/term/45589>]

**Clasificación taxonómica**

**Filum:** Arthropoda/ **Clase:** Hexanauplia/ **Orden:** Harpacticoida/ **Familia:** Miraciidae<sup>(1)</sup>

**Características morfológicas**

Cuerpo estrecho y alargado, con los segmentos redondeados. Cabeza fusionada al primer segmento torácico, comprimida lateralmente. Primeras antenas cortas, simétricas en las hembras y geniculadas en los machos. Segundas antenas con exopoditos. Abdomen con los segmentos redondeados y estrechos, con cinco segmentos en las hembras y seis en los machos. Fúrcas estrechas y alargadas. Quinto par de patas rudimentario, simétrico en ambos sexos<sup>(2)</sup>.

**Ecología**

Es una de las familias más comunes y abundantes de la meiofauna dentro del orden Harpacticoida, pero también existen especies epipelágicas. Diferentes géneros prefieren diferentes tipos de sedimentos. Algunas especies viven asociadas al tegumento de invertebrados marinos como cangrejos y langostas<sup>(3)</sup>.

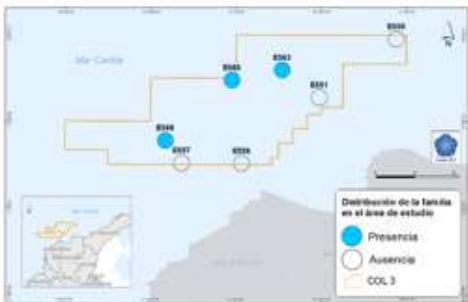
**Tamaño (mm)** 0,5 a 2 mm<sup>(4)</sup>

**Distribución**

- Estuarino
- Costero
- Néritico
- Oceánico

**Zonación**

- Epipelágico
- Mesopelágico
- Batipelágico



Distribución de la familia en el área de estudio

- Presencia
- Ausencia

COL 3

**Bibliografía**

- (1) World Register of Marine Species (<http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=115163>)
- (2) Campos A. y Suárez E. (1994). Copépodos Pelágicos del Golfo de México y Mar Caribe. Centro de Investigaciones de Quintana Roo (CIQRO) (1st ed., Vol. 1). Mexico D.F. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- (3) Boxshall G y Halsey S. 2004. An introduction to copepod diversity, Part I. The Ray Society. ISBN 0 903874 31 8
- (4) Campos y Suárez, 1994 (*ibid.*)

LÍNEA BASE AMBIENTAL PRELIMINAR DE LOS BLOQUES DE EXPLORACIÓN DE HIDROCARBUROS COL 3 EN EL CARIBE COLOMBIANO (2017)

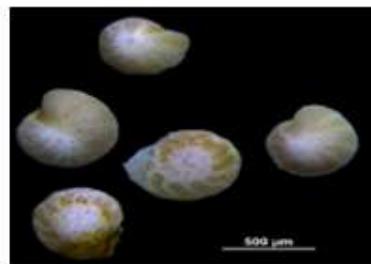


MAKURIWA



ANH  
AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS  
COLOMBIA

### Cibicididae Cushman, 1927<sup>(1)</sup>



#### Clasificación taxonómica

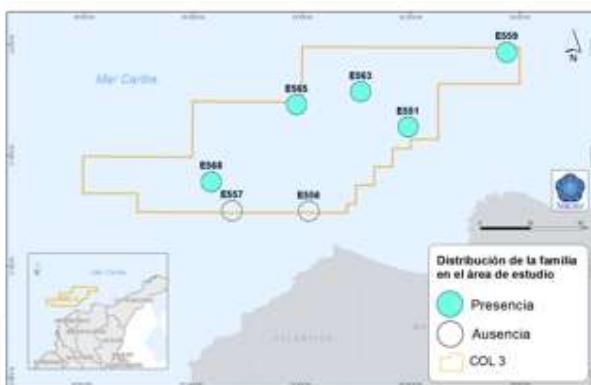
Filum: Foraminifera / Clase: Globothalamea / Orden: Rotaliida

#### Características morfológicas

Foraminífero bentónico de concha enrollada trocospiral, adherente por el lado espiral; abertura primaria como un arco bajo ecuatorial que puede extenderse hacia al lado espira, puede llegar a ser terminal y simple o múltiple en la forma no enrolladas. Su rango cronoestratigráfico abarca desde el Berriasiense hasta la Actualidad.<sup>(2)(3)</sup>

#### Distribución

Cosmopolita, encontrado en zona batal y abisal<sup>(4)</sup>.



#### Bibliografía

- (1) Hayward, B.; Gross, O. (2010). Cibicididae Cushman, 1927. In: Hayward, B.W.; Le Coze, F.; Gross, O. *Atlas de los foraminíferos bentónicos del Caribe Colombiano*. Número 1. Colombia. 144 p.
- (2) Acosta, N. 2004. Compendio de foraminíferos de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Colección Monografías Facultad de Ciencias, Número 1. Colombia. 144 p.
- (3) <http://eol.org/pages/4893/overview>
- (4) Holbourn A, Henderson A, Macleod N (2013). *Atlas of Benthic Foraminifera*. Wiley-Blackwell. ISBN: 978-1-118-38980-5. 654 p









**Rhabdamminidae Brady, 1884 <sup>(1)</sup>**



2 mm



2 mm

**Clasificación taxonómica**

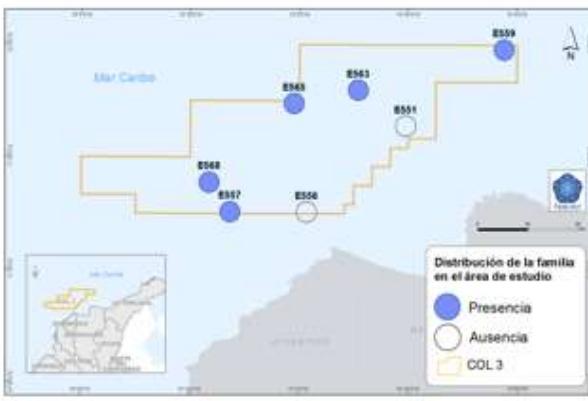
**Filum:** Foraminifera / **Clase:** Monothalamea / **Orden:** Astrorhizida

**Características morfológicas**

Foraminífero bentónico concha libre o adherente, simple o poco ramificada, tubular a ligeramente inflada. No septada. Su rango cronoestratigráfico abarca desde el Cretácico hasta la Actualidad <sup>(2)</sup>.

**Distribución**

Cosmopolita, encontrado en zona batial y abisal <sup>(3)</sup>.



Distribución de la familia en el área de estudio

- Presencia
- Ausencia
- COL 3

**Bibliografía**

- (1) Hayward, B. (2010). Rhabdamminidae Brady, 1884. In: Hayward, B.W.; Le Coze, F.; Gross, O.
- (2) Acosta, N. 2004. Compendio de foraminíferos de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Colección Monografías Facultad de Ciencias, Número 1, Colombia. 144 p.
- (3) Holbourn A, Henderson A, Macleod N (2013). Atlas of Benthic Foraminifera. Wiley-Blackwell. ISBN: 978-1-118-38980-5. 654 p

LÍNEA BASE AMBIENTAL PRELIMINAR DE LOS BLOQUES DE EXPLORACIÓN DE HIDROCARBUROS COL 3 EN EL CARIBE COLOMBIANO (2017)

## 4 Observaciones de fauna marina

### 4.1 Alcance

En complemento a la caracterización de las comunidades asociadas a la columna de agua y al fondo marino, se evaluó la presencia de mamíferos marinos, aves, peces y tortugas en el bloque COL3, a partir de información obtenida durante la ejecución del estudio ambiental de la línea base del área de evaluación de la cuenca sedimentaria del Caribe Colombiano, a bordo del crucero de investigación María José II.

### 4.2 Antecedentes

El programa de Observadores de Fauna Marina en operaciones en mar abierto (*off-shore*) ha sido una herramienta útil para recopilar información acerca de las especies y una estrategia para evaluar y minimizar los impactos de las actividades productivas sobre la fauna marina. Por otro lado, se ha convertido en una estrategia implementada por varios países del mundo para evitar los posibles disturbios que se puedan generar durante las realización de actividades productivas en los océanos (Frankel, 2009).

En sus inicios, la observación de fauna marina se enfocó en mitigar los impactos producidos por el ruido generado durante las actividades de sísmica marina sobre los cetáceos, cuyo sistema principal de orientación y comunicación es el sonido (Frankel, 2009). A partir de esto, varios países del mundo han implementado la observación de fauna marina como una estrategia preventiva frente a las actividades de exploración y extracción petrolera a nivel marítimo y su influencia sobre la fauna marina (PNAAPD, 2008). Países como Estados Unidos y el Reino Unido en los 90, implementaron legislaciones que obligaban a contar con la presencia de OFM a bordo de buques o embarcaciones pesqueras, con el fin de evaluar los efectos de esta actividad sobre los mamíferos marinos.

En Latinoamérica la observación de fauna marina se aplica de diferentes maneras. Por ejemplo, en México los programas de observadores marinos no solo se centran en actividades exploratorias y extractivas de gas y petróleo, sino también en actividades pesqueras, además se han desarrollado programas de observación enfocados en la Pesca de Tiburón en el Pacífico, de Atún en el Golfo de México y de Camarón en el Pacífico, en el Golfo de México y en el Golfo de California (PNAAPD, 2008).

Por otro lado, Colombia junto con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) implementaron la presencia de observadores de fauna marina desde el año 2008 como estrategia de mitigación a los impactos generados por la exploración y extracción de hidrocarburos, y como estrategia para recopilar información sobre los mamíferos marinos, aves, tortugas marinas y peces asociados a estas actividades. Desde entonces, la Fundación Omacha ha registrado esta información por medio de su Programa de Observadores de Fauna Marina (OFM).

Hasta la fecha en Colombia se han registrado 32 especies de mamíferos marinos entre

Odontocetos y Mysticetos (Trujillo *et al.*, 2013; Pardo *et al.*, 2008), de las 93 especies de mamíferos marinos reportadas y distribuidas en aguas oceánicas y costeras (Perrin *et al.*, 2009).

De la misma manera, se resalta la importancia de registrar las aves migratorias sobre el territorio nacional, ya que el Caribe colombino hace parte del corredor del Atlántico que corresponde a la ruta migratoria desde Nueva Inglaterra hasta Suramérica. El registro de estas especies se ha incrementado desde el año 1970. A pesar de esto, el caribe es la zona que presenta menor número de registros, en comparación con el Pacífico colombiano (Estela *et al.*, 2010; Naranjo *et al.*, 2012).

Por otro lado, el registro íctico es extenso y aunque la mayoría de los estudios han sido realizados dentro de la plataforma continental y cerca de la costa, en el dominio pelágico se han reportado cientos de especies (Roa-Varón *et al.*, 2003).

En cuanto a las tortugas marinas, han sido reportadas seis de las siete especies descritas mundialmente, destacando el registro de cuatro especies (*Caretta caretta*, *Chelonia mydas*, *Dermochelys coriacea* y *Eretmochelys imbricata*) y dos con registros ocasionales (*Lepidochelys kempii* y *L. olivacea*) (Ceballos, 2004; Eckert *et al.*, 2000).

En este sentido, el principal objetivo es establecer la presencia de mamíferos, tortugas marinas, aves y peces durante el Estudio Ambiental de la Línea Base en el área de evaluación COL3 y de la cuenca sedimentaria del Caribe colombiano como recopilar información que refleje la importancia de los monitoreos durante el desarrollo de estos proyectos, pues permitirán a futuro evaluar los efectos de la actividad y adquirir datos de distribución y comportamiento de las especies.

### 4.3 Metodología

Las observaciones de fauna marina fueron realizadas en el área del Bloque de exploración COL3, correspondiente a un sistema de aguas abiertas (ecosistemas pelágicos) de baja productividad.

Las observaciones de fauna marina a bordo de la embarcación María José II se realizaron todos los días durante 12 horas luz (6:00 – 18:00). El observador de fauna marina (OFM) a bordo de la embarcación fue Adrián Vásquez Ávila, el cual registró los avistamientos durante la evaluación del estudio ambiental de la línea base del Bloque COL3 y sobre la cuenca sedimentaria del Caribe colombiano circundante a esta área.

La metodología consistió en realizar observaciones de barrido desde el punto más alto alrededor del puente de mando, realizando una búsqueda visual en superficie en todas las direcciones detectando algún movimiento o cualquier cambio relevante en el océano que indicara la presencia de un animal. Para esto, fue utilizado el puente de mando y secciones externas (estribor, babor, proa y plataforma secundaria de operación) de la embarcación María José II como plataforma de observación oportunista (Figura 162).

Cuando las condiciones climáticas no fueron favorables las observaciones se realizaron al interior del puente de mando. Cabe resaltar que los censos visuales fueron realizados por un solo observador, el cual tuvo tres períodos de observación (uno de tres horas y dos de cuatro horas) con dos períodos de descanso de dos horas respectivamente, esto con el fin de minimizar el agotamiento visual.



Figura 162. Puntos de observación establecidos en la embarcación María José II. Fuente SERPORT S.A.

El procedimiento realizado por los OFM durante los censos visuales cuando se detectó algún organismo, inició realizando un registro fotográfico, utilizando una cámara profesional NIKON D5300 con lente 70-300 mm. Cuando el avistamiento era a gran distancia o duraba varios minutos, se utilizó binoculares NIKON 600 10x42 para obtener una observación más precisa de las características morfológicas y comportamentales de los animales.

Posteriormente se identificó la especie y número de individuos avistados, se registró el comportamiento, la presencia de adultos y crías, las coordenadas geográficas (GPS) y las condiciones ambientales y oceanográficas del avistamiento (Figura 163). En algunas ocasiones la determinación de los individuos fue compleja debido a factores como horas de poca luz, contraluz, distancia del observador y duración del avistamiento, por lo cual su identificación fue apoyada y confirmada por profesionales expertos, según el grupo taxonómico.



Figura 163. Equipos de trabajo de los OFM. Izquierda binoculares Ecotone, centro GPS Garmin y derecha cámara fotográfica Nikon D3200. Fuente Fundación Omacha.

También se utilizó como apoyo para el proceso de identificación, la “Guía de identificación de la fauna marina del Caribe y el Pacífico Oriental Tropical Cetáceos, Sirénidos y Tortugas” y la guía de aves “The field guide to the Birds of Colombia” (Figura 164).



Figura 164. Guías utilizadas para la identificación de cetáceos, aves y tortugas marinas. Fuente Fundación Omacha.

#### 4.3.1 Registro de esfuerzo y de avistamientos de fauna marina

Para registrar el esfuerzo de muestreo se empleó el formato de esfuerzo en el cual se registraron las fechas y horas de monitoreo del OFM. Este formato fue diligenciado cada hora por el observador, informando la posición, la velocidad de la embarcación, dirección del viento, Escala de Beaufort (Tabla 38) el brillo solar y la visibilidad.

Para las observaciones de *mamíferos marinos* se utilizó un registro de campo donde se incluyó: fecha, hora de inicio y fin del avistamiento, nombre y cargo de la persona que los detectó, nombre del observador, coordenadas, número de individuos adultos y juveniles, profundidad, especie o descripción de los individuos, ángulo de detección, rumbo de los individuos, distancia a la embarcación, registro fotográfico y las observaciones.

El formato del grupo de *tortugas marinas*, contiene la misma información que el de mamíferos. Sin embargo, factores ambientales como el reflejo de la luz sobre el agua y lo fugaz que suelen ser las observaciones de tortugas marinas en superficie dificultan la identificación a especie o género de los individuos

Para cada avistamiento de aves se registró la fecha, hora, coordenadas, nombre científico, número de individuos, estado de madurez, tamaño aproximado, comportamiento y dirección de vuelo. Por la dificultad que representa la identificación de aves, es muy importante registrar la mayor cantidad de detalles del plumaje y tamaño de los individuos observados.

*Tabla 38. Escala Beaufort utilizada para la medición de la fuerza del viento.*

| Escala   | Descripción     | Velocidad viento (millas/h) | Altura ola (m) | Descripción de la superficie del mar                   |
|----------|-----------------|-----------------------------|----------------|--|
| <b>0</b> | Calma           | <1                          | 0/0,4          | Mar totalmente en calma. Despejado                     |
| <b>1</b> | Ventolina       | 1 - 3                       | 0,6            | Mar rizado pero sin espuma                             |
| <b>2</b> | Brisa muy débil | 4 - 6                       | 1              | Crestas de apariencia vítreas, olas que no rompen      |
| <b>3</b> | Brisa débil     | 7 - 10                      | 1,5            | Pequeñas olas, crestas rompiendo                       |
| <b>4</b> | Brisa moderada  | 11 - 16                     | 2              | Borreguillos numerosos, olas cada vez más largas       |
| <b>5</b> | Brisa fuerte    | 17 - 21                     | 2,5            | Olas medianas y alargadas, borreguillos muy abundantes |
| <b>6</b> | Viento          | 22 - 27                     | 3,2            | Presencia de olas grandes, crestas rompiendo, espuma   |
| <b>7</b> | Viento fuerte   | 28 - 33                     | 4,2            | Mar grueso, espuma arrastrada en dirección del viento  |
| <b>8</b> | Temporal        | 34 - 40                     | 5,4            | Grandes olas rompiendo, franjas de espuma              |

Para el grupo de peces se registró fecha, hora de detección, observador, coordenadas geográficas, profundidad, especie o familia, número de individuos, dirección de viaje del animal, registro fotográfico y observaciones. Debido a que las observaciones se realizaron desde fuera del agua a algunos metros de altura, la identificación de este grupo fue limitada.

Los resultados de los avistamientos obtenidos durante este monitoreo fueron analizados mediante estadística descriptiva, teniendo en cuenta la naturaleza de los datos. De la misma manera, se evaluó la presencia y ocurrencia de las observaciones en el área en la que fue realizada el estudio (Bloque COL3); determinando de esta manera las tendencias y el número de avistamientos por especie y taxón, condiciones ambientales, comportamientos y tiempo promedio de los avistamientos. Por otro lado, evaluó el estado o categoría de amenaza, hábitos de alimentación y comportamientos, entre otros aspectos para cada especie, realizando una descripción ecológica de las especies.

#### 4.4 Resultados de observaciones de fauna marina

Los resultados presentados a continuación corresponden a las actividades de observación de fauna marina realizadas entre el 26 de septiembre al 13 de octubre de 2017 en el sector Centro del Caribe colombiano, a bordo de la embarcación María José

II, durante la ejecución del Estudio Ambiental de la Línea Base en el Área del Bloque COL3 y la Cuenca Sedimentaria del Caribe Colombiano (Figura 165). Los avistamientos fueron realizados en el marco del Programa de Observadores de Fauna Marina de la Fundación Omacha, para dar cumplimiento a los compromisos adquiridos por la Agencia Nacional de Hidrocarburos-ANH y Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andreis-INVEMAR.

Se reportaron un total de dos avistamientos de mamíferos marinos y 89 registros de aves; resaltando que no se registró la presencia de tortugas marinas y peces, respectivamente; con un total de 264 horas de observación efectiva durante los 22 días de muestreo.

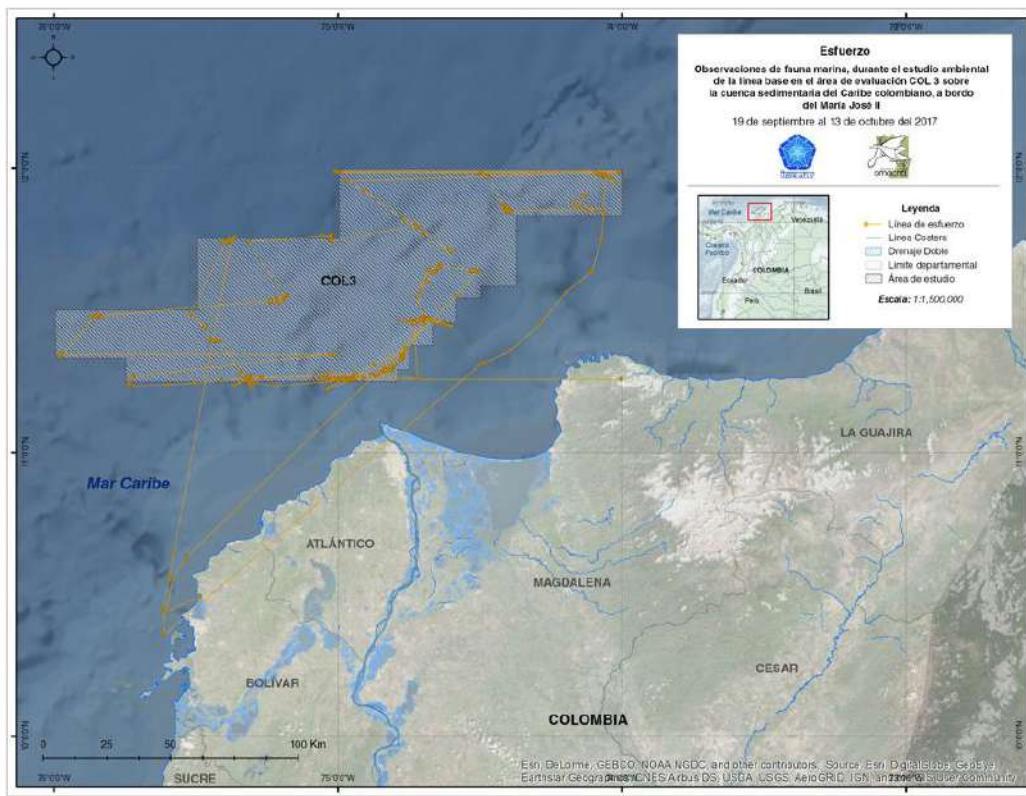


Figura 165. Localización del bloque COL3, Caribe colombiano y esfuerzo de observación durante el crucero.

Durante el periodo de muestreo predominaron vientos provenientes del sur, este y norte, con un promedio de velocidad de 4 a 10 millas/h comprendidos en una escala Beaufort que oscila de cero a cuatro, con predominancia de escala dos (Figura 166). La visibilidad en todas las horas del día fue buena, permitiendo observar hasta un radio de 5 km aproximadamente, predominando el brillo solar fuerte seguido por brillo tenue. En general las condiciones climáticas y estado del mar fueron favorables para la detección e identificación de la fauna marina.

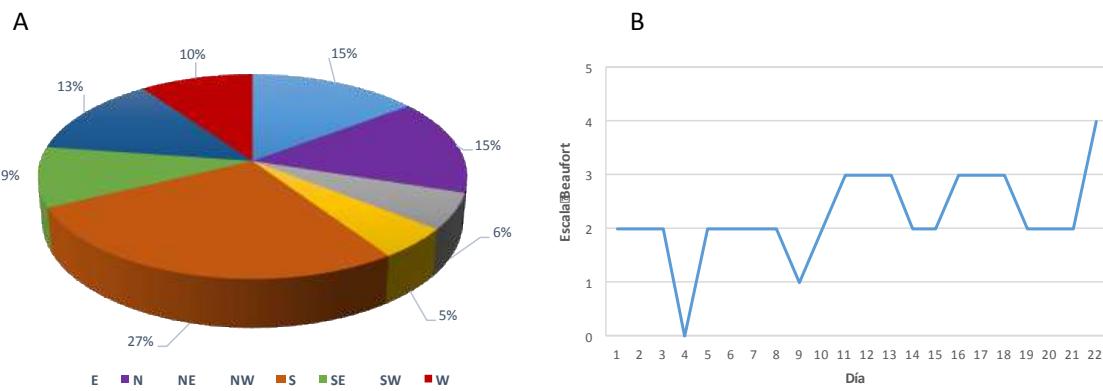


Figura 166. Factores ambientales registrados en el área de estudio (COL3), durante la ejecución del Estudio Ambiental de la Línea Base en el Área del Bloque COL3 y la Cuenca Sedimentaria del Caribe, entre el 19 de septiembre y el 13 de octubre de 2017. A) Porcentaje de frecuencia de la dirección del viento. B) Promedio diario de la Escala Beaufort.

#### 4.4.1 Registro de mamíferos marinos

Se registraron dos avistamientos de mamíferos marinos durante la ejecución del Estudio Ambiental de la Línea Base en el Área del Bloque COL3 y la Cuenca Sedimentaria del Caribe, a bordo de la embarcación María José II. El primero solo pudo ser identificado a nivel de familia (Delphinidae) y el segundo a nivel de especie (*Stenella frontalis*) (Tabla 2; Figura 7). Según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN), *S. frontalis*, se encuentra catalogada en Datos Deficientes (DD).

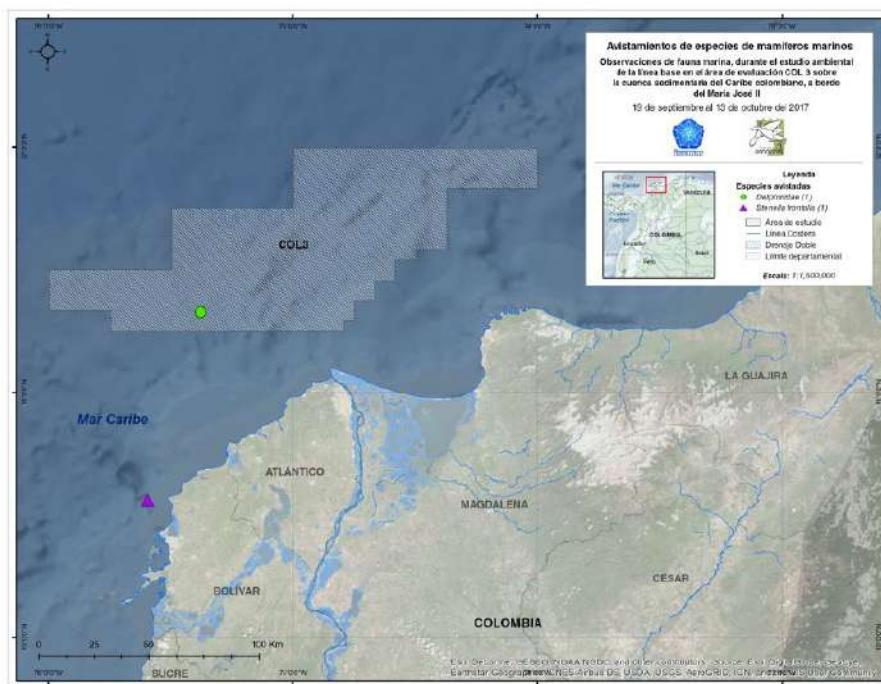


Figura 167. Avistamientos de mamíferos marinos en el Bloque COL3. Fuente fundación Omacha.

Tabla 39. Registro de avistamientos de mamíferos marinos observados durante la ejecución del Estudio Ambiental de la Línea Base en el Área del Bloque COL3 y la Cuenca Sedimentaria del Caribe. Fuente Fundación Omacha.

| Avist. | Fecha    | Hora inicio | Hora final | Profundidad (m) | Nº de Ind. | Coordenadas GPS              | Especie                   | Área |
|--------|----------|-------------|------------|-----------------|------------|------------------------------|---------------------------|------|
| 1      | 25/09/17 | 9:16        | 9:16       | 1838            | 4          | 11°19'34,9"N<br>75°22'43,1"W | Delphinidae               | COL3 |
| 2      | 27/09/17 | 6:58        | 07:11      | 197             | 3          | 10°33'26,2"N<br>75°35'38,5"W | <i>Stenella frontalis</i> | COL3 |

**Avistamiento 1:** el 25 de septiembre de 2017 a la 9:16 h, en el Bloque COL3 durante el tránsito a la estación Nº 18, se observaron un total de cuatro (4) individuos de la familia Delphinidae, a una distancia aproximada de 300m, a estribor de la embarcación y en un área con una profundidad de 1838 m. El comportamiento de este grupo de individuos se caracterizó por la exposición de la aleta dorsal. El grupo permaneció por un periodo de un minuto, comportamiento que dificulto la identificación de la especie de delfín (Figura 168).



Figura 168. Individuo de la familia Delphinidae observado durante el tránsito a la estación Nº 18 en el área del Bloque COL3. Fuente Fundación Omacha.

**Avistamiento 2:** el 27 de septiembre de 2017 a la 6:58 h, durante el tránsito a la ciudad de Cartagena, se observaron un total de tres (3) individuos, dos (2) adultos y un (1) juvenil de delfín moteado (*Stenella frontalis*) a una distancia de 5 m, a estribor de la embarcación y en un área con una profundidad de 197 m. El comportamiento de este grupo de individuos se caracterizó por su nado rápido, exposición de las aletas dorsales y realización de *bowriding* frente a la proa. El grupo permaneció por un periodo de trece minutos y posteriormente tomó rumbo hacia el Norte en sentido opuesto respecto a la embarcación (Figura 169).



Figura 169. Individuos de *Stenella frontalis* exponiendo su aleta dorsal y realizando "Bowriding" a estribor de la embarcación. Observados durante el tránsito a la ciudad de Cartagena. Fuente Fundación Omacha.

La observación de delfines en zonas abiertas tiene una mayor probabilidad cuando la embarcación se encuentra en movimiento, siendo determinado por razones particulares, esto podría ser el motivo por el cual, los dos avistamientos de cetáceos durante el crucero de investigación fueron registrados durante el tránsito a la estación N° 18 y a la ciudad de Cartagena. Würsig en el (2009) ha reportado que los delfines aprovechan el movimiento generado por la embarcaciones para movilizarse y ahorrar energía.

Por otro lado, la distribución de los cetáceos no es uniforme a través de los océanos, su presencia, abundancia y visualización dependen estrictamente de los requerimientos básicos necesarios para su desarrollo, subsistencia y reproducción (Purves et al., 1998). Características físicas de los mares como la profundidad, el perfil del fondo marino, la disponibilidad de recursos, la temperatura del agua y las presiones hidrostáticas entre otras, son factores esenciales que definen las zonas de hábito de las diferentes especies de mamíferos marinos (Wynne y Schwartz, 1999).

Para el caso específico del delfín moteado (*S. frontalis*), el número de avistamientos y puntos de distribución son amplios en el Caribe Colombiano, resaltando una alta frecuencia de observación en zonas costeras y fuera de ellas (Trujillo et al., 2013). *S. frontalis* se encuentra solamente en el océano Atlántico a lo largo de las costas del golfo de los Estados Unidos, en el Caribe y África Occidental. Esta especie se caracteriza por su cuerpo robusto y manchas en gran parte de su cuerpo. Su dieta está constituida por una gran variedad de presas que van desde pequeños y grandes peces epipelágicos y mesopelágicos, calamares e invertebrados bentónicos (Perrin et al., 2009).

#### 4.4.2 Registro de aves

Durante el muestreo en el área de influencia del COL3, se registraron 89 avistamientos de aves, de los cuales solo tres (3) fueron identificados a género. Estos registros corresponden a siete (7) ordenes (Accipitriformes, Anseriformes, Charadriiformes, Passeriformes, Pelecaniformes, Procellariiformes y Suliformes), trece (13) familias (Anatidae, Ardeidae, Cardinalidae, Fregatidae, Hirundinidae, Laridae, Pandionidae, Parulidae, Pelecanidae, Procellariidae, Sulidae, Threskiornithidae y Tyrannidae), veinticinco (25) géneros (Anas, Ardea, Butorides, Egretta, Pheucticus, Spiza, Fregata,

Hirundo, Anous, Chlidonias, Larus , Onychoprion, Sterna, Thalasseus, Pandion , Dendroica , Leiothlypis, Parkesia, Protonotaria, Setophaga, Pelecanus, Puffinus, Sula , Plegadis y Tyrannus) y veintiocho (28) especies entre las que se encuentran aves residentes y migratorias provenientes del Norte del continente-boreales (Tabla 40; Figura 170).

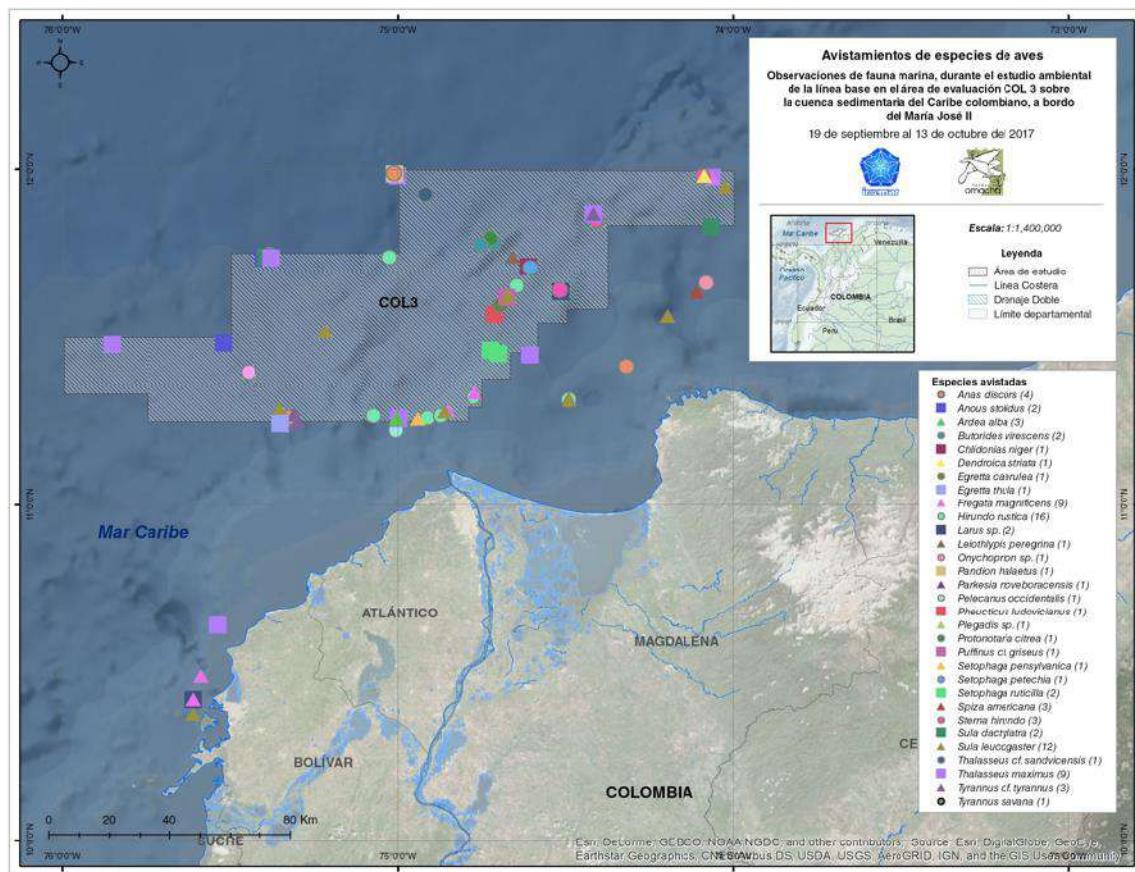


Figura 170. Avistamientos de aves en el Bloque COL3. Fuente fundación Omacha.

Tabla 40. Avifauna registrada durante la ejecución del Estudio Ambiental de la Línea Base en el Área del Bloque COL3 y la Cuenca Sedimentaria del Caribe. Fuente Fundación Omacha.

| Familia      | Especie                        | Nombre común         | No de reg. | Categoría IUCN | Área | Estación  |
|--------------|--------------------------------|----------------------|------------|----------------|------|-----------|
| Anatidae     | <i>Anas discors</i>            | Barraqueté aliazul   | 4          | LC             | COL3 | 7, 11, 14 |
| Ardeidae     | <i>Ardea alba</i>              | Garza blanca         | 3          | LC             | COL3 | 6, 14, 18 |
|              | <i>Butorides virescens</i>     | Garcita verde        | 2          | LC             | COL3 | 13, 15    |
|              | <i>Egretta caerulea</i>        | Garza azul           | 1          | LC             | COL3 | 2         |
|              | <i>Egretta thula</i>           | Garza patiamarilla   | 1          | LC             | COL3 | 7         |
| Cardinalidae | <i>Pheucticus ludovicianus</i> | Pico gordo degollado | 1          | LC             | COL3 | 2         |

| Familia           | Especie                            | Nombre común           | No de reg. | Categoría IUCN | Área | Estación                                   |
|-------------------|------------------------------------|------------------------|------------|----------------|------|--|
|                   | <i>Spiza americana</i>             | Arrocero norteño       | 3          | LC             | COL3 | 4, 14, 17                                  |
| Fregatidae        | <i>Fregata magnificens</i>         | Fregata manífera       | 9          | LC             | COL3 | 1, 3, 5, 6, 9                              |
| Hirundinidae      | <i>Hirundo rustica</i>             | Golondrina tijereta    | 16         | LC             | COL3 | 2, 3, 5, 6, 7, 9, 14, 16, 17, 18, Transito |
| Laridae           | <i>Anous stolidus</i>              | Tiñosa común           | 2          | LC             | COL3 | 17, 18                                     |
|                   | <i>Chlidonias niger</i>            | Gaviotín negro         | 1          | LC             | COL3 | 13   |
|                   | <i>Larus sp.</i>                   | -                      | 2          | -              | COL3 | 1, 2                                       |
|                   | <i>Onychoprion sp.</i>             | -                      | 1          | -              | COL3 | Transito                                   |
|                   | <i>Sterna hirundo</i>              | Gaviotín común         | 3          | LC             | COL3 | 2, 4, 9, 11, 14, 17                        |
|                   | <i>Thalasseus cf. sandvicensis</i> | Garza patinegro        | 1          | LC             | COL3 | 13   |
|                   | <i>Thalasseus maximus</i>          | Gaviotín real          | 9          | LC             | COL3 | 1, 3, 6, 9, 11, 14, 17, 20                 |
| Pandionidae       | <i>Pandion haliaetus</i>           | Águila pescadora       | 1          | LC             | COL3 | 14   |
| Parulidae         | <i>Dendroica striata</i>           | Reinita rayada         | 1          | LC             | COL3 | 9  |
|                   | <i>Leiothlypis peregrina</i>       | Reinita verderona      | 1          | LC             | COL3 | 13   |
|                   | <i>Parkesia noveboracensis</i>     | Reinita acuática       | 1          | LC             | COL3 | 3  |
|                   | <i>Protonotaria citrea</i>         | Renita cabicedorada    | 1          | LC             | COL3 | 13   |
|                   | <i>Setophaga pensylvanica</i>      | Reinita flanquicastaña | 1          | LC             | COL3 | 6  |
|                   | <i>Setophaga petechia</i>          | Reinita amarilla       | 1          | LC             | COL3 | 13   |
|                   | <i>Setophaga ruticilla</i>         | Cardelita norteña      | 2          | LC             | COL3 | 3  |
| Pelecanidae       | <i>Pelecanus occidentalis</i>      | Pelícano               | 1          | LC             | COL3 | 6  |
| Procellariidae    | <i>Puffinus cf. griseus</i>        | Pardela oscura         | 1          | LC             | COL3 | 2  |
| Sulidae           | <i>Sula dactylatra</i>             | Piquero enmascarado    | 2          | LC             | COL3 | 17, Transito                               |
|                   | <i>Sula leucogaster</i>            | Piquero pardo          | 12         | LC             | COL3 | 1, 2, 3, 5, 6, 9, 16, 17, 18               |
| Threskiornithidae | <i>Plegadis sp.</i>                | -                      | 1          | -              | COL3 | 11   |
| Tyrannidae        | <i>Tyrannus cf. tyrannus</i>       | Sirirí migratorio      | 3          | LC             | COL3 | 7, 11                                      |
|                   | <i>Tyrannus savana</i>             | Tjereta sabanera       | 1          | LC             | COL3 | 18   |

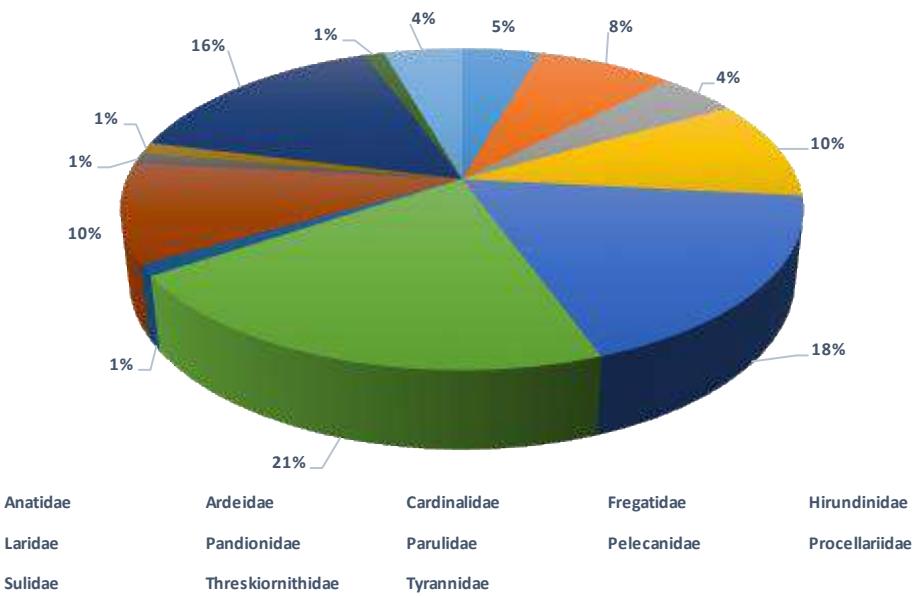


Figura 171. Composición porcentual de los avistamientos registrados teniendo en cuenta el nivel taxonómico de familia, durante la ejecución del Estudio Ambiental de la Línea Base en el Área del Bloque COL3 y la Cuenca Sedimentaria del Caribe. Fuente Fundación Omacha.

De los avistamientos identificados hasta especie, se tratan principalmente de aves migratorias, seguido de aves que habitan y transitan ambientes marinos y vadeadoras con desplazamientos o migraciones locales fuera de costa (Estela *et al.*, 2010). Las especies registradas en el área de estudio están representadas por tres grupos funcionales (Migratorias, marinas y vadeadoras) y se encuentran catalogadas como Preocupación Menor (LC) por la IUCN (IUCN, 2017).

Las especies más representativas durante las observaciones a bordo de la embarcación fueron la golondrina tijereta, *Hirundo rustica* (23 ind) con una frecuencia de observación de 16 avistamientos, seguida del piquero, *Sula leucogaster* (15 ind) con una frecuencia de 12 avistamientos, el gaviotín real, *Thalasseus maximus* (11) con 9 avistamientos y la fregata, *Fregata magnificens* (12 ind) con 9 avistamientos.

*H. rustica* es un ave que migra en invierno a Colombia procedente del Norte y Sur durante las temporadas invernales. Migra a través del Caribe, razón por la cual hay una alta frecuencia de observación para esta especie. E caracteriza por tener tamaño pequeño (15 cm), con alas largas y puntiagudas, que pasan la mayor parte del tiempo volando para capturar insectos (Naranjo *et al.*, 2012; McMullan *et al.*, 2011). Esta especie se encuentra catalogada por la IUCN como Preocupación Menor (LC).

La alta frecuencia de observaciones de la especie *S. leucogaster*, se debe principalmente a su comportamiento marino y estrategia de alimentación, dado que esta especie realiza grandes desplazamientos a mar abierto en busca de alimento, utilizando ocasionalmente las estructuras flotantes como fuentes de oportunidad para la captura de sus presas y de descanso (Naranjo *et al.*, 2012). Cabe resaltar, que para el Caribe

Colombiano existen varios reportes del piquero enmascarado, dado que presenta colonias en los cayos oceánicos del Archipiélago de San Andrés y Providencia, especialmente en Serranilla y Beacon y en las costas del Parque Nacional Natural Tayrona (Naranjo *et al.*, 2012).

Por otro lado, las observaciones de la especie *T. Maximus*, se caracterizaron por ser registros al vuelo. Esto puede ser explicado, ya que esta especie realiza migraciones parciales y cortas a medianas distancias, además tener poblaciones reproductivas permanentes en Colombia (Naranjo *et al.*, 2012). Finalmente, *F. magnificens* aunque no presenta largas migraciones, se caracteriza por realizar amplias dispersiones en aguas abiertas, estando muy bien distribuida en el Caribe y Pacífico, teniendo colonias reproductivas en el Pacífico norte, Caribe sur y los archipiélagos (Naranjo *et al.*, 2012; McMullan *et al.*, 2011). Es un ave de gran envergadura, fácil de reconocer al vuelo.

Cabe resaltar que la avifauna observada y reportada en el área de estudio y durante la ejecución del proyecto corresponde a especies reportadas para el país con presencia de poblaciones locales y migraciones altitudinales (Figura 172). De la misma manera, se resalta que los registros de aves en aguas abiertas amplían la información sobre sus puntos de distribución y patrones de desplazamiento, a su vez proporcionan información sobre sus patrones de comportamiento con respecto a la presencia de estructuras artificiales que son escasos para el país.

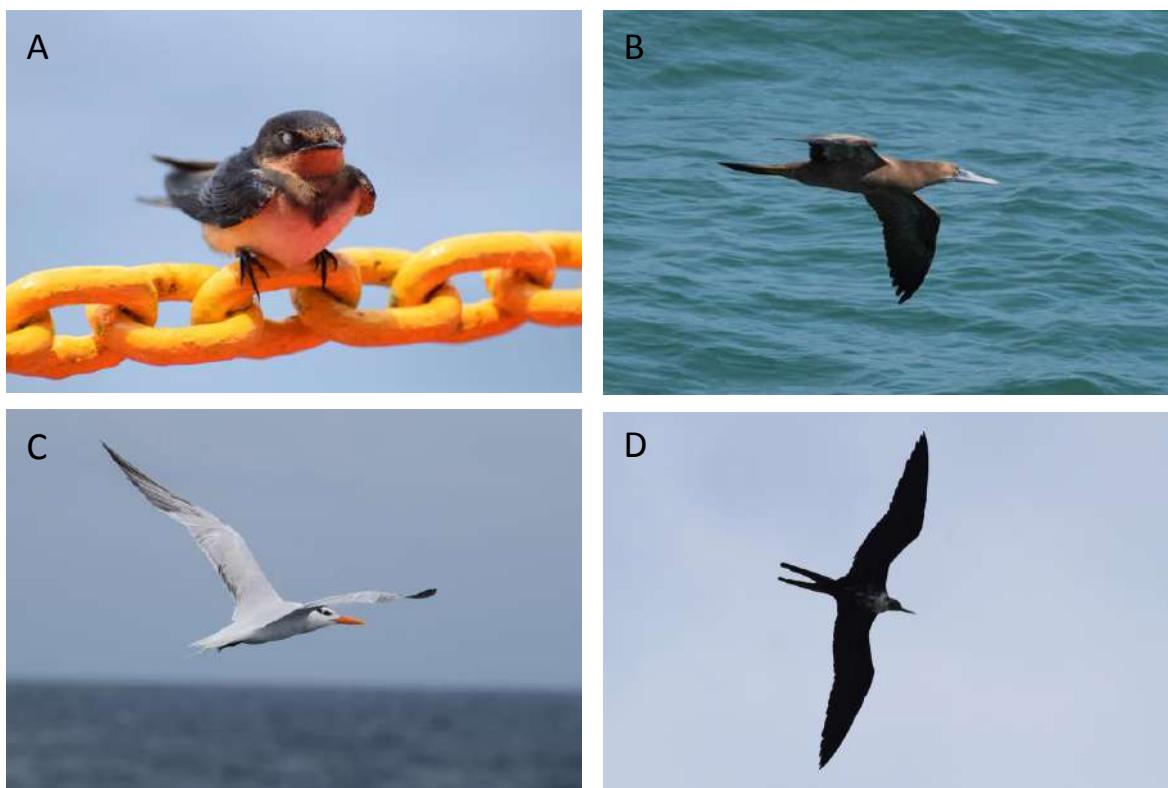


Figura 172. Principales aves registrados durante la ejecución del Estudio Ambiental de la Línea Base en el Área del Bloque COL3 y la Cuenca Sedimentaria del Caribe. A) *H. rustica*. B) *S. leucogaster*. C) *T. maximus* y D) *F. magnificens*. Fuente Fundación Omacha.

#### 4.4.3 Registro de tortugas y peces

No se registraron avistamientos de tortugas marinas, ni de peces durante las observaciones de fauna marina efectuadas a bordo de la embarcación María Joisé II. Para el caso específico de las tortugas marinas, puede explicarse en gran parte a su comportamiento críptico y difícil identificación en altamar, dado a que estos organismos no permanecen largos períodos de tiempo sobre la superficie, dificultando su detección.

### 4.5 Conclusiones

- Durante las 264 horas de esfuerzo de observación llevadas a cabo entre el 26 de septiembre y el 13 de octubre de 2017, se registraron 91 registros en total. Dos registros de mamíferos marinos, 89 de aves. No se registraron tortugas marinas ni peces.
- Durante los tránsitos realizados en la embarcación María José II se registró un avistamiento del delfín *S. frontalis*. La presencia de esta especie de mamífero marino estuvo asociada a aguas oceánicas, lo cual puede estar dado por la alta productividad de estas áreas.
- Las especies de aves más representativas durante las observaciones a bordo de la embarcación María José II, fueron la golondrina tijereta (*Hirundo rustica*), el piquero (*Sula leucogaster*), el gaviotín real (*Thalasseus maximus*) y la fregata (*Fregata magnificens*).
- La comunidad de aves registradas estuvo compuesta ampliamente por especies migratorias, reforzando la teoría de la Cuenca Colombia como un corredor migratorio de especies provenientes del norte; y de la misma manera enriqueciendo la información carente para algunas especies en el país.
- Durante los tránsitos realizados en la embarcación María José II no se observó ni registró el avistamiento de tortugas marinas y peces. Esto puede ser explicado a la dificultad de detección e identificación mar adentro.
- Los registros de fauna marina aquí obtenidos son un aporte al conocimiento sobre la biodiversidad marina en el Caribe colombiano y su interacción con actividades industriales *offshore*.

### 5 Bibliografía

- Albright, J. 1983. Influence of river-ocean plumes upon bacterioplankton production of the Strait of Georgia, British Columbia. Mar. Ecol. Progr. Series, 12: 107-113.
- Alder, V.A. y D. Boltovskoy 1993. The ecology of larger microzooplankton in the Weddell-Scotia Confluence area: Horizontal and vertical distribution patterns. J. Mar. Res., 51:323-344.
- Allen, J.A. 1983. The ecology of deep-sea molluscs. Ecology, The Mollusca, 6: 29-75.
- Allen, J.A. 2008. Bivalvia of the deep Atlantic. Malacologia, 50(1): 57-173.

- Allen, J.A., and H.L. Sanders. 1996. The zoogeography, diversity and origin of the deep-sea protobranch bivalves of the Atlantic: the epilogue. *Progress in Oceanography*, 38(2): 95-153.
- Aller, J. y Aller, R. C. 1986. General characteristics of benthic faunas on the Amazon inner continental shelf with comparison to the shelf off the Changjiang River, East China Sea. *Continental Shelf Research*, 6(1-2), 291-310.
- Aller, J.Y., S. Woodin and R.C. Aller (Eds.). 2001. *Organism-Sediment Interactions*. University of South Carolina Press. Columbia, SC, EEUU. 403 p.
- Alvariño, L. 1971. *Siphonophores of the Pacific with a review of the World distribution*. University of California Press, Los Angeles USA: 432.
- Amaral, A.C.Z., e E.F. Nonato. 1996. *Annelida Polychaeta: características, glossário e chaves para famílias e gêneros da costa brasileira*. Editora da UNICAMP. 124 p.
- Anderson, B., C. Burgess, R. Cooper y S. White. 1999. *Offshore Oil in North Carolina: An Interdisciplinary Assessment*. COAS 4025. 43 p.
- Andrade C.A. y Y.F. Thomas. 1988. Sedimentos en suspensión e hidrodinámica al sureste del delta del Río Magdalena, Mar Caribe (Colombia). *Boletín Científico CIOH*, 8: 27-34.
- Andrade, C. 2000. Circulation and variability of the Colombian Basin in the Caribbean Sea. Ph.D. Thesis. University of Wales. 223 p.
- Angel M. 1993. Biodiversity od the pelagic Ocean. *Conservation Biology* Vol. 7: 760-772.
- Aranguren, N., Bolívar, A., Canosa, A., Galvis, G., Mojica, J., Donato, G., Rueda-Delgado, G., Ruiz, E. y Schmidt-Mumm, U. 2002. *Manual de métodos de Limnología*. Asociación Colombiana de Limnología. Bogotá. 76 p.
- Arevalo-Martinez, D. y A. Franco-Herrera. 2006. Características oceanográficas de la surgencia frente a la Ensenada de Gaira, Departamento del Magdalena, época seca menor de 2006. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 37: 131-162.
- Badcock, J. 1984. Gonostomatidae. In: P.J.P. Whitehead, M.-L. Bauchot, J.-C. Hureau, J. Nielsen and E. Tortonese (eds), *Fishes of the Northeastern Atlantic and the Mediterranean*, pp. 284-295. UNESCO.
- Baguley, J. G. 2004. Meiofauna community structure and function in the northern Gulf of Mexico deep sea. Trabajo de grado Doctoral. Austin, Texas. The University of Texas at Austin. 222 p.
- Balech, E. 1988. Los dinoflagelados del Atlántico sudoccidental. Museo Argentino de Ciencias Naturales de Buenos Aires. Publicaciones Especiales del Instituto Español Oceanográfico 1: 219 p.
- Balsamo, M., Semprucci, F., Frontalini, F. y Coccioni, R. 2012. Meiofauna as a Tool for Marine Ecosystem Biomonitoring. 77-104.

- Bartsch, I. 2006. Halacaroidea (Acari): a guide to marine genera. *Org. Divers. Evol.* 6, Electr. Suppl. 6: 1 - 104. URL: <http://www.senckenberg.de/odes/06-06.htm>
- Bathmann, U., M.H. Bundy, M.E. Clarke, T.J. Cowles, K. Daly, H.G. Dam, MM. Dekshenicks, P.L. Donaghay, D.M. Gibson, D.J. Gifford, B.W. Hansen, D.K. Hartline, E.J.H. Head, E.E. Hofmann, R.R. Hopcroft, R.A. Jahnke, S.H. Jonasdottir, T. Kiorboe, G.S. Kleppel, J.M. Klinck, P.M. Kramer, M.R. Landry, R.F. Lee, P.H. Lenz, L.P. Madin, D.T. Manahan, M.G. Mazzocchi, D.J. McGillicuddy, C.B. Miller, J.R. Nelson, T.R. Osborn, G.A. Paffenhofer, R.E. Pieper, I. Prusova, M.R. Roman, S. Schiel, H.E. Seim, S.L. Smith, J.J. Torres, P.G. Verity, S.G. Wakeham, y K.F. Wishner. 2001. Future marine zooplankton research - a perspective. *Mar. Ecol. Progr. Series* 222: 297-308.
- Beesley, P.L., G.J.B. Ross and C.J. Glasby. 2000. Polychaetes and Allies: The Southern Synthesis. Fauna of Australia. Vol. 4A Polychaeta, Myzostomida, Pogonophora, Echiura, Sipuncula. CSIRO Publishing: Melbourne xii. 465 p.
- Beltrán- León, B. y Ríos. 2000. Estudios tempranos de peces del Pacífico colombiano. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura INPA-Buenaventura. 1976. 727 p.
- Bender, K. and W.R. Davis. 1984. The effect of feeding by *Yoldia limatula* on bioturbation. *Ophelia*, 23(1): 91-100.
- Bernal, A y S. Zea. 2000. Estructura de la comunidad de zooplancton en condiciones de descarga continental y de afloramiento costero en Santa Marta, Caribe Colombiano. Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras – INVEMAR.1: 29.
- Bernal, G., M.A. Ruiz-Ochoa, M.T. Piedrahita y E. Restrepo. 2008. Foraminíferos en los sedimentos superficiales del sistema lagunar de Cispatá y la interacción Río Sinú Mar Caribe colombiano. Boletín de Ciencias de la Tierra, 23.
- Bernal, R.F. y O. Rojas. 1994. Patterns of eggs and larval distribution of *Merluccius gayi* gayi of the coast of Chile, and associated environmental factors. [Spanish]. Revista de Biología Marina y Oceanografía 32: 31-56.
- Bernal, V. 1994. Aspectos ecológicos de la comunidad de zooplancton nerítico en el Departamento del Magdalena. Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras, 29: 3-26.
- Bernhard, J., Barun, K., Baguley, J. 2008. Benthic foraminifera living in Gulf of Mexico bathyal and abyssal sediments: Community analysis and comparison to metazoan meiofaunal biomass and density. Deep-Sea Research II 55. 2617–2626.
- Bhadury, P., Austen, M., Bilton, D., Lambshead, J., Rogers, A. y Smerdon, G. 2008. Evaluation of combined morphological and molecular techniques for marine nematode (*Terschellingia* spp.) identification. Marine Biology 154, 509-518.
- Biancalana F, M.S. Barría de Cao y M.S. Hoffmeyer. 2007. Micro and mesozooplankton composition during winter in Ushuaia and Golondrina Bays (Beagle Channel, Argentina). Brazilian Journal of Oceanography 55(2): 8
- Bianchi T, Lambert C y Biggs D. 1995. Distribution of chlorophyll a and phaeopigments in the northwestern Gulf of Mexico. A comparison between fluorometric and high

- performance liquid chromatography measurements. Bull. Mar. Sci. Vol 56 No 1: 25-32.
- Bjornberg, T.K.S. 1981. Copépoda. En: Atlas del zooplancton del Atlántico sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino. Publicación Especial del INIDEP. Mar del Plata, Argentina. 586-679.
- Blake, J.A., B. Hilbig and P.H. Scott. 1997. Taxonomic Atlas of the Benthic Fauna of the Santa Maria Basin and Western Santa Barbara Channel: vol. 4, The Annelida Part 2, Oligochaeta and Polychaeta: Phyllodocida (Phyllodocidae to Paralacydoniidae). Santa Barbara, California. 369 p.
- Boehlert, G.W. y B.C. Mundy. 1993. Ichthyoplankton assemblages at seamounts and oceanic islands. Bulletin of Marine Science 53 (2): 336-361.
- Boehlert, G.W. y B.C. Mundy. 1994. Vertical and onshore-offshore distributional patterns of tuna larvae in relation to physical habitat features. Mar Ecol Prog Ser 107: 1-13.
- Boltovskoy, D. 1981. El Atlántico Sudoccidental. En: Atlas del zooplancton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino. Mar del Plata. Publicación especial del INIDEP. 219-254.
- Boltovskoy, D. 1999 South Atlantic zooplankton, volume 1-2. Backhuys Publishers, Leiden. 321.
- Böttger-Schnack R. y D. Schnack. 1989. Vertical distribution and population structure of Macrosetella gracilis (Copepoda: Harpacticoida) in the Red Sea in relation to the occurrence of Oscillatoria (Trichodesmium) spp. (Cyanobacteria). Marine Ecology Progress Series, 52(1): 17-31.
- Boxshall, G. y S. Hasley. 2004. An introduction to copepod diversity. The Ray Society. 966.
- Brandt, A., A.J. Gooday, S.N. Brandão, S. Brix, W. Brokeland, T. Cedhagen, M. Choudhury, N. Cornelius, B. Danis, I. De Mesel, R.J. Diaz, D.C. Gillan, B. Ebbe, J.A. HoweJanussen, D., Kaiser, S. Linse, K. Malyutina, M. Pawłowski, J. Raupach, M.A. Vanreusel. 2007. First insights into the biodiversity and biogeography of the Southern Ocean deep-sea. Nature 447:307-311.
- Brandt, A., Brokelanda, W., Brix, S. y Malyutina, M. 2004. Diversity of Southern Ocean deep-sea Isopoda (Crustacea, Malacostraca) — a comparison with shelf data. Deep-Sea Research II, 51:1753-1768.
- Brandt, A., I. Frutos, S. Bober, S. Brix, N. Brenke, T. Guggolz, N. Heitland, M. Malyutina, U. Minzlaff, T. Riehr, E. Schwabe, C. Zinkann, y K. Linse. 2017. Composition of abyssal macrofauna along the Vema Fracture Zone and the hadal Puerto Rico Trench, northern tropical Atlantic. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography In Press.

- Bratkovich, A. 1988. The use of planktonic organism distribution as an indicator of physical variability in marine environments. In: Soule, D. and Kleppel, G. (Eds,) Marine Organisms as Indicators. Springer-Verlang. New York. 13 – 34.
- Brix, S. y Bruce, N. 2008. Prochelator tupuhi sp. nov., the first record of Desmosomatidae Sars, 1897 (Crustacea: Isopoda) from New Zealand waters. Zootaxa 1866: 482–492.
- Brophy, J.T., S. Murphy y E. Rogan. 2009. The Diet and Feeding Ecology of the Short-Beaked Common Dolphin (*Delphinus delphis*) in the Northeast Atlantic. IWCS scientific Committee Document SC/61/SM14. Cambridge: International Whaling Committee.
- Brusca R. C. y G. J. Brusca. 2005. Invertebrados. 2da edición. McGraw Hill / Interamericana de España, S. A. 1005 p.
- Brusca, R.C. and G.J. Brusca. 2005. Invertebrados, 2<sup>a</sup> edición. McGraw-Hill-Interamericana, Madrid (etc.), XXVI+1005 pp. ISBN 0-87893-097-3.
- Brusca, R.C. y G.J. Brusca 2003. Invertebrates. 2nd edition. Sinauer Ass. Sunderland, Massachusetts. 936 p.
- Bulit G., C. E. Girón Botello, N. Sánchez S. y M. Signoret P., 1989. Producción primaria fitoplanctónica en la laguna de Tampamachoco en un ciclo anual. Reporte del proyecto Estudios Hidrobiológicos en la región estuarino-lagunar de Túxpam-Tampamachoco, Veracruz y zona Noroccidental del Golfo de México. CONACYT – UAM-I. Distrito Federal. 200 p.
- Burkhill P., R. Mantoura, C. Llewellyn y N. Owens. 1987. Microzooplankton grazing and selectivity of phytoplankton in coastal waters. Marine Biology 93: 581-590.
- Cairns, D. K. 1988. Seabirds as indicators of marine food supplies. Biological Oceanography, 5: 261–271.
- Campos, E.M. 2007. Fitoplancton de las islas de Providencia y Santa Catalina, Caribe colombiano. Trabajo de grado Biología Marina de la Universidad Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta. 77 p.
- Cárdenas, A., D. Yépes, E. Montoya, L. Tavera, M. A. Mutis, M. Garrido y Y. Contreras. 2017. Línea base ambiental de los bloques COL1 y COL2 en la cuenca sedimentaria del Caribe colombiano. Informe Técnico Final. Temática 1. 329 P.P. En: Vides M. y D. Alonso. (Eds.). 2016. Levantamiento de información ambiental de sistemas marinos y costeros sobre el Caribe colombiano Fase II. Convenio 167 ANH-INVEMAR. Informe técnico final. INVEMAR, Santa Marta. 603 p.
- Cárdenas, A., E. Gutiérrez, S., J. Villamizar, N. y Alonso, C., D. 2013. Diagnóstico de los recursos hidrobiológicos asociados a los ecosistemas marinos costeros e insulares de Colombia. Informe final, Convenio MADS – INVEMAR, Santa Marta. 135 p.
- Cass, C.J. 2011. A comparative study of eucalanoid copepods residing in different oxygen environments in the Eastern Tropical North Pacific: An emphasis on

physiology and biochemistry. Tesis Doctor de Filosofía (Ph.D.). University of South Florida. 166 p.

Castellanos, I. y E. Suárez-Morales. 1997. Observaciones sobre el zooplancton de la zona arrecifal de Mahahual, Quintana Roo (Mar Caribe). Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología 68(2): 237-252.

Castro Aguirre, J.L. 1987. Estudios hidrobiológicos del sistema estuarino-lagunar Tuxpan-Tampamachoco, Veracruz, Zona Noroccidental del GM. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) (Ed) Distrito Federal. 227 p.

Castro, C. 2003. Cambios en la distribución y estructura de las unidades ecológicas de la Bahía de Santa Marta, Caribe colombiano, ocurridos durante las últimas décadas. Trabajo de grado Biología Marina. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. 122 p.

Ceballos, C. 2004. Distribución de playas de anidación y áreas de alimentación de tortugas marinas y sus amenazas en el Caribe colombiano. Boletín de Investigaciones Marino Costeras, 33: 79-99.

Changsheng C., D.A. Wiesenburg y L. Xie. 1997. Influences of river discharge on biological production in the inner shelf: A coupled biological and physical model of the Louisiana-Texas Shelf. Journal of Marine Research, 55: 293-320.

Ciechomski, J. 1981. Ictioplancton. En: Atlas del zooplankton del Atlántico sudoccidental y métodos de trabajo con zooplancton marino. p. 829-861. Boltovskoy, D. (Ed.). Mar de Plata, Argentina.

Clark R., B. 1997. Marine Pollution 4th ed. Clarendon Press. Oxford, RU. 215 p.

Clarke, K. y R. Warwick, 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. Plymouth Marine Laboratory. United Kingdom.

Clarke, K.R. y R.M. Warwick. 1994. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. Natural Environment Research Council. UK. 141 p.

Corbisier, T. 1993. Meiofauna da plataforma continental interna do litoral norte de São Paulo-verão/89. Publicação Especial do Instituto Oceanográfico, 10, 123-135.

Cosson-Sarradin, N., M. Sibuet, G.L.J. Paterson and A. Vangriesheim. 1998. Polychaete diversity at tropical Atlantic deep-sea sites: environmental effects. Mar. Ecol. Prog. Ser., 165: 173-185.

Coull, B., y Chandler, G. 1992. Pollution and meiofauna: field, laboratory, and mesocosms studies. Oceanography and Marine Biology an Annual Review. Vol. 30, p. 191-271.

Creer, S., Fonseca, C., Porazinska, D., Giblin-Davis, R., Sung, W., Power, D., Packer, S., Carvalho, D., Blaxte, M., Lambshead, P. y Thomas, W. 2010. Ultrasequencing of the meiofaunal biosphere: practice, pitfalls, and promises. Mol.r Ecol. 19: 4-20.

- Cullen, J. y S. Horrigan. 1981. Effects of nitrate on the diurnal vertical migration, carbon to nitrogen ratio, and the photosynthetic capacity of the dinoflagellate *Gymnodinium splendens*. *Marine Biology*, 62: 81-89.
- Cupp, E. 1943. Marine plankton diatoms of the west coast of North America. *Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography of the University of California* 5: 1.
- Cutler, E.B. 1994. The Sipuncula: their systematics, biology, and evolution. Cornell University Press. New York. 453 p.
- Daly K.L. y W.O. Smith, Jr. 1993. Physical-biological interactions influencing marine plankton production. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 24: 555-585.
- Danovaro, R., C. Gambi, N. Lampadariou and A. Tselepidis. 2008. Deep-sea nematode biodiversity in the Mediterranean basin: testing for longitudinal, bathymetric and energetic gradients. *Ecography* 31(2):231-244.
- Danovaro, R., M. Canals, C. Gambi, S. Heussner, N. Lampadariou, and A. Vanreusel. 2009. Exploring benthic biodiversity patterns and hotspots on European margin slopes. *Oceanography* 22(1):16-25.
- Davison, P.C., J.A. Koslow y J. Kloser, 2015. Acoustic biomass estimation of mesopelagic fish: backscattering from individuals, populations, and communities. *ICESJ. Mar. Sci.* 72,1413–1424.doi:10.1093/icesjms/fsv023.
- Dawes, C. 1986. Botánica marina. Limusa. México. 672 p.
- De Jonge, V. N. y Bowman, L. A. 1977. A Simple Density Separation Technique For Quantitative Isolation Of Meiobenthos Using The Colloidal Silcia Ludox-Tm. En: Higgins, Robert, Y Thiel, Hjalmar. *Introduction To The Study Of Meiofauna*. Smithsonian Institution Press. Washington, D.C. London, 1988. 488 p.
- De Ley, P. y M. Blaxter. 2002. Systematic Position and Phylogeny, The biology of Nematodes, London; New York: Taylor and Francis, 1-30.
- DeWitt, F.A. y G.M. Cailliet. 1972. Feeding habits of two bristlemouth fishes, Cyclothona acclinidens and C. signata (Gonostomatidae). *Copeia* 4: 868-871.
- Dicks B. 1999. The Environmental Impact of Marine Oil Spills. Effects, Recovery and Compensation. International seminar on Tanker Safety, Pollution prevention, Spill Response and Compensation. río de Janeiro. 1 – 8 p.
- Eckert, K., K. Bjorndal, F. Abreugrobois y M. Donnelly (Ed.). 2000 (Traducción al español). Técnicas de investigación y manejo para la conservación de las tortugas marinas. Grupo Especialista en Tortugas Marinas UICN/CSE Publicación No. 4. 245p.
- Edler, L. y M. Elbrächter. 2010. The Utermöhl method for quantitative phytoplankton analysis. P. 13-20. En: Karlson, B., C, Cusack y E, Bresnan (Eds.). Microscopic and molecular methods for quantitative phytoplankton analysis. UNESCO, Paris. 110 p.

- Eleftheriou, A. y D. C. Moore. 2005. Macrofauna techniques. 160-209. En: Eleftheriou, A. y A. McIntyre (Eds.). Methods for the study of marine benthos. Tercera edición, Blackwell Science Ltd., Oxford. 418 p.
- Ellison, R.L. 1984. Foraminifera and Meiofauna on an Inertidal Mudflat, Cornwall, England: Populations Respiration and Secondary Production; and Energy Budget. *Hydrobiologica*, 109: 131 – 148.
- Emery, W.J. y J. Meincke. 1986. Global water masses-summary and review. *Oceanologica Acta*, 9(4): 383-391.
- Ercilla, G., B. Alonso, F. Estrada, F. L. Chiocci, J. Baraza y M. Farran M. 2002. The Magdalena turbidite system (Caribbean Sea): present-day morphology and architecture model. *Marine Geology* 185. 303-318 p.
- Escobar-Briones, E., Diaz, C. y Legendre, P. 2008. Meiofaunal community structure of the deep-sea Gulf of Mexico: Variability due to the sorting methods. *Deep-Sea Research II* 55. Pp. 2627 – 2633.
- Escobar-Briones, E., Lopez, M., Soto, L. A. y Signoret, M. 1997. Densidad y biomasa de la meiofauna del Talud continental superior en dos regiones del Golfo de México. *Ciencias Marinas*. 23(4): 463-489.
- Estela, F. A., M. López-Victoria, L. F. Castillo y L. G. Naranjo. 2010. Estado del conocimiento sobre aves marinas en Colombia, después de 110 años de investigación. *Boletín SAO*, 20: 2-21.
- Estrada, F., G. Ercilla Zárraga, y B. Alonso Martínez. 2008. Cuantificación de canales submarinos sinuosos: dinámica sedimentaria y arquitectura. *Geotemas*. VII Congreso Geológico de España -Madrid. Sociedad Geológica de España. 520-522 p.
- Etter, R.J., and L.S. Mullineaux. 2001. Deep-sea communities. *Marine Community Ecology*. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, 367-393 p.
- Fadeeva, N., V. Mordukhovich and J. Zograf. 2015. New deep-sea large free-living nematodes from macrobenthos in the Kuril-Kamchatka Trench (North-Western Pacific). *Deep-sea Research II* 111:95-103.
- Fahay, M. 2007. Early Stages of Fishes in the Western North Atlantic Ocean (Davis Strait, southern Greenland and Flemish Cap to Cape Hatteras) Volume I y II. Northwestern Atlantic Fisheries Organization, Dartmouth, Nova Scotia. 1696 p.
- Fauchald, K. 1977. The polychaete worms. Definitions and keys to the orders, families and genera. Natural History Museum of Los Angeles county, Science series 28:1-188.
- Fauchald, K. and G. Rouse. 1997. Polychaete systematics: past and present. *Zoologica Scripta*, 26(2), 71-138.
- Fauchald, K. y P. A. Jumars. 1979. The diet of worms: a study of polychaete feeding guilds. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 17:193-284, Allan Hancock Foundation,

University of Southern California, Los Angeles, CA and Department of Oceanography, University of Washington, Seattle, WA.

Fenchel, T. 1988. Marine plankton food chains. Annual Review of Ecology Evolution and Systematics, 19: 19-38.

Fernández-Álamo, M. A y J. Färber-Lorda. 2006. Zooplankton and the oceanography of the eastern tropical Pacific: A review. Prog. Oceanogr. 69: 318-359.

Fernández-Puelles, M., I. Jansá, C. Gomis, D. Gras y B. Amengual. 1997. Variación anual de las principales variables oceanográficas y planctónicas en una estación nerítica del Mar Balear. Boletín del Instituto Español de Oceanografía 13(1/2): 13-33.

Fiorini, F. 2015. Recent benthic foraminifera from the Caribbean continental slope and shelf off west of Colombia. Journal of South American Earth Sciences, 60: 117-128.

Fiuman, L.A. 2002. Special considerations of fish eggs and larvae. Chapter 1. In: Fiuman, L.A. y R.G. Werner (Eds). Fishery Science. The unique contributions of early life stages. Blackwell Science Ltd., New York, pp. 1-32.

Flores-Coto, C. y J.N Álvarez Cadena, 1980. Estudios preliminares de distribución y abundancia del ictioplancton en la Laguna de Términos, Campeche Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología 7 (2): 67-78.

Flores-Coto, C. y U. Ordóñez-López. 1989. Larval distribution and abundance of Myctophidae, Gonostomatidae, and Sternopychidae from the southern Gulf of México. pp. 55-64. In: R. D. Hoyt (ed.). Larval fish recruitment and research in the Americas. Proceedings of the thirteenth annual fish conference; 21-26 May 1989, Mérida, México. NOAA Technical Report NMFS 95.

Fonseca-Genevois y Lucena, A. 1990. Enfoques demográficos e ecológicos de Turbellaria meiofaunísticos na plataforma continental do N/NE do Brasil. Biológica brasílica, 2 (1): 39-60.

Franco-Herrera, A., L. Castro y P. Tigreros. 2006. Plankton dynamics in the South-Central Caribbean Sea: Strong seasonal changes in a coastal tropical system. Caribbean Journal of Science. 42 (1): 24-38.

Frankel, A.S. 2009. Sound Production, in: Thewissen, W.F.P.W.G.M. (Ed.), Encyclopedia of Marine Mammals (Second Edition). Academic Press, London, pp. 1056-1071.

Fuentes-Reinés, J.M. y Gómez, S. 2014. A new species of Schizopera (Copepoda: Harpacticoida: Miraciidae) from Colombia. Rev. MVZ Córdoba 19(3): 4199-4213. ISSN: 0122-0268

Gage, J.D., and P.A. Tyler. 1991. Deep-sea biology: a natural history of organisms at the deep-sea floor. Cambridge University Press.

Gambi, C., A. Vanreusel and R. Danovaro, 2003. Biodiversity of the nematode assemblages from deep-sea sediments of the Atacama Slope and Trench (South Pacific Ocean). Deep-sea Research 50:103-117.

- Garay, J., F. Castillo, C. Andrade, J. Aguilera, L. Nino, M. De La Pava, W. Lopez, y G. Márquez. 1988. Estudio oceanográfico del área insular y oceánica del Caribe colombiano – Archipiélago de San Andrés y Providencia y cayos vecinos. Bol. Cient. CIOH. No 9.: 3-73 p.
- Garrido-Linares M., Alonso-Carvajal D., Rueda M., Ricaurte C., Polanco A., Cárdenas A., Cedeño C., Montoya E., Escarria E., Dorado F., Gutiérrez J.M., Ayala K., Tavera L., Mutis M.A., Aguilar M.I., Vides-Casado M., Rodríguez O., Yepes-Narváez V., Pizarro J., Valencia F., Rodríguez-Jiménez A., Murcia M., Peña C., Bastidas- Salamanca M., Giraldo, C. 2014b. Informe técnico Final “Línea base ambiental preliminar de los bloques de exploración de hidrocarburos Caribe colombiano: fase COL 4 y COL 5. INVEMAR-ANH, Santa Marta, 284+anexos. p.
- Garrido-Linares, M., D. Alonso-Carvajal, J.M. Gutiérrez-Salcedo, E. Montoya-Cadavid, A. Rodríguez, M. Bastidas, N. Rangel, A. Jiménez, et al., 2014a. Línea base ambiental preliminar del bloque de exploración de hidrocarburos Guajira offshore 3 en el Caribe colombiano. Informe técnico Final. INVEMAR-ANH, Santa Marta, 342 p. +Adjuntos + Anexos
- Gärtner, A., D. Caicedo-Herrera, M. C. Diazgranados, A. Venturotti y F. Trujillo. 2010. Guía de identificación de fauna marina del Caribe y Pacífico Oriental Tropical – cetáceos, sirénidos y tortugas. Bogotá, Colombia: NOAA, Conservación Internacional Colombia y la Fundación Omacha. 126p.
- Gartner, J.V. Jr. 1991. Life histories of three species of lanternfishes (Pisces: Myctophidae) from the eastern Gulf of Mexico. Mar. Biol. 111:21-27.
- Gartner, J.V. Jr. 1993. Patterns of reproduction in the dominant lanternfish species (Pisces: Myctophidae) of the eastern Gulf of Mexico, with a review of reproduction among tropical-subtropical Myctophidae. Bul. Mar. Sci. 52(2): 721-750.
- Gasca R. y E. Suárez. 1996. Introducción al estudio del zooplancton marino, 711 pp. El colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Chetumal.
- Gasca, R. 2003. Hyperiid Amphipods (Crustacea: Peracarida) and Spring Mesoscale Features in the Gulf of Mexico. Marine Ecology 4, Vol 24. 303-317.
- Gasca, R., E. Suárez-Morales y L. Vásquez-Yoemans 1994. Estudio comparativo del zooplancton (biomasa y composición) en dos bahías del mar Caribe mexicano. Rev. Biol. Trop. 42: 595-604.
- Gausland, I. 2003. Impact of seismic surveys on marine life. In: SPE International Conference in Health, Safety and the Environment in Oil and Gas Exploration and Production. June 2000, Stavanger, Norway, Society of Petroleum Engineers. 26-28 p.
- Gaviria, S. y N. Aranguren. 2003. Guía de laboratorio para identificación de cladóceros (Anopoda y Ctenopoda) y copépodos (Calanoida y Cyclopoida). Curso: técnicas de determinación taxonómica de cladóceros y copépodos limnéticos de Colombia

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Escuela de Biología. Tunja, Colombia 22 p.

- Giere, O. 2009. Meiobenthology: The Microscopic Motile Fauna of Aquatic Sediments. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2<sup>nd</sup> Edition. 538 p.
- Gobin, J. 2007. Free-living marine nematodes of hard bottom substrates in Trinidad and Tobago, West Indies. Bulletin of Marine Science 81(1): 73-84.
- Gon, O. 1990. Gonostomatidae. In: O. Gon and P.C. Heemstra (eds), Fishes of the Southern Ocean, pp. 116-122. J.L.B. Smith Institute of Ichthyology, Grahamstown, South Africa.
- Gonzalez-Cueto, J., S. Quiroga, and J. Norenburg. 2014. A shore-based preliminary survey of marine ribbon worms (Nemertea) from the Caribbean coast of Colombia. ZooKeys 439: 83–108.
- Gooday, A., D. Pond and S. Bowser. 2002. Ecology and nutrition of the large agglutinated foraminiferan *Bathysiphon capillare* in the bathyal NE Atlantic: distribution within the sediment profile and lipid biomarker composition. Mar. Ecol. Prog. Ser. 245: 69-82.
- Gooday, A.J. 1986. Meiofaunal Foraminiferans from the bathyal porcupine Seabight (Northeast Atlantic): Size, structure, standing stock, taxonomic composition, species diversity and vertical distribution in the sediment. Deep Sea Research, 33: 1345-1373. En: Higgins, R. y Thiel, H. Introduction to the Study of Meiofauna. Smithsonian Institution Press. Washington, D.C. London, 1988. Pp. 11-123.
- Gooday, A.J., J.M. Bernhard, L.A. Levin and S. Suhr 2000. Foraminifera in the Arabian Sea oxygen minimum zone and other oxygen-deficient settings: taxonomic composition, diversity, and relation to metazoan faunas. Deep-Sea Research II 47 (1-2): 25-54.
- Gophen M. y R. Harris. 1981. Visual predation by a marine cyclopoid copepod, *Corycaeus anglicus*. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 61(02): 391-399.
- Grassle, J.F. and N.J. Maciolek. 1992. Deep-sea species richness: regional and local diversity estimates from quantitative bottom samples. The American Naturalist, 139(2):313-341.
- Grassle, J.F. and N.J. Maciolek. 1992. Deep-sea species richness: regional and local diversity estimates from quantitative bottom samples. Amer. Nat., 139(2): 313-341.
- Gray, J.S. 1980. Why do ecological monitoring? En: Mar. Pollut. Bull. Vol. 11, p 62-65.
- Guerra-García, J.M., M. Ros and J.A. Sánchez. 2009. Isopods, tanaids and cumaceans (Crustacea, Peracarida) associated to the seaweed *Stylocaulon scoparium* in the Iberian Peninsula. Zool. baetica, 20: 35-48. McLachan, A. and A.C. Brown. 2006. The ecology of sandy shores. Second edition. 351 p.

- Gutiérrez-Salcedo, J.M. 2011. Estructura vertical del zooplancton oceánico del mar Caribe colombiano. Trabajo de M. Sc. Ciencias Biología. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 124 p.
- Guzman Alvis, A., Ardila, N.E., Gracia, A. 2005. Estado de los ecosistemas marinos y costeros (Estados de los fondos blandos en Colombia). P 215-223. En: INVEMAR. 2005. Informe del Estado de los Ambientes Marinos y Costeros en Colombia, No. 8. 360p.
- Guzmán-Alvis, A. y J. M. Díaz. 1993. Distribución espacial de la taxocenosis Annelida-Mollusca en la plataforma continental del golfo de Salamanca, Caribe colombiano. An. Inst. Invest. Mar. Punta Betín, 22 (1): 45-59.
- Guzmán-Alvis, A., y O. D. Solano. 1997. Estructura de la taxocenosis Annelida-Molusca en la región de Mingueo, Guajira (Caribe colombiano). Bol. Inst. Inv. Mar. y Cost., 26: 35-52.
- Halpern, B., S. Walbridge, K. Selkoe, C. Kappel, M. Fiorenza, C. D'agrosa, J. Bruno, K. Casey, C. Ebert y H. Fox. 2008. A global map of human impact on marine ecosystems. Science, 319: 948-952.
- Hays, G. 2003. A review of the adaptive significance and ecosystem consequences of zooplankton diel vertical migrations. Hydrobiologia 503, 163-170. doi: 10.1023/B:HYDR.0000008476. 23617.b0
- Heino, M., Porteiro, F. M., Sutton. T. T., Falkenhaug, T., Godø, O. R., and Piatkowski, U. 2011. Catch ability of pelagic trawls for sampling deep-living nekton in the mid-North Atlantic. ICESJ. Mar. Sci. 68,377-389.doi:10.1093/icesjms/fsq089
- Heip, C., Vincx, M., Smol, N. y Vranken, G. Helminthological Abstracts, Series B, Plant Nematology 51(1):1-12.
- Hendrickx, M.E. y Fiers, F. 2010. Copépodos Harpacticoida asociados con crustáceos decápodos. Cienc Mar; 14: 3-30.
- Hernández-Becerril, D.U. 2003. Diversidad del fitoplancton marino de México. Un acercamiento actual. Cap. 1. En: Planctonología mexicana. Barreiro-Güemes M.T., M.E. Meave del Castillo, M. Signoret-Poillon y M.G. Figueroa-Torres (eds.). Sociedad Mexicana de Planctonología, A. C. México, 1-18.
- Hernández-Guerra, A. y T.M. Joyce. 2000. Water masses and circulation in the surface layers of the Caribbean at 66°W. Geophysical Research Letters, 27(21): 3497-3500.
- Hickman, C. y Roberts, L. 2002. Animal Diversity. McGraw Hill, 457 p.
- Hidaka, K., Kawaguchi, K., Murakami, M. y Takahashi, M. 2001. Downward transport of organic carbon by diel migratory microneuston in the western equatorial Pacific: its quantitative and qualitative importance. Deep Sea Res. Oceanogr. Res. Papers 48, 1923-1939.doi:10.1016/S0967-0637 (01)00003-6

- Higgins, R. y Thiel, H. *Introduction to the Study of Meiofauna*. Smithsonian Institution Press. Washington, D.C. London, 1988. Pp. 11-123.
- Hopcroft, R.R., J.C. Roff y D. Lombard. 1998. Production of tropical copepods in Kingston Harbour, Jamaica: the importance of small species. *Marine Biology*, 130: 593-604.
- Houde, E.D. y N., Chitty. 1976. Seasonal abundance and distribution of zooplankton, fish eggs and fish larvae in the Eastern Gulf of Mexico, 1972 – 74. NOAA. Technical Report NMFS SSRF – 701. 1 – 18.
- Hudson, J.M., D.K. Steinberg, T.T. Sutton, J. E. Graves y R.J. Latour. 2014. Myctophid feeding ecology and carbón transport along the northern Mid- Atlantic Ridge. *Deep Sea Res. I*. 93,104–116doi: 10.1016/j.dsr.2014.07.002.
- Hulley, P.A. 1990. «Myctophidae». p. 398-467. En J.C. Quero, J.C. Hureau, C. Karrer, A. Post y L. Saldanha (eds.) *Checklist of the fishes of the eastern tropical Atlantic (CLOFETA)*. JNICT, Lisboa; SEI; París; y UNESCO, París. Vol. 1.
- Hulsemann K. 1996. Copepoda. En: Gasca R. y E. Suárez (eds). *Introducción al estudio del zooplancton marino*, pp. 250-294. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Chetumal.
- IAVH – Instituto Alexander von Humboldt. 1998. Colombia biodiversidad del siglo XXI: propuesta técnica para la formulación de un plan de acción nacional en biodiversidad. Santa Fé de Bogotá, Colombia: IavH. 254p.
- INVEMAR-ANH, 2012. Línea base ambiental en el Área de Régimen Común Jamaica - Colombia como aporte al aprovechamiento sostenible de los recursos marinos compartidos. Informe técnico final, Santa Marta. 203 p.
- John, D.M. 1994. Biodiversity and conservation: an algal perspective. *The Phycologist*, 38, 3-15.
- Kaartvedt, S., T. Torgersen, T.A. Klevjer, A. Røstad y J.A. Devine. 2008. Behavior of individual mesopelagic fishin acoustic scattering layers of Norwegian fjords. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 360,201–209.doi:10.3354/meps07364.
- Kardong, K. 2007. *Vertebrados: Anatomía comparada, función y evolución*. España. McGraw-Hill Interamericana de España S.L.
- Kędra, M. y G.V.V. Murina. 2007. The sipunculan fauna of Svalbard. *Polar Res.*, 26: 37-47.
- Keppner, E. 1986. New species of free-living marine nematodes (Nematoda: Enoplida) from Bay County, Florida, U.S.A. *Transactions of the Amercian Microscopical Society* 105(4), 319-37.
- Kinne, O. 1970. *Marine Ecology. A comprehensive integrated treatise on life in oceans and coastal waters. Vols. 1 & 2. Environmental factors*. Willey-Interscience London. 681p.
- Kiørboe T. 2011. How zooplankton feed: mechanisms, traits and trade-offs. *Biological Reviews*, 86(2): 311-339.

- Kiørboe T., A. Andersen, V.J. Langlois, H.H. Jakobsen y T. Bohr. 2009. Mechanisms and feasibility of prey capture in ambush-feeding zooplankton. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(30): 12394-12399.
- Knox, G.A. 1977. The role of polychaetes in benthic soft-bottom communities. In: Reish, D.J. and K. Fauchald (Eds.). *Essays on polychaetous annelids in memory of Dr. Olga Hartman*. Allan Hancock Found. Univ. South Cal. Los Angeles. 604 p.
- Kobyliansky, S., J. Herrera, L. de Sola, y A. Harold. 2015. Cyclothonae acclinidens. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e. T18252612A60790215. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2015-4.RLTS.T18252612A60790215.en>. Downloaded on 27 November 2017.
- Koslow, J.A., R.J. Kloser y A. Williams. 1997. Pelagic biomass and community structure over the mid-continental slope off southeastern Australia based upon acoustic and midwater trawl sampling. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 146, 21-35. doi:10.3354/meps146021
- Kouwenberg, J.H.M. 1994. Copepod distribution in relation to seasonal hydrographics and spatial structure in the Northwestern Mediterranean (Golfe du Lion). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 38: 69-90.
- Krefft, G. 1976. Distribution patterns of oceanic fishes in the Atlantic Ocean. *Revue Travail Institut Péches Maritime* 40(3-4): 439-460.
- Lalli, C.M. y Parsons, T.R. 1997. *Biological Oceanography: an introduction*. Elsevier, Amsterdam. 313p.
- Lambshed, P., J. Tietjen, T. Ferrero and P. Jensen, 2000. Latitudinal diversity gradients in the deep-sea with special reference to North Atlantic nematodes. *Marine Ecology Progress Series* 194:159-167.
- Landry, M., J. Lehner-Fournier y V. Fagerness. 1985. Predatory feeding behavior of the marine cyclopoid copepod *Corycaeus anglicus*. *Marine Biology*, 85(2): 163-169.
- Lasker, R. 1981. The role of a stable ocean in larval fish survival and subsequent recruitment. En: R. Lasker (ed.) *Marine fish larvae: morphology, ecology and relation to fisheries*. Wash. Sea Grant Program, University of Washington Press. 80-88.
- Leal, S., G. Delgado y D. Nodas. 2001. Distribución y abundancia del fitoplancton en un área de la zona nororiental de cuba. *Revista de Investigaciones Marinas*, 23(1): 45-51.
- Leis, J.M. y B.M. Carson-Ewart. 1997. In situ swimming speeds of the late pelagic larvae of some Indo – Pacific coral reef fishes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 159: 165 – 175.
- Lochhead, J.H. 1968. The feeding and swimming of Conchoecia (Crustacea, Ostracoda). *Biological Bulletin*, 134: 456-464.
- Longhurst, A. R. 1985. Relationship between diversity and the vertical structure of the upper ocean. *Deep-Sea Research*, 32: 1535-1570.

- Longhurst, A. R. y Pauly, D. *Ecology of tropical oceans*. San Diego: Academic Press, 1987. 407 p.
- Longhurst, A.R. 1976. Interactions between zooplankton and phytoplankton profiles in the eastern tropical Pacific Ocean. *Deep-Sea Research*, 23: 729-754.
- Longhurst, A.R. 1985. The structure and evolution of plankton communities. *Prog. Oceanogr.*, 15: 1-35.
- Lopes, R. M., Katsuragawa, J. F., Días. M. A., Montú. J. H., Muelbert, C. Gorri y F. P. Brandini. 2006. Zooplankton and Ictiophankton distribution om the southern Brazilian shelf: an overview. *Scientia marina*. 70(2): 189 – 202.
- López, H.L., R.C. Menni; R. Ferriz, J. Ponte - Gómez y M.V. Cuello. 2006. Bibliografía de los peces continentales de la Argentina. ProBiota, FCNyM, UNLP, Serie Técnica y Didáctica, La Plata, Argentina, 9: 1-165. ISSN 1515-9329.
- Lozano – Flores, M. 2004. Análisis ambiental para la exploración de hidrocarburos en España. Universidad Politécnica de Cataluña. Instituto Catala de Tecnología. Exploración mar adentro. 52 pp.
- Lozano-Duque, Y., L.A. Vidaly G.R. Navas. 2010. La comunidad fitoplanctónica en el mar Caribe colombiano. pp 31. En INVEMAR (Eds.). 2010. Biodiversidad del margen continental del Caribe colombiano. Serie de Publicaciones Especiales, Invemar No. 20 4588 p.
- Ludwig, J. A. y Reynolds, J. F. 1988 *Statistical Ecology*. New York: Wiley and Sons. 337 p.
- Luzuriaga M y Elías. 1999. Variación de las poblaciones del zooplancton e ictioplancton en el mar ecuatoriano desde 1994 a 1999. Edición Especial. INP. Guayaquil-Ecuador. 45 p.
- Malakhova, V. 1998. Embryological and Histological Peculiarities of the Order Enoplia, a Primitive Group of Nematodes, *Russian Journal of Nematology* 6, 41–46.
- Manjarres G.A. 1987. Estudio del Ictioplancton y calidad del agua en el área de influencia de la Central Termoeléctrica “Termoguajira”. Informe final. Invemar. Santa Marta. 38 p.
- Marancik, K.E., L.M. Clough y J.A. Hare. 2005. Cross-shelf and seasonal variation in larval fish assemblages on the southeast United States continental shelf off the coast of Georgia. *Fishery Bulletin* 103: 108–129.
- Marcelino, M. Caracterización de la meiofauna del océano profundo del golfo de México. 2013. Trabajo de Grado Maestro en Ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), Programa de Posgrado en Ciencias en Ecología Marina. 118 p.
- Margalef, R. 1969. Counting. p. 7-14. En: Vollenweider, R. A., J. F. Talling y D. F. Westlake (eds.). *A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments including a chapter on bacteria*. London, International Biological Programme, Oxford and Edinburgh, Blackwell Scient. Publ. (IBP Handbk 12.).

- Margalef, R. 1982. Ecología. Ed. Omega. Barcelona. 951 p.
- Margalef, R. 1991. Ecología. Omega. Barcelona. España. 951p.
- Márquez, B., Díaz-Ramos, J., Troccoli, L., Marin, B., y Varela, R. 2009. Densidad, biomasa y composición del zooplancton, en el estrato superficial de la cuenca de Cariaco, Venezuela. Revista de biología marina y oceanografía. 44(3).
- Marshall, H. 1973. Phytoplankton observations in the eastern Caribbean sea. Hydrobiologia, 41(1): 45-55.
- Martí, E., J. Torres-Gavilá, J. Tena, M. Rodilla, A. Sánchez-Arcilla, M. Mestres and C. Mössö. 2007. Temporal changes in mollusk and polychaete communities in the soft bottom of Cullera Bay (Western Mediterranean). Journal of Coastal Research, 76-83.
- Matsuura Y. y M.P. Olivar. 1999. Fish larvae En: D. Boltovskoy (ed). South Atlantic Zooplankton. Backhuys Publishers, Leiden, pp. 1445 – 1496.
- Mcmullan, M., T. DONEGAN, A. QUEVEDO, T. ELLERY y A. BARTELS. 2014. Field guide to the birds of Colombia. Fundación Proaves, Bogotá D.C. Colombia. 370 pp.
- Medellín-Mora, J. y G. Navas. 2010. Listado taxonómico de copépodos (arthropoda: crustacea) del mar Caribe colombiano. Santa Marta, Colombia. Bol. Invest. Mar. Cost. 39 (2), 265-306.
- Medellín-Mora, J., N. Campos, A. Franco-Herrera y J. Jaimes. 2009. Taxonomía de larvas zoea de crustáceos decápodos del área nororiental del mar Caribe colombiano. Santa Marta, Colombia. Bol. Invest. Mar. Cost. 38 (2), 55-73.
- Michael, H. B. y Foyo, M. 1976. Caribbean Zooplankton Part 1. Siphonophora. Heteropoda. Copepoda. Euphausiacea, Chaetognatha and Salpidae. Office of Naval Research. Departament of the Navy, U.S.A. 549 pp.
- Miranda, C. and C.P. Ruffinatti. 1987. Distribución del foraminífero *Ammonia beccarti* (linné) y su relación con algunos parámetros sedimentológicos en la ciénaga de los Vásquez (Isla Barú, Colombia). In Anuales Del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta de Betín, Vol. 17, p. 49.
- Miya, M. y T. Nemoto. 1985. Reproduction and ecology. Reproduction, growth and vertical distribution of the mesopelagic fish Cyclothon pseudopallida (family Gonostomatidae). In: Uyeno, T., R. Arai, T. Taniuchi y K. Matsuura (Eds.). Indo-Pacific Fish Biology. Proceedings of the Second International Conference on Indo-Pacific Fishes. The Ichthyological Society of Japan, Tokyo, I-XII: 830-837.
- Mokievsky, V. O., Udalov, A. A., y Azovsky, A. I. (2004). On the quantitative distribution of meiobenthos on the shelf of the World Ocean. Oceanology 44(1), 99-109.
- Morales A. y M. Murillo. 1996. Distribution, abundance and composition of coral reef zooplankton, Cahuita National Park, Limón, Costa Rica. Revista de Biología Tropical 44(2): 619-630.

- Moreno, M.P., Semprucci, F., Vezzulli, L., Balsamo, M., Fabiano, M. y Albertelli, G. The use of nematodes in assessing ecological quality status in the Mediterranean coastal ecosystems. *Ecological Indicators*. 2011. Vol. 11, Pp. 328-336.
- Morris, K., Bett, B., Durden, J., Benoist, N., Huvenne, V., Jones, D., Robert, K., Ichino, M., Wolff, G., Ruhl, H., 2016. Landscape-scale spatial heterogeneity in phytodetrital cover and megafauna biomass in the abyss links to modest topographic variation. *Scient. Rep.* 6, 34080.
- Moser, H.G. 1996. The early stages of Fishes in the California Current Region. *Cal. Coop Ocean. Fish. Inv. Atlas*. 1441 pp.
- Mujica, A. 2006. Larvas de crustáceos decápodos y crustáceos holoplanctónicos en torno a la Isla de Pascua. *Ciencias y Tecnologías del Mar*. No. 29. p. 123-135.
- Nachtigall, P., R. Pittenger, M. Purdy, P. Tyack, P. Worcester, D. Costa, G. D'spain, D. Ketten and J. Orcutt, John. 2006. Scientific Research Caucus Statement for The Report of the Advisory Committee on Acoustic Impacts on Marine Mammals to the Marine Mammal Commission. 17p.
- Nachtigall, Paul., Pittenger, Richard., Purdy, Michael., Tyack, Peter., Worcester, Peter., Costa, Daniel., D'spain, Gerald., Ketten, Darlene., Orcutt, John. 2006. Scientific Research Caucus Statement for The Report of the Advisory Committee on Acoustic Impacts on Marine Mammals to the Marine Mammal Commission. 17p.
- Naranjo, Luis, G., Amaya, Juan, D. Eusse-González, Diana y Y. Cifuentes-Sarmiento. 2012. Guía de las especies migratorias de la biodiversidad en Colombia. Aves. Bogotá D. C., Colombia: Ministerio del medio Ambiente y Desarrollo Sostenible y WWF Colombia, Vol. 1, 710 p. ISBN: 978-958-8353-11-1.
- Nishida, S. 1985. Taxonomy and distribution of the Family Oithonidae (Copepoda, Cyclopoida) in the Pacific and Indian Ocean. *Bull. Ocean Res. Inst., Univ. of Tokyo*, Tokyo, Japon. 20: 1-167.
- Orejarena J, Domínguez J, Ricaurte C, Mayo G, Andrade A, Ospina H y Castro W. 2004. Variaciones de la concentración de la clorofila a y su relación con los parámetros físicos medidos en los Bancos de Salmedina durante 2003 2004, Caribe colombiano. *Bol. Cient. CIOH* No 22. 56-63.
- Owre H. y M. Foyo. 1964. Report on a collection of Copepoda from the Caribbean Sea. *Bulletin of Marine Science* 14(2): 359-372.
- Paffenhöfer G.A. 1993. On the ecology of marine cyclopoid copepods (Crustacea, Copepoda). *Journal of Plankton Research*, 15(1): 37-55.
- Paffenhöfer G.A. 1998. On the relation of structure, perception and activity in marine planktonic copepods. *Journal of Marine Systems*, 15(1): 457-473.
- Paffenhöfer G.A. y M. Mazzocchi. 2002. On some aspects of the behaviour of *Oithona plumifera* (Copepoda: Cyclopoida). *Journal of Plankton Research*, 24(2): 129-135.

- Paffenhöfer G.A. y S.C. Knowles. 1980. Omnivorousness in marine planktonic copepods. *Journal of Plankton Research*, 2(4): 355-365.
- Paffenhöfer, G.A. y M.G. Mazzocchi. 2003. Vertical distribution of subtropical epiplanktonic copepods. *Journal of Plankton Research*, 25(9): 1139-1156.
- Pardo M. and Palacios D. 2006. Cetacean occurrence in the Santa Marta region, Colombian caribbean, 2004-2005. *LAJAM* 5 (2): 129-134 pp.
- Parsons, T. M. Takahashi y B. Hargrave. 1984. Biological oceanographic Processes. (3rd.Edition). Oxford. Pergamon Press. 332 p.
- Paxton, J.R., 1979. Nominal genera and species of lanternfishes (Family Myctophidae). *Contrib. Sci. Natur. Hist. Mus. Los Angeles County*, 322:1-28.
- Pearson, T.H. and R. Rosenberg. 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 16: 229-311.
- Pemex. 2002. Evaluación del Riesgo Ecológico e Impacto de las Operaciones Industriales (Análisis general). Exploración y producción. PEMEX. México. 257 pp. [www.pemex.org.mx](http://www.pemex.org.mx).
- Peñuela, M. 2000. Análisis cuantitativo y cualitativo del zooplancton superficial de la Cuenca de Cariaco, Venezuela. Tesis de Biología, Departamento de Biología, Escuela de Ciencias, Universidad de Oriente, Cumaná, 100 p.
- Perri, W., B. Würsig y J. Thewissen. 2009. Encyclopedia of marine mammals. Academic Press, San Diego. 1355 p.
- Petato, A. y Tiago. C. 2003. A new species of Agauopsis (Halacaridae, Acari) from Brazil. *Cahiers de Biologie Marin*, 44: 369-373.
- Pineda, V. 2009. Granulometría y geoquímica de los sedimentos marinos en el área comprendida entre el seno Reloncaví y Golfo Corcovado, Chile. Crucero CIMAR 10 FIORDOS. Cienc. Tecnol. Mar, 32(1): 27-47.
- Pinel-Alloul, B. 1995. Spatial heterogeneity as a multiscale characteristics of zooplankton community, *Hydrobiologia* 300/301:17-42.
- Platt H, Shaw, K. y Lamshead, P. 1984. Nematode species abundance patterns and their use in the detection of environmental perturbations. *Hydrobiologia* 118, 59-66.
- PNAAPD – Programa Nacional de Aprovechamiento del Atún y de Protección de Delfines. (2008). Participación del FIDEMAR en otros programas de observador en México. *El Vigía a bordo* 13: 14-15.
- Pohle, G. y Thomas, T. 2001. Marine biodiversity monitoring. Monitoring protocol for marine bentos: intertidal and subtidal macrofauna. New Brunswick, Canadá: Huntsman Marine Science Center, 2001. 28 p.
- Potier, M., F. Marsac, Y. Cherel, V. Lucas, R. Sabatie, O. Maury. 2007. Forage fauna in the diet of three large pelagic fishes (lancetfish, swordfish and yellowfin tuna) in the

western equatorial. Indian Ocean Fisher. Res. 83,60–72. doi:  
10.1016/j.fishres.2006.08.020

Pujos M., J. Pagliardin, R. Steer, G. Vernette y O. Weber. 1986. Influencia de la contracorriente nortecolombiana para la circulación de las aguas profundas en la plataforma continental: su acción sobre la dispersión de los efluentes en suspensión del río Magdalena. *Boletín Científico CIOH*, 6: 3- 15.

Purves, W. K., H.O. Gordon, H. C. Heller y Sadava. 1998. Life, the science of biology. Fifth edition. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, USA. 1246 pp.

Quiroz-Ruiz, M.M., y M.H. Londoño-Mesa. 2015. Sipúnculos (Sipuncula) del Gran Caribe: Lista de especies y bibliografía. Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR, 44(2): 327-342.

Ramirez, A. 1999. Ecología aplicada: diseño y análisis estadístico. Bogota. Universidad Jorge Tadeo Lozano. 325 p.

Ranasinghe, A., Schiff, K., Brantley, C., Lovell, L., Cadieu, D., Mikel, T., Velarde, R., Holt, S., Johnson, S. 2012. Southern California Bight 2008 Regional Monitoring Program: VI. Benthic Macrofauna. California U.S. 91 p.

Raymont, J.E. 1983. Plankton and Productivity in the Oceans. 2nd Edition. Volume 2- Zooplankton. 824 pp. Oxford/New York: Pergamon Press.

Razouls C., F. de Bovée, J. Kouwenberg y N. Desreumaux. 2005-2017 - Diversity and Geographic Distribution of Marine Planktonic Copepods. Disponible en <http://copepodes.obs-banyuls.fr/en> (Accedido el 4 de diciembre de 2017).

Read, G. 2016. Polychaeta. Accessed through: World Register of Marine Species at <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=883> on 2017-12-12.

Reddy, L., L. A. Dierauf y F. Gulland. 2001. Marine mammals as sentinels of ocean health. En: Reddy, L., L. A. Dierauf y F. Gulland (Eds). *CRC handbook of marine mammal medicine: health, disease and rehabilitation* (3-13). Boca Ratón: CRC Press.

Reeve M.R. 1975. The ecological significance of the zooplankton in the shallow subtropical waters of South Florida. En: Cronin LE (ed). Estuarine Research. 1. Chemistry, biology, and the estuarine system, pp. 352-371. Academic Press, New York.

Rex, M., Etter, R., Morris, J., Crouse, J., McClain, C., Johnson, N., Stuart, C., Deming, J., Thies, R y Avery, R. 2006. Global bathymetric patterns of standing stock and body size in the deep-sea benthos. mar ecol prog ser. 317: 1-8.

Rex, Michael y Etter, Ron. 2010. Deep-sea biodiversity: pattern and scale. Harvard University Press. 354 p.

Richards, W. 2006. Early Stages of Atlantic Fishes. An Identification Guide for the Western Central North Atlantic. Ed. Taylor y Francis Group. New York. EEUU. 1330 p.

- Roa-Varon, A., L. Saavedra-Díaz, A. Acero, L. Mejía y G. Navas. 2003. Nuevos registros de peces óseos para el Caribe colombiano de los órdenes Beryciformes, Zeiformes, Perciformes y Tetraodontiformes. *Boletín de Investigaciones Marino Costeras*, 32: 3-24.
- Rocha, O. y T. Matsumura, 1976. Atlas do zooplancton (represa do Broa, San Carlos). Vol. 1. Univ. Fed.de Sao Carlos. Centro de ciencias y tecnología. San Carlos. Brasil. 68 p.
- Rodríguez, J. y J. Rubín. 1991. El ictioplancton y la biomasa del zooplancton en aguas del sur de Galicia, en abril 1987. *Boletín del Instituto Español de Oceanografía* 7(2): 115-127.
- Rombouts, I., G. Beaugrand, F. Ibañez, S. Gasparini, S. Chiba y L. Legendre. 2009. Global latitudinal variations in marine copepod diversity and environmental factors. *Proceedings Royal Society B*, 7276(1670): 3053-3062.
- Round, F. 1990. Diatoms: The Biology and Morphology of the Genera. Cambridge University Press. Reino Unido. 747 p.
- Rouse, G. y F. Pleijel. 2001. Polychaetes. Oxford University Press. UK. 354p.
- Sabatés, A., 1990. Changes in the heterogeneity of mesoscale distribution patterns of larval fish associated with a shallow coastal haline front. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 30:131-140.
- Sajan, S., Joydas, T. V., & Damodaran, R. 2009. Meiofauna of the western continental shelf of India, Arabian Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 86(4), 665-674.
- Salas De León, D., A. Monreal-Gómez, L. Sanvicente-Añorve y C. Flores-Coto. 1998. Influence de la circulation à long terme sur la distribution des organismes zooplanctoniques dans la Baie de Campeche, Mexique. *Oceanologica Acta* 21(1): 87-93.
- Sameoto, D., 1984. Environmental factors influencing diurnal distribution of zooplankton and ichthyoplankton. *Journal of Plankton Research*. 6(5): 767 – 992.
- San Vicente-Añorve, L., L.A. Soto, M. De la Luz Espinos, A-Fuentes y C. Flores-Coto. 2006. Relationship patterns between ichthyo-plankton and zooplankton: a conceptual model. *Hydrobiologia* 559: 11–22.
- Sanders, H.L. 1968. Marine benthic diversity: a comparative study. *Amer. Nat.*, 102: 243-282.
- Sanders, H.L. and R.R. Hessler. 1969. Ecology of the deep-sea benthos. *Science*, 163: 1419-1424.
- Sandulli, R., D. Miljutin, L. Angeletti and M. Taviani. 2015. Meiobenthos and nematode assemblages from different deep-sea habitats of the Strait od Sicily (Central Mediterranean Sea). *Mediterranean Marine Science*.

- Sanvicente-Añorve, L., C. Flores-Coto y L. Sánchez-Velasco. 1998. Spatial and seasonal patterns of larval fish assemblages in the southern Gulf of Mexico. 1998. *Bulletin of Marine Science* 62(1):17-30.
- Sazhina L.I. 1973. Growth of mass species of copepod of the Black Sea in laboratory conditions. *Biologia moria*, vip 28, 41-51.
- Scheltema, A.H. 1997. Aplacophoran molluscs: deep-sea analogs to polychaetes. *Bull. Mar. Sci.*, 60(2):575-583.
- Scheltema, A.H. y D.L. Ivanov. 2000. Prochaetodermatidae of the eastern Atlantic ocean and Mediterranean sea (Mollusca: Aplacophora). *Journal of Molluscan Studies*, 66(3): 313-362.
- Schmidt-Rhaesa A. 2014. Gastrotricha, Cycloneuralia and Gnathifera, Vol. 1. Nematomorpha, Priapulida, Kinorhyncha, Loricifera. *Handbook of Zoology* (founded by W. Kükenthal). De Gruyter, Berlin-Boston, 381 p.
- Scotto di Carlo, B., A. Ianora, E. Fresi y J. Hure. 1984. Vertical zonation patterns for Mediterranean copepods from the surface to 3000 m at a fixed station in the Tyrrhenian Sea. *Journal of Plankton Research*, 6(6): 1031-1056.
- Shirayama, Y. and S. Ohta. 1990. Meiofauna in a cold-seep community off Hatsushima, Central Japan. *Journal of the Oceanographical Society of Japan* 46:118-124.
- Singh. R., D. Miltutin, M. Miljutina, P. Martinez, and B. Ingole, 2013. Deep-sea nematode assemblages from a commercially important polymetallic nodule area in the Central Indian Ocean Basin. *Marine Biology Research* 00:1-11.
- Smayda, T.J. 1958. Biogeographical Studies of Marine Phytoplankton. *Oikos*, 9(2): 158-191.
- Smith D., 1977. A. Guide to Marine Coastal Plankton and Marine Invertebrate Larva E Kendall/Hunt Publishing Company, Iowa USA, 161 p.
- Smith, C.R., L.A. Levin and L.S. Mullineaux. 1998. Deep-sea biodiversity: a tribute to Robert R. Hessler. *Deep Sea Res II* 45: 1-11.
- Smith, K.L. y M.B. Laver. 1981. Respiration of the bathypelagic fish Cyclothon acclinidens. *Marin Biology* 61(4): 261-266.
- Smol, N. and A. Coomans. 2006. Order Enoplida. En: E. Abebe, W. Traunspurger, y I. Andrassy (eds.). *Freshwater nematodes: ecology and taxonomy*. Wallingford, UK: CABI Publishing, 225-292.
- Snider, L., Burnet, B., y Hessler, R. 1984. The composition and distribution of meiofauna and nanobiota in a Central orth Pacific Deep Sea Area. *Deep Sea Research*, 31: 1225-1249. En: Higgins, R. y Thiel, H. *Introduction to the Study of Meiofauna*. Smithsonian Institution Press. Washington, D.C. London, 1988. 11-123.
- Soetaert, K. and C. Heip. 1995. Nematode assemblages of the deep-sea and shelf break sites in the North Atlantic and Mediterranean Sea. *Marine Ecology Progress Series* 125(1):171-183.

- Soltwedel, T. 2000. Metazoan meiobenthos along continental margins: a review. *Progress in oceanography*, 46(1), 59-84.
- Somerfield, P. y Warwick, R. 2013. Capítulo 6: Meiofauna techniques. pp. 253-284. En: ELEFTHERIOU, Anastasios. (Ed.). *Methods for the study of marine benthos*. 4th edition. John Wiley & Sons, 2013. 496 p.
- Sørensen M.V. 2013. Phylum Kinorhyncha. *Zootaxa* 3703 (1): 063–066. Doi: 10.11646/zootaxa.3703.1.13
- Southers, I.M. y K.T. Frank. 1991. Comparative persistence of marine fish larvae from pelagic versus demersal eggs off southwestern Nova Scotia, Canada. *Marine Biology* 108: 175–184.
- Stefanoudis, P. V., Bett, B. J., y Gooday, A. J. (2016). Abyssal hills: Influence of topography on benthic foraminiferal assemblages. *Progress in Oceanography*, 148, 44-55.
- Tavera-Martínez, L. and M. Marchant. 2017. Presence of Foraminifera of Superfamily Komokioidea (Order Astrorhizida) in Colombian deep Caribbean waters. *Zootaxa*, 4337(4): 553-562.
- Taylor, L.R. 1961. Aggregation, Variance, And The Mean. *Nature*. 189: 732-735.
- Terazaki, M. 1995. The role of carnivorous zooplankton, particularly chaetognaths in ocean flux. *Biogeochemical Processes and Ocean Flux in the Western Pacific*: 319-330.
- Thiel, M. y J. Norenburg. 2009. Nemertea-Gusanos Cintiformes. Fauna marina bentónica, 369-380.
- Thiel, R. 1983. Meiobenthos and Nanobenthos of the deep sea. 167-230, en GT Rowge, editor, *The Sea*, Vol. 8. En: Higgins, R. y Thiel, H. *Introduction to the Study of Meiofauna*. Smithsonian Institution Press. Washington, D.C. London, 1988. 11-123.
- Tietjen, J. 1984. Distribution and species diversity of deep-sea nematodes in the Venezuela Basin. *Deep-sea Research* 31(2): 119-132.
- Tomas, C. 1997. Identifying marine diatoms and dinoflagellates. Estados Unidos. Academic Press.858 p.
- Trujillo, F., A. Gärtner, D. Caicedo y M. C Diazgranados. 2013. Diagnóstico del estado de conocimiento y conservación de los mamíferos acuáticos en Colombia. Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Fundación Omacha, Conservación Internacional y WWF. 312p.
- Turnewitsch, R., Lahajnar, N., Haeckel, M., Christiansen, B., 2015. An abyssal hill fractionates organic and inorganic matter in deep-sea surface sediments. *Geophys. Res. Lett.* 42, 7663–7672.
- IUCN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). 2017. The IUCN Red List Threatened species [online]. Cambridge, United Kingdom: [cited march, 2016]. Available from Internet: <http://www.iucnredlist.org>.

- Urosa L. 1977. Bibliografía y observaciones sobre el zooplancton del mar Caribe. *Lagena* 39/40: 11-26.
- Urosa L. 1983. Distribución del zooplancton en la cuenca Tuy-Cariaco, área de posible actividad petrolera en Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela* 22(1/2): 125-143.
- Van Haren, H., T.J. Compton. 2013. Diel Vertical Migration in Deep Sea Plankton Is Finely Tuned to Latitudinal and Seasonal Day Length. *PLoS ONE* 8: e64435. doi: 10.1371/journal.pone.0064435.
- Van Tongeren, O., L. Vanliere, R. Gulati, G. Postema y P. Boesewinkel. 1992. Multivariate analysis of the plankton communities in the loosdrecht lakes: relationship with the chemical and physical environment. *Hydrobiologia* 233, 105 – 117.
- Vanreusel, A., G. Fonseca and R. Danovaro, 2010. The contribution of deep-sea macrohabitat heterogeneity to global nematode diversity, *Marine Ecology* 31: 6 – 20.
- Venkataraman, K., C. Raghunathan, S. Choudhury, T. Mondal y R. Raghuraman, R. 2015. *Kinorhyncha. Zool. Surv. India*.
- Vidal, L.A. 2010. Manual del fitoplancton hallado en la Ciénaga Grande de Santa Marta y cuerpos de agua aledaños. Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano Bogotá. 384 p.
- Vides M. y Alonso, D. (Eds.). Línea base ambiental de los bloques COL1 y COL2 en la cuenca sedimentaria del Caribe colombiano. Informe Técnico Final - Temática 1. 329 p. En: Vides et al., 2016. Levantamiento de información ambiental de sistemas marinos y costeros sobre el Caribe colombiano Fase II. Convenio 167 ANH-INVEMAR. Informe técnico final. INVEMAR, Santa Marta. 603 p.
- Vinogradov, M.E. 1968. *Vertikalnoe raspredelenie okeanicheskogo zooplanktona*. Nauta, Moskva, 1-320.
- Warwick, R.M. and K.R. Clarke. 1994. Relearning the ABC: taxonomic changes and abundance/biomass relationships in disturbed benthic communities. *Mar. Biol.*, 118(4): 739-744.
- Webber, D. y J. Roff. 1996. Influence of Kingston harbor on the phytoplankton community of the nearshore Hellshire coast, southeast Jamaica. *Bulletin of Marine Science*, 59: 245-258.
- Webber, M., J. Roff, L. Chisholm y C. Cheryl. 1996. Zooplankton distributions and community structure in an area of the South Coast Shelf of Jamaica. *Bulletin of Marine Science* 59(2): 259-270.
- Weston, D.P. Quantitative examination of macrobenthic community changes along an organic enrichment gradient. En: *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1990, vol. 61, p. 233-244.
- Wieser, W. 1953. La relación entre la forma de la cavidad oral, la dieta y la ocurrencia en nemátodos marinos de vida libre. *Arkiv für Zoologie* 4, 439–484.

- Wood, F. 1963. Dinoflagellates in the Australian Region. III further collection. Division of Fisheries and Oceanography, Technical Paper. 20 p.
- WoRMS, 2004. Clitellata. In: Norenburg, J.; Gibson, R.; Herrera Bachiller, A.; Strand, M. (2017). World Nemertea Database. Accessed through: World Register of Marine Species. En Línea: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=14165> on 2017-12-12.
- WoRMS. 2017. Annelida. World Register of Marine Species. En Línea: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=882>
- WoRMS. 2017. Arthropoda. Accessed through: World Register of Marine Species En Línea: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=1065> on 2017-12-13.
- Würsig, B. 2009. Bow-riding. En: Perrin, W. F., B. Wursig y J. G. M. Thewissen (Eds.). *Encyclopedia of marine mammals* (Second Edition) (133-134). London: Academic Press.
- Wynne, K. y M. Schwartz. 1999. Guide to marine mammals & turtles of the U.S Atlantic & Gulf of Mexico. Rhode Island Sea Grant & NOAA Fisheries, Narragansett 114 pp.
- Yanko, V., Arnold, A.J. y Parker, W.C. 1999. Effects of marine pollution on benthic Foraminifera. En: SEN GUPTA, Barun. K. (Ed.). *Modern Foraminifera*, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht. p. 217.
- Young, R. y H. Phillips. 2002. Primary production required to support bottlenose dolphins in a salt marsh estuarine creek system. *Marine Mammal Science*, 18: 358-373.
- Zoppi, E. 1977. El zooplancton marino de la región oriental de Venezuela. Trabajo de Postgrado, Doctorado en Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas, 187 p.



## V. EVALUACIÓN BIOLÓGICO-PESQUERA DE LOS RECURSOS DE GRANDES PELÁGICOS

*Alfredo Rodriguez, Harold Castillo-Navarro, Sarith Salas-Castro, Jose Correa-Daza, Fabián Escobar-Toledo, Mario Rueda.*

### 1 Alcance

Entre los recursos pesqueros de mayor importancia comercial se encuentran los peces grandes pelágicos, los cuales se caracterizan por ser altamente migratorios con desplazamientos que incluyen aguas costeras y oceánicas alrededor del mundo (FAO, 1994; Maguire *et al.*, 2006). Entre las especies objetivo de captura se encuentran los atunes, dorados y picudos, aunque también se capturan de forma incidental otras especies como sierras, tiburones, entre otras (Rodriguez *et al.*, 2015). Una forma de cuantificar este tipo de recursos pesqueros, parte de un muestreo de prospección directa mediante el uso de métodos tradicionales de pesca exploratoria (e.g. palangres o *long line*), combinado con detección hidroacústica para la estimación de la abundancia de peces a una escala espacial más amplia (Simmonds y MacLennan, 2005; Rodriguez *et al.*, 2015). Teniendo en cuenta la naturaleza de ocurrencia de estos recursos, en este estudio se combinaron los enfoques de muestreo antes mencionados con el fin de evaluar abundancia y distribución espacial de los peces grandes pelágicos asociados al bloque COL3 en el Caribe colombiano. Los resultados obtenidos en este componente presentan un análisis de la composición de las especies, abundancia relativa, aspectos poblacionales (e.g. sexo, estados de madurez, estructura de tallas) y distribución espacial de la abundancia relativa y densidad acústica de peces en el bloque.

### 2 Problema y su justificación

Los ecosistemas marinos están constituidos por diversos componentes que interactúan en diferentes escalas espaciales y temporales, ocasionando en ellos cambios por múltiples causas (e.g. ambientales, antrópicas). Del ecosistema pelágico en el Caribe de Colombia hacen parte poblaciones de peces de grandes pelágicos de aguas oceánicas, que son recursos de alto valor ecológico y económico, y cuyos desplazamientos cubren aguas oceánicas alrededor del mundo (Maguire *et al.*, 2006). Estudios recientes indican que en el área oceánica del Caribe de Colombia los peces grandes pelágicos son un recurso con potencial pesquero variable (Rodriguez *et al.*, 2015); sin embargo, actividades antrópicas relacionadas con la exploración de hidrocarburos costa afuera, podrían tener un impacto sobre estos recursos. En este contexto, se hace relevante evaluar los recursos grandes pelágicos en el bloque COL3 mediante un muestreo de prospección directa y tomando en cuenta información secundaria existente. Esta investigación complementa la línea de información base del bloque COL3 en términos de la cuantificación de los recursos pesqueros asociados al ambiente pelágico.

### 3 Desarrollo/Hallazgos/Resultados

#### 3.1 Metodología utilizada

Se realizó un crucero de prospección pesquera sobre el bloque COL3 entre el 06 y 19 de octubre de 2017, a bordo de la embarcación de pesca industrial HALELUYA, con el objetivo de obtener una evaluación biológico-pesquera de los peces grandes pelágicos en el área de estudio. Previo al crucero, se realizó el trabajo de alistamiento de la embarcación, instalación y prueba de equipos (e.g. ecosonda SIMRAD ES70, sistema cartográfico y de navegación OLEX). El diseño de muestreo aplicado fue sistemático en una grilla regular de once transectos separados cada 12 millas náuticas (mn) aproximadamente (Figura 201; Tabla 48). En total se realizaron doce estaciones de muestreo (E), usando un palangre horizontal o long line de superficie, conformado por una línea principal de 24 km de longitud y 700 líneas secundarias verticales separadas cada 50 m y terminadas cada una en anzuelos circulares calibre 13/0 y carnada (macarela; *Scomber japonicus*) para atraer los peces (Figura 202). En este sentido, la unidad de muestreo fue el lance realizado con el palangre en una estación dada.

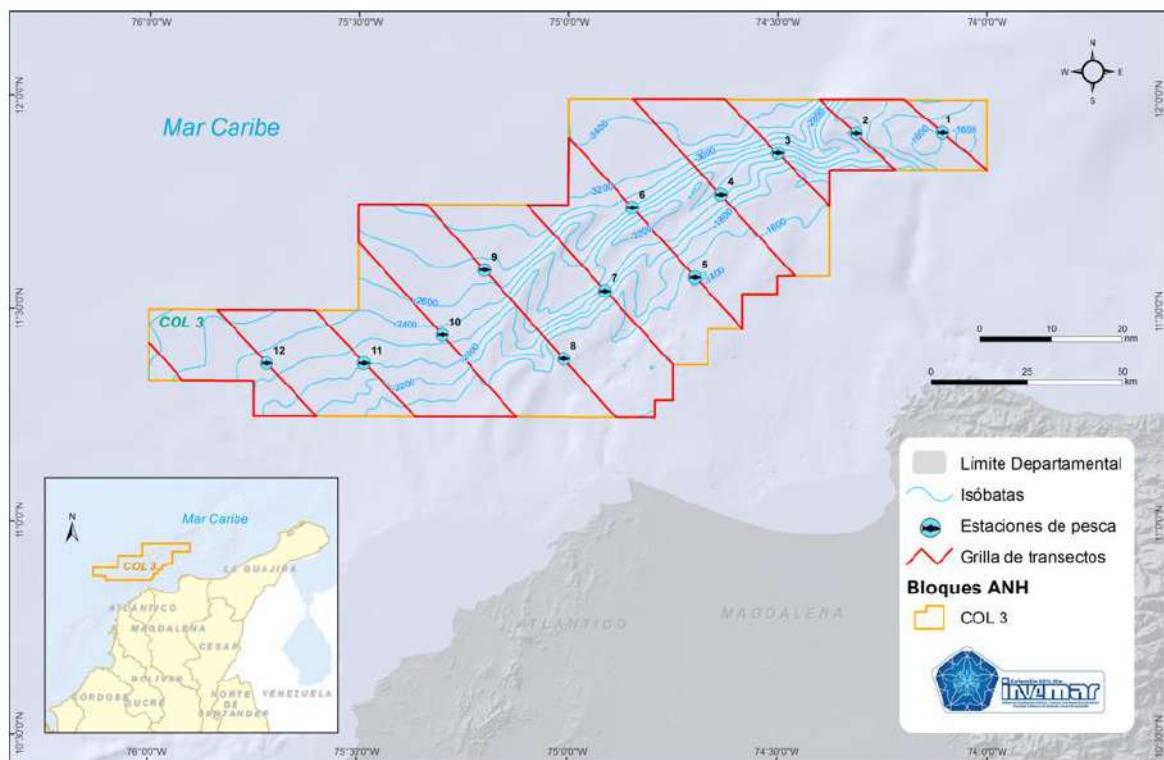


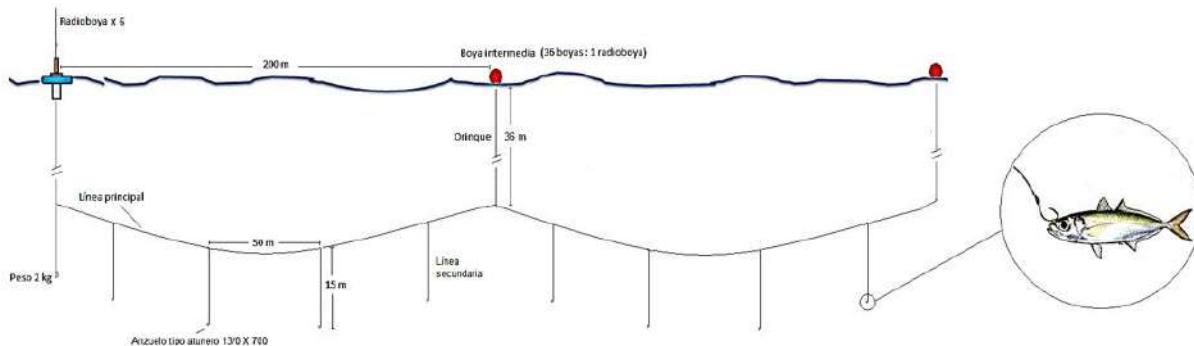
Figura 201. Área de estudio con la grilla de 12 estaciones de muestreo (E) durante el crucero de investigación de peces grandes pelágicos en el bloque COL3, Caribe colombiano. Fuente: INVEMAR – LabSIS, 2017.

Las doce estaciones de muestreo realizadas fueron utilizadas para estimar la composición y abundancia de peces, teniendo en cuenta que el tamaño del palangre usado y el efecto de deriva por acción del viento y la corriente posibilitaron un

cubrimiento más amplio del bloque. La profundidad de captura de los peces varió entre 41 y 64 m, teniendo en cuenta la profundidad de trabajo de los anzuelos registrada en cada estación de muestreo con un manómetro-profundímetro marca Cressi. Para estandarizar el esfuerzo de pesca, se empleó igual número de anzuelos en todas las estaciones de muestreo, con un tiempo de reposo del palangre en el agua de seis horas aproximadamente, contando el tiempo a partir del último anzuelo lanzado al agua y el primer anzuelo en ser recogido del agua.

*Tabla 48. Coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo (E) con palangre horizontal de superficie durante el crucero de investigación de peces grandes pelágicos realizado en el bloque COL3, Caribe colombiano.*

| Estación de muestreo | Posición inicial |              | Posición final |              |
|----------------------|------------------|--------------|----------------|--------------|
|                      | Latitud (N)      | Longitud (W) | Latitud (N)    | Longitud (W) |
| <b>E1</b>            | 11°59.843        | 74°10.825    | 11°51.293      | 74°01.677    |
| <b>E2</b>            | 11°50.340        | 74°14.347    | 12°00.677      | 74°23.606    |
| <b>E3</b>            | 11°44.171        | 74°22.503    | 11°56.913      | 74°32.660    |
| <b>E4</b>            | 11°47.224        | 74°38.945    | 11°58.865      | 74°50.086    |
| <b>E5</b>            | 11°39.575        | 74°46.051    | 11°27.113      | 74°34.476    |
| <b>E6</b>            | 11°53.792        | 74°59.189    | 11°42.946      | 74°48.938    |
| <b>E7</b>            | 11°33.427        | 74°55.564    | 11°43.531      | 75°04.724    |
| <b>E8</b>            | 11°27.093        | 75°02.554    | 11°18.200      | 74°56.100    |
| <b>E9</b>            | 11°32.685        | 75°09.364    | 11°42.919      | 75°17.268    |
| <b>E10</b>           | 11°35.464        | 75°26.823    | 11°25.768      | 75°17.120    |
| <b>E11</b>           | 11°23.582        | 75°30.092    | 11°15.236      | 75°23.027    |
| <b>E12</b>           | 11°20.359        | 75°40.765    | 11°29.881      | 75°50.070    |



*Figura 202. Esquema general del palangre horizontal de superficie (long line) empleado durante el crucero de investigación de peces grandes pelágicos en el bloque COL3, Caribe colombiano.*

La captura abordo fue procesada *in situ* determinando el peso, talla, sexo y estados de madurez para cada una de las especies (Figura 203). La asignación de estadios de madurez se realizó siguiendo las claves corregidas para algunas especies de grandes pelágicos (Rodríguez *et al.*, 2015). Para la identificación de las especies se usaron guías especializadas en taxonomía (e.g. Compagno, 2002; Collette, 2002). Toda la información colectada, incluyendo la posición geográfica, fecha, hora, duración del lance, composición de especies, peso, tallas, entre otros, se registraron en formularios diseñados de acuerdo a la naturaleza de los datos colectados en campo.



A



B

Figura 203. Procesamiento de la captura obtenida en crucero. Identificación, medición y pesaje de especies (A) y determinación del sexo y estado de madurez sexual (B).

Durante la navegación en la grilla de muestreo se realizaron detecciones acústicas continuas de peces mediante una ecosonda SIMRAD ES70 Split Beam con transductor de 120 kHz y un GPS Garmin 546s para la adquisición de datos georeferenciados, además se contó con el apoyo del sistema cartográfico y de navegación OLEX para el posicionamiento de las estaciones de muestreo y el recorrido hidroacústico en el bloque (Figura 204). Con base en el conocimiento de la distribución vertical de peces grandes pelágicos, el rango de detección acústica fue entre 3 y 300 m, aunque también se colectó información hidroacústica a mayor profundidad en algunos casos (Rodriguez *et al.*, 2015).

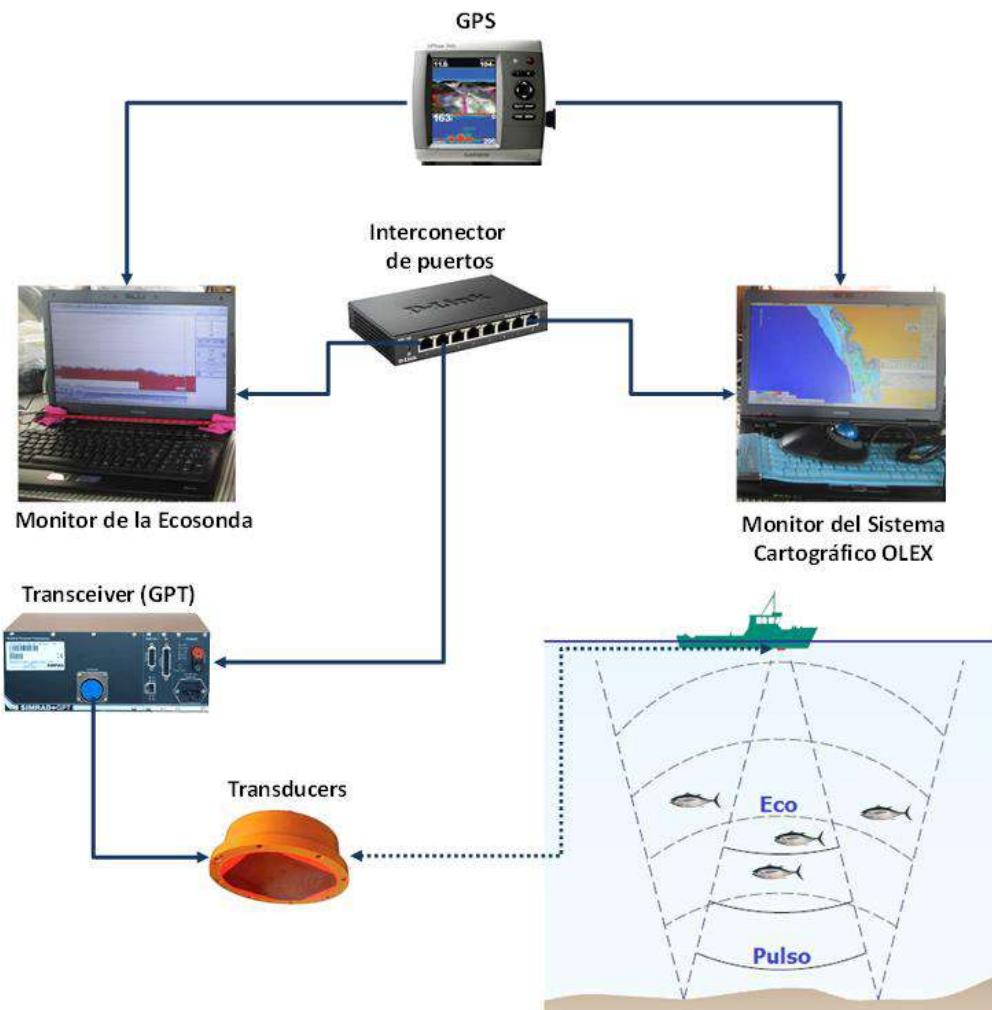


Figura 204. Esquema general del sistema de información hidroacústica empleado durante la campaña de investigación de peces grandes pelágicos en el bloque COL3, Caribe colombiano. Fuente: Rodríguez et al. (2015).

### 3.1.1 Composición, abundancia relativa y estructura comunitaria

La captura total de peces obtenida en las doce estaciones de muestreo fue analizada mediante gráficos de barras para describir su composición por familias y especies. La abundancia relativa de peces se determinó como la captura por unidad de esfuerzo (CPUE), usando una función que estandarizó la captura de peces respecto al tiempo de reposo del palangre en el agua ( $t \approx 6$  horas) y al número de anzuelos empleados ( $a = 700$  anzuelos) (Maunder y Punt, 2004; Haimovici y Ávila Da Silva, 2007):

$$CPUE = \left( \frac{C_i}{t * a} \right) * 100$$

donde,  $C_i$  es la captura en número de individuos o en peso;  $t$ , es el tiempo (h) de reposo del palangre en el agua y  $a$ , es el número de anzuelos empleados. La abundancia relativa o CPUE se estandarizó como el número de individuos o el peso de captura por cada 100

anzuelos y una hora de reposo del arte de pesca en el agua. Se determinó la proporción de sexos y se evaluó su diferencia mediante la prueba de bondad de ajuste Chi-cuadrado ( $X^2$ ) con simulación Monte Carlo (2000 interacciones) de los valores de probabilidad (Zar, 1999; Agresti, 2007). Para describir la estructura comunitaria de peces grandes pelágicos se realizó un análisis de agrupamientos a través de un análisis cluster, que es una técnica de agrupamiento de un conjunto de observaciones en un número dado de grupos, basado inicialmente en la distancia o similitud entre las observaciones (Everitt y Hotnorn, 2011). Para este análisis se construyó una matriz de distancias de la abundancia en número, excluyendo los grupos que aportaron menos del 2% de las abundancias totales para eliminar especies raras (Field *et al.*, 1982). El método de cluster empleado fue el de agrupamiento jerárquico aglomerativo por distancias euclidianas usando las librerías “cluster, mclust” del lenguaje R (Maechler *et al.*, 2016; Scrucca *et al.*, 2016).

### 3.1.2 Distribución espacial

La distribución espacial de la abundancia relativa o CPUE (kg/h\*100 anzuelos) integrada (multiespecies) de peces grandes pelágicos fue analizada mediante mapas classed post (datos representados en rangos de intervalos iguales), mediante un Sistema de Información Geográfica – SIG. Así mismo, teniendo en cuenta que el atún aleta amarilla (*T. albacares*) fue la especie más representativa durante el muestreo en el bloque COL3, se construyeron mapas de la abundancia relativa y de la estructura de tallas (longitud total en cm) para esta especie, adicionalmente.

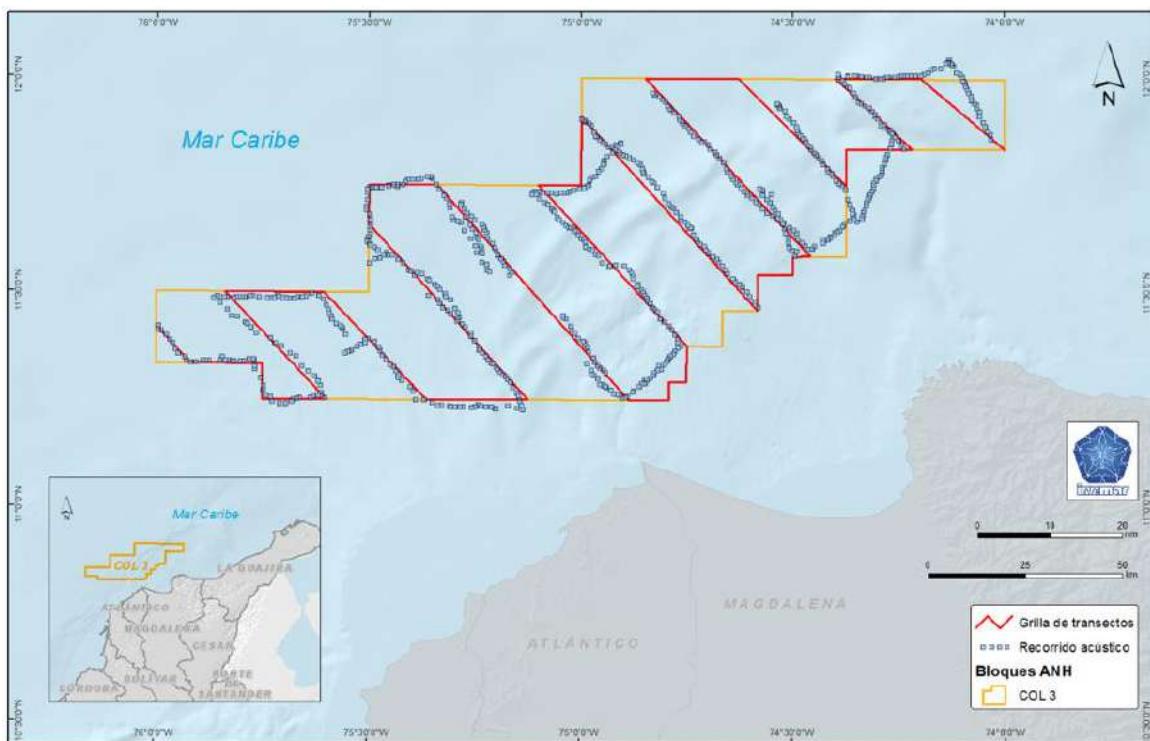


Figura 205. Área de estudio con la grilla de transectos y el recorrido acústico durante el crucero de investigación de peces grandes pelágicos en el bloque COL3, Caribe colombiano. Fuente: INVEMAR – LabSIS, 2017.

### 3.1.3 Densidad acústica

En total se recorrieron 680 millas náuticas al interior del bloque, correspondiente a igual número de ecogramas o ecotrazos con datos acústicos (Figura 205). Los ecogramas son imágenes en 2D o 3D que muestran los ecos recibidos durante el muestreo acústico, representando así en formas y escala de colores la energía retrodispersada de diferentes fuentes tales como peces, plancton, entre otros. El análisis de ecogramas se realizó mediante el software Echoview 4.0, para el post-proceso de datos en espacios o intervalos de muestreo (UBM: unidades básicas de muestreo) de 1 mn y capas de 50 m de profundidad (Parsons *et al.*, 2013) (Figura 206).

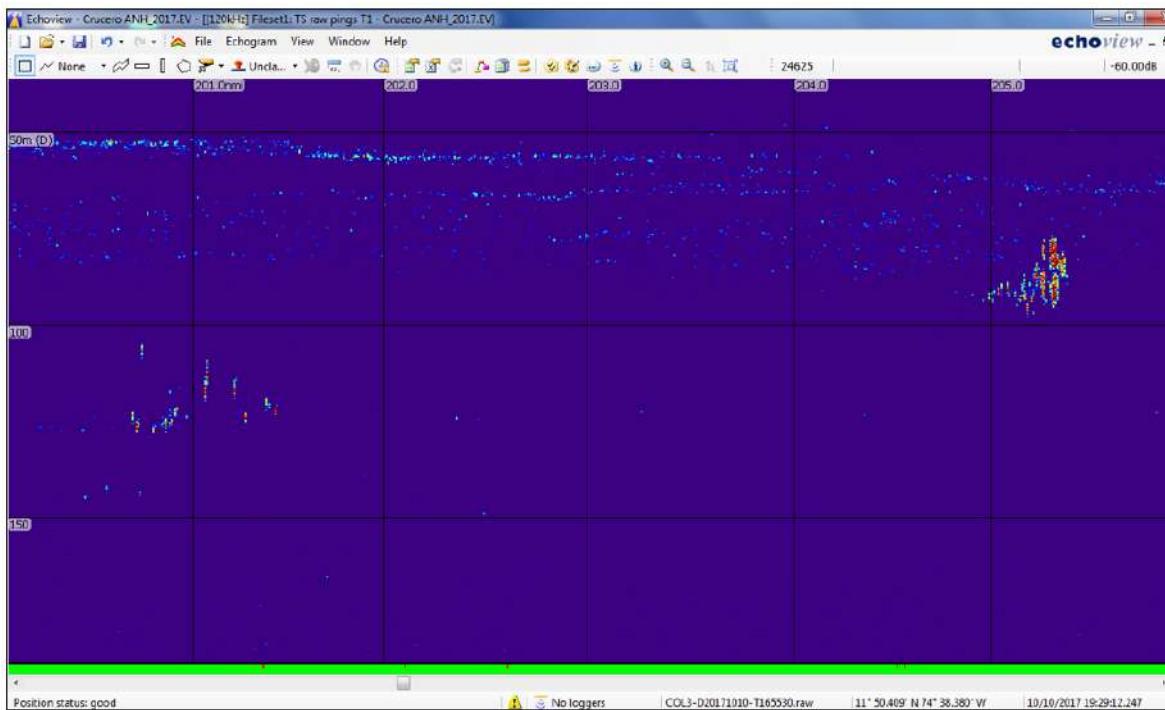


Figura 206. Imagen de un ecograma obtenido durante el crucero de investigación de peces grandes pelágicos en el bloque COL3, Caribe colombiano.

La identificación de detecciones de peces se hizo estableciendo un umbral de detección entre -65 y -15 decibeles (dB), eliminándose los ecos visualizados en la región superficial o campo cercano del transductor (hasta los 3 m), los cuales son fuente de ruido causados por efecto de turbulencia o burbujas (Sato *et al.*, 2015). Además, se eliminaron aquellos ecos en el ecograma atribuidos a otras fuentes de retrodispersión acústica diferentes a peces tales como capas de plancton, ruido ambiental o electrónico, burbujas de aire, entre otros (Simmonds *et al.*, 1992; Simmonds y MacLennan, 2005). Una vez depurados todos los ecogramas, se realizó la ecointegración de los ecos asociados a los peces para determinar la densidad acústica o NASC (coeficiente de retrodispersión por unidad de área o Nautical Area-Scattering Coefficient) (Simmonds y MacLennan, 2005), definida como la cantidad energía devuelta por los peces por unidad de área, equivalente a una medida de abundancia relativa expresada en  $\text{m}^2/\text{mn}^2$  (MacLennan y MacKenzie; 1988; Castillo *et al.*, 2009). Posteriormente, se empleó un

análisis de autocorrelación espacial para modelar la densidad acústica en el bloque COL3, usando la librería 'geoR' del paquete R (Christensen y Ribeiro, 2002; Ribeiro y Diggle, 2016). La cartografía resultante de la densidad acústica se elaboró mediante SIG.

## 3.2 Presentación de los Hallazgos y Resultados:

### 3.2.1 Composición, abundancia relativa y estructura comunitaria

La captura total obtenida fue 4.114,7 kg, correspondiente a 146 individuos identificados dentro de 14 especies agrupadas en 6 familias, de las cuales destacaron por su abundancia en peso: Scombridae (40,4%), Carcharhinidae (35,8%) e Istiophoridae (21,2%) (Figura 207). La Tabla 49 muestra la composición de la captura obtenida respecto a estudios anteriores realizados por el INVEMAR y la ANH para otros bloques en el Caribe colombiano. Aunque el periodo de muestreo (hacia el final del año) y el enfoque metodológico empleado (pesca con palangre y detección hidroacústica) fue similar para todos los bloques, vale mencionar que los resultados corresponden a muestreos independientes que estuvieron circunscritos al área y a las condiciones oceanográficas específicas de cada bloque y en particular a la disponibilidad del recurso pesquero en ese instante de tiempo. En comparación con otros bloques de exploración, las familias y especies de peces grandes pelágicos encontrados en este estudio son similares tanto en su composición como en el porcentaje de captura (Tabla 49).

Tabla 49. Composición de la captura de peces para diferentes bloques de hidrocarburos en el Caribe colombiano. \*Se presentan solo las familias y especies más representativas en la captura en peso.

| Referencia                      | Bloque    | Periodo de muestreo      | Número de estaciones | Captura total (kg) | Familias*      | % captura | Especies*  | % captura |
|---------------------------------|-----------|--------------------------|----------------------|--------------------|----------------|-----------|--|-----------|
| Garrido-Linares et al. (2014a). | GUA OFF 3 | Octubre-Noviembre/2013   | 11                   | 3.450,0            | Carcharhinidae | 47,9%     | Tiburón azul ( <i>Prionace glauca</i> )            | 34,1%     |
|                                 |           |                          |                      |                    | Scombridae     | 23,6%     | Atún aleta amarilla ( <i>Thunnus albacares</i> )   | 21,7%     |
|                                 |           |                          |                      |                    | Istiophoridae  | 16,5%     | Marlin azul ( <i>Makaira nigricans</i> )           | 14,4%     |
| Garrido-Linares et al. (2014b). | COL 4 y 5 | Noviembre/2014           | 9                    | 4.049,8            | Carcharhinidae | 59,0%     | Tiburón azul ( <i>Prionace glauca</i> )            | 30,6%     |
|                                 |           |                          |                      |                    | Carcharhinidae | 17,9%     | Tiburón sedoso ( <i>Carcharhinus falciformis</i> ) | 23,2%     |
|                                 |           |                          |                      |                    | Scombridae     | 14,7%     | Atún aleta amarilla ( <i>Thunnus albacares</i> )   | 17,5%     |
| Rodriguez et al. (2017)         | COL 1 y 2 | Noviembre-Diciembre/2016 | 12                   | 4.982,8            | Scombridae     | 65,3%     | Atún aleta amarilla ( <i>Thunnus albacares</i> )   | 62,4%     |
|                                 |           |                          |                      |                    | Istiophoridae  | 15,7%     | Marlin azul ( <i>Makaira nigricans</i> )           | 14,9%     |
|                                 |           |                          |                      |                    | Xiphidae       | 8,5%      | Pez espada ( <i>Xiphias gladius</i> )              | 8,5%      |
| Presente estudio                | COL3      | Octubre/2017             | 12                   | 4.114,7            | Scombridae     | 40,4%     | Atún aleta amarilla ( <i>Thunnus albacares</i> )   | 38,4%     |
|                                 |           |                          |                      |                    | Carcharhinidae | 35,8%     | Tiburón tigre ( <i>Galeocerdo cuvier</i> )         | 15,1%     |
|                                 |           |                          |                      |                    | Istiophoridae  | 21,2%     | Marlin azul ( <i>Makaira nigricans</i> )           | 18,1%     |

A nivel de especies, las más abundantes en peso y número fueron el atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*; 1.578,3 kg y 47 individuos), el marlín azul (*Makaira nigricans*; 743,7 kg y 10 individuos), el tiburón tigre (*Galeocerdo cuvier*; 619,5 kg y 5 individuos), el tiburón azul (*Prionace glauca*; 506,3 kg y 7 individuos) y el tiburón sedoso (*Carcharhinus falciformis*; 288,6 kg y 40 individuos) (Figura 208). Respecto a los tiburones, se capturó un total de 54 individuos de los cuales el 46,3% (25 individuos) fueron liberados vivos al agua, mientras que el resto llegaron muertos a bordo de la embarcación. En los bloques destacó la alta abundancia del atún aleta amarilla, lo cual coincide con lo reportado en investigaciones de prospección pesquera desarrolladas en conjunto por el INVEMAR y la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP), donde describen a esta especie de pelágico como una de las más abundantes en la región continental del Caribe colombiano (Rueda *et al.*, 2014; Rodriguez *et al.*, 2015).

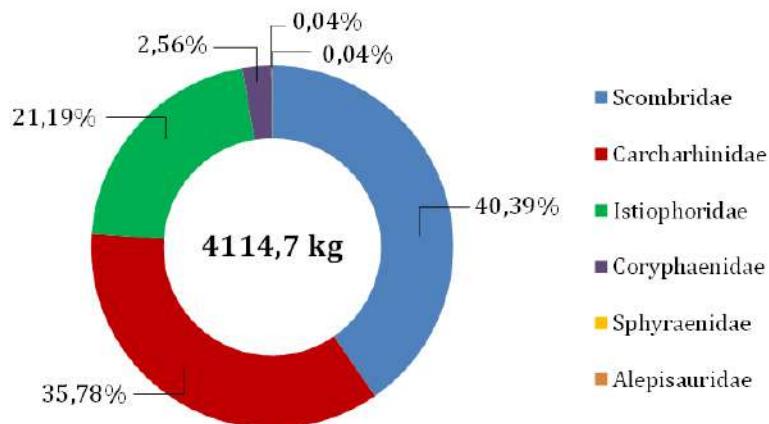


Figura 207. Composición porcentual de la captura en peso a nivel de familias durante el crucero de investigación de peces grandes pelágicos en el bloque COL3, Caribe colombiano.

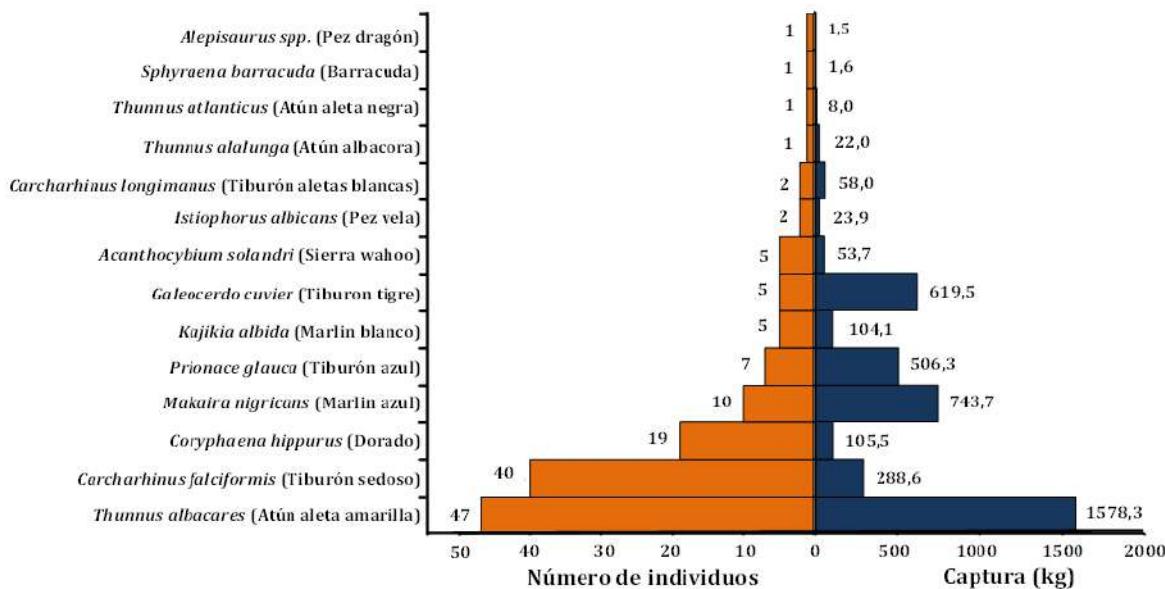


Figura 208. Composición de la captura en número de individuos (barras a la izquierda) y peso (kg; barras a la derecha) a nivel de especies durante el crucero de investigación de peces grandes pelágicos en el bloque COL3, Caribe colombiano.

La abundancia relativa o CPUE promedio ( $\pm$ DE) para el bloque COL3 se estimó en 0,31 número de individuos/h\*100 anzuelos ( $\pm$ 0,12). La mayor CPUE se presentó en la E01 (0,54 número de individuos/h\*100 anzuelos), mientras que la estación con mayor número de individuos capturados fue E06 (20 individuos), donde dominaron las capturas de dorado (*Coryphaena hippurus*) y atún aleta amarilla (*T. albacares*), con 9 y 6 individuos, respectivamente (Figura 209).

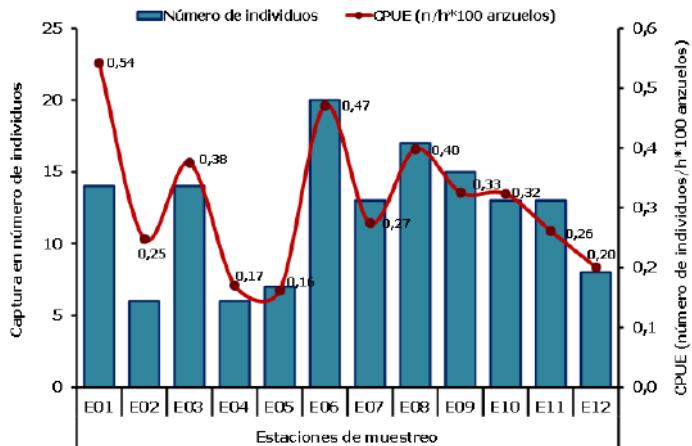


Figura 209. Comportamiento de la captura (n) y la captura por unidad de esfuerzo (CPUE: n/100 anzuelos\*h) en cada estación de muestreo (E) durante el crucero de investigación de peces grandes pelágicos en el bloque COL3.

Las especies que evidenciaron mayor CPUE promedio ( $\pm$  EE) en peso fueron el tiburón tigre (*G. cuvier*), el tiburón azul (*P. glauca*) y atún aleta amarilla (*T. albacares*), con 3,93 kg/h\*100 anzuelos ( $\pm$ 1,56), 3,71 kg/h\*100 anzuelos ( $\pm$ 0,92) y 3,68 kg/h\*100 anzuelos ( $\pm$ 0,65), respectivamente (Figura 210). Respecto a la CPUE promedio ( $\pm$  EE) basada en el número de individuos, estuvo representada principalmente por el tiburón sedoso (*C. falciformis*) con 0,12 número de individuos/h\*100 anzuelos ( $\pm$ 0,08), especie que estuvo conformada en su mayoría por individuos de tallas pequeñas (entre 60 y 120 cm de longitud total) (Figura 210).

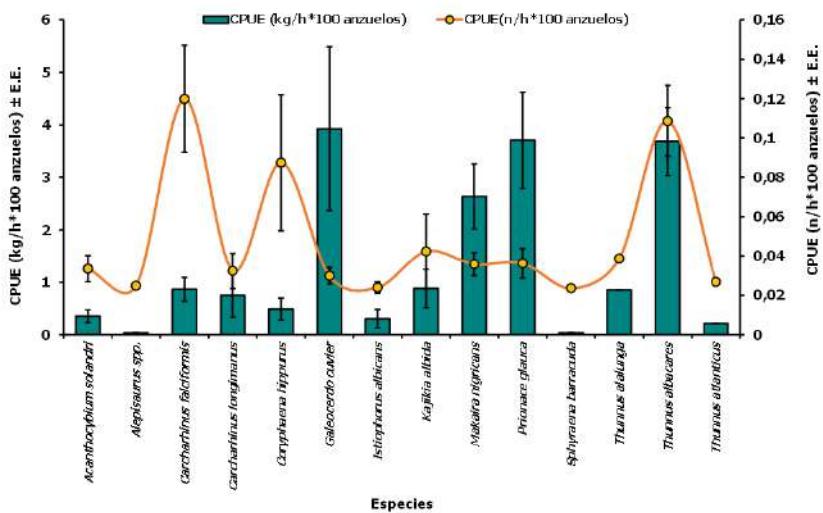


Figura 210. Comportamiento de la captura por unidad de esfuerzo promedio por número de individuos (n) y peso (kg) para cada una de las especies de peces capturados durante el crucero de peces grandes pelágicos en el bloque COL3.

Respecto a la estructura comunitaria de peces grandes pelágicos, el análisis de agrupamientos mostró la formación de tres grupos: el primero con el atún aleta amarilla *T. albacares* y el dorado *C. hippurus*; el segundo solo con el tiburón sedoso *C. falciformis*; y el tercer agrupamiento conformado por mayor número de especies tales como la sierra wahoo *A. solandri*, el marlin azul *M. nigricans*, el marlin blanco *K. albida*, el tiburón tigre *G. cuvier* y el tiburón azul *P. glauca* (Figura 211). En el primer grupo, destaca la afinidad del atún aleta amarilla y el dorado, los cuales son especies que frecuentemente comparten hábitats y se ubican en un rango de profundidad cercano a la termoclina (40 – 80 m), por lo que ambas especies son representantes habituales en la captura de las pesquerías de grandes pelágicos (Maguire *et al.*, 2006; Langley *et al.*, 2009; Fromentin *et al.*, 2014). En el tercer grupo se presentan dos subgrupos, el subgrupo 3.1 que evidencia la afinidad de peces picudos como el marlin blanco y marlin azul, además de la sierra wahoo; mientras que el subgrupo 3.2 muestra la similitud de peces cartilaginosos como el tiburón azul y tiburón tigre (Figura 211). En otro estudio Rodriguez *et al.* (2015) también encontraron la formación de tres grupos de peces grandes pelágicos, aunque hubo diferencias en el tipo de especies agrupadas con respecto a este estudio, lo cual puede estar asociado a diferencias en la época del año y localización de las estaciones de muestreo en cada caso.

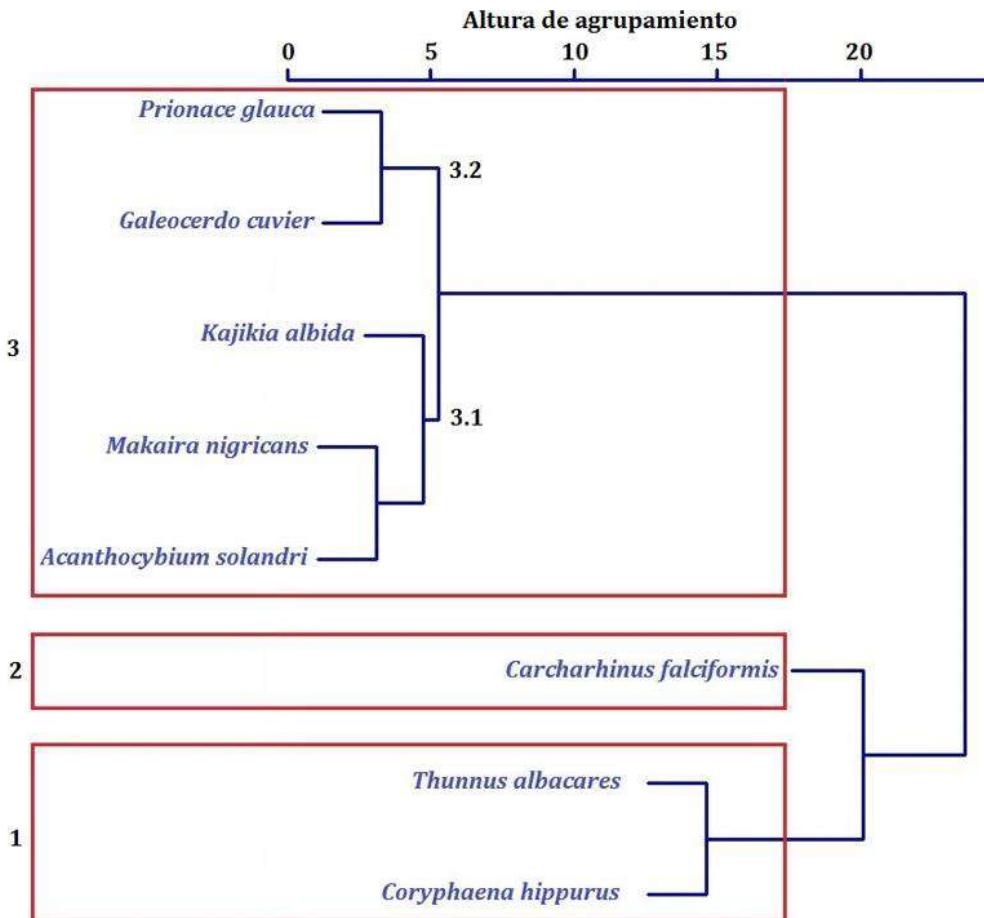


Figura 211. Análisis de agrupamientos (cluster) de peces grandes pelágicos en el bloque COL3, Caribe colombiano.

### 3.2.2 Atributos poblacionales

A nivel reproductivo, se determinó el sexo y estado de madurez a un total de 83 individuos, todos peces óseos, equivalentes a 9 de las 14 especies capturadas en el muestreo, con mayor representatividad del atún aleta amarilla *T. albacares* (Tabla 50).

Tabla 50. Sexo y estados de madurez de peces grandes pelágicos capturados en el bloque COL3, Caribe colombiano. H: hembra, M: macho, IND: indeterminado, I y II: Inmaduro, III: madurando, IV: maduro, V: en desove.

| Familia              | Especie   | Sexo | Estado de madurez |    |     |    |   |     | Total |
|----------------------|---|------|-------------------|----|-----|----|---|-----|-------|
|                      |   |      | I                 | II | III | IV | V | IND |       |
| <i>Coryphaenidae</i> | <i>Coryphaena hippurus</i><br>(Dorado)            | H    |                   |    |     | 6  |   | 1   | 7     |
|                      |   | M    |                   |    | 1   | 6  |   | 1   | 8     |
| <i>Istiophoridae</i> | <i>Istiophorus albicans</i><br>(Pez vela)         | H    |                   |    |     | 1  |   |     | 1     |
|                      |   | IND  |                   |    |     |    |   | 1   | 1     |
| <i>Scombridae</i>    | <i>Kajikia albida</i><br>(Marlin blanco)          | H    |                   |    | 3   | 1  |   |     | 4     |
|                      | <i>Makaira nigricans</i><br>(Marlin azul)         | H    |                   |    | 2   | 7  |   |     | 9     |
|                      |   | M    |                   |    |     | 1  |   |     | 1     |
| <i>Sphyraenidae</i>  | <i>Acanthocybium solandri</i><br>(Sierra wahoo)   | H    |                   |    |     | 4  |   |     | 4     |
|                      | <i>Thunnus alalunga</i><br>(Atún albacora)        | M    | 1                 |    |     |    |   |     | 1     |
| <i>Scombridae</i>    | <i>Thunnus albacares</i><br>(Atún aleta amarilla) | H    |                   | 2  | 2   | 9  | 5 |     | 18    |
|                      |   | IND  |                   |    |     |    |   | 2   | 2     |
|                      |   | M    |                   |    | 7   | 18 |   |     | 25    |
| <i>Sphyraenidae</i>  | <i>Thunnus atlanticus</i><br>(Atún aleta negra)   | M    | 1                 |    |     |    |   |     | 1     |
|                      | <i>Sphyraena barracuda</i><br>(Barracuda)         | H    |                   | 1  |     |    |   |     | 1     |

Del total de peces analizados, el 53% (n=44) fueron hembras y el 43% (n=36) machos, mientras que al 4% (n=3) restante no fue posible determinar el sexo y estado de madurez visualmente (Figura 212A). La proporción hembra:macho (1:0,81) no difirió significativamente de una proporción esperada 1:1 ( $X^2 = 0,80$ ;  $p = 0,45$ ). Respecto a *T. albacares* como especie más representativa en la captura, presentó un 40% (n=18) de hembras, 56% (n=25) machos y el restante 4% (n=2) indeterminados (Figura 212B); y aunque hubo tendencia de mayor número de machos no se encontró diferencias significativas al comparar los sexos ( $X^2 = 1,14$ ;  $p = 0,36$ ). La mayoría de individuos de esta especie se capturaron en rango de tallas entre 133,0 y 172,0 cm con estados de madurez avanzados (estados III a V), mientras que los dos individuos inmaduros (estado II), registraron las menores tallas entre 53,0 y 92,0 cm (Figura 213). Cabe señalar que no se reportaron individuos inmaduros o virginales (estado I) en este estudio.

El análisis reproductivo de *T. albacares* por estaciones de muestreo, mostró una dominancia de individuos adultos con estados de madurez avanzados (III a V) en todas

las estaciones de muestreo, destacando que solo en las estaciones E09 y E10 se registraron peces inmaduros, con un solo registro, respectivamente (Figura 214).

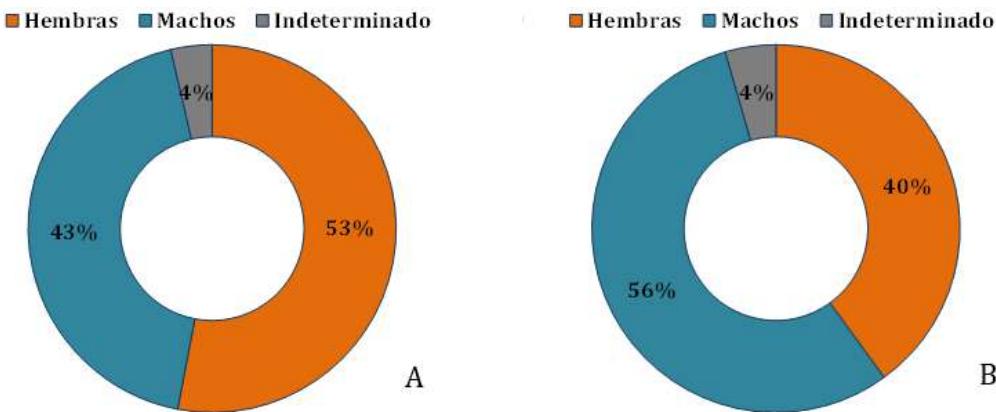


Figura 212. Proporción de sexos integrando todos los peces grandes pelágicos (A) y del atún aleta amarilla *Thunnus albacares* (B) capturados durante el crucero de peces grandes pelágicos en el bloque COL3, Caribe colombiano.

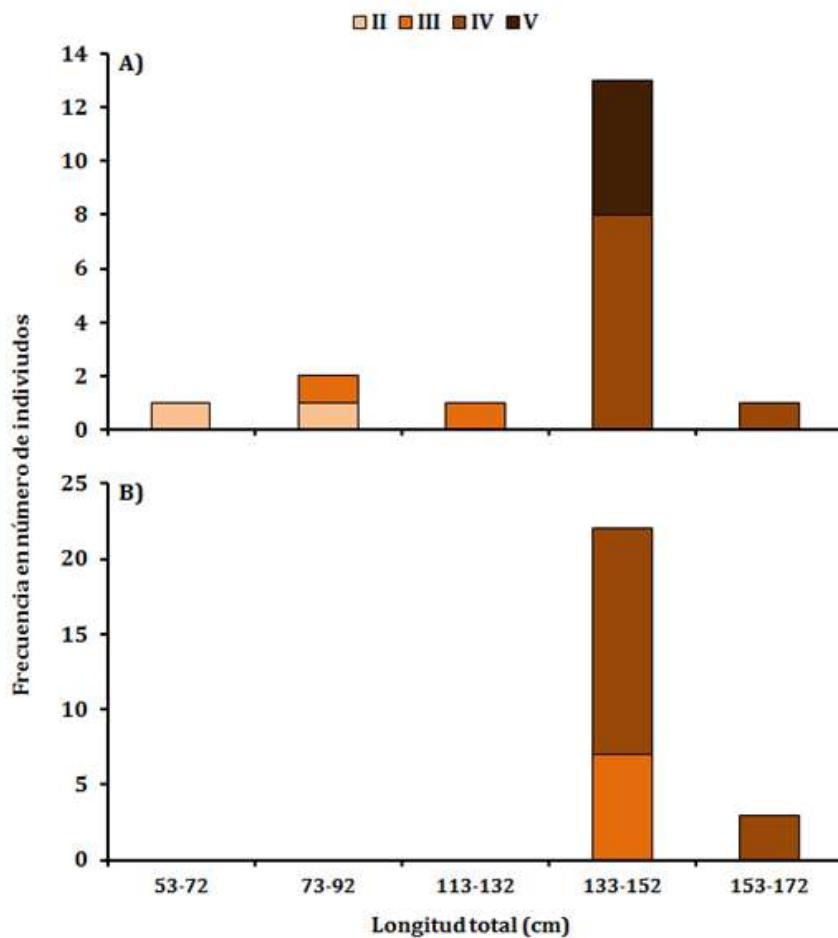


Figura 213. Histograma de frecuencia de tallas por estadío de madurez de hembras (A) y machos (B) del atún aleta amarilla *Thunnus albacares* capturados durante el crucero de peces grandes pelágicos en el bloque COL3, Caribe colombiano. II: Inmaduro, III: madurando, IV: maduro, V: en desove.

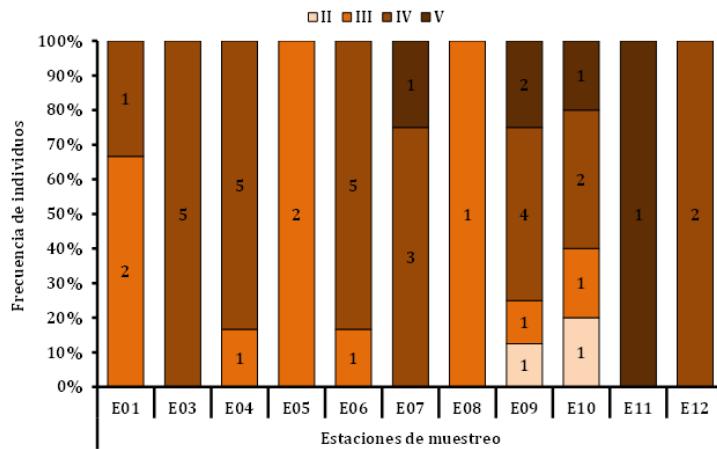


Figura 214. Porcentaje de individuos del atún aleta amarilla *Thunnus albacares* por estados de madurez sexual y estación de muestreo (E) durante el crucero de peces grandes pelágicos en el bloque COL3, Caribe colombiano. II: Inmaduro, III: madurando, IV: maduro, V: en desove. Se indica el valor del número de individuos al interior de las barras.

### 3.2.3 Distribución espacial

El análisis de distribución espacial mostró que la mayor abundancia relativa integrada de peces ( $>10,48 < 14,76 \text{ kg/h} * 100$  anzuelos), se concentró principalmente al noreste del bloque (estaciones: E01, E02, E03, E06), aunque en la estación de muestreo (E8) ubicada en la parte centro-sur del bloque, la abundancia también fue alta (Figura 215). La alta abundancia relativa de peces encontrada al noreste del bloque correspondió principalmente al atún aleta amarilla presentando la mayor abundancia entre 4,51 y 6,44  $\text{kg/h} * 100$  anzuelos, indicando un gradiente en la abundancia que decrece hacia el oeste del bloque (Figura 216).

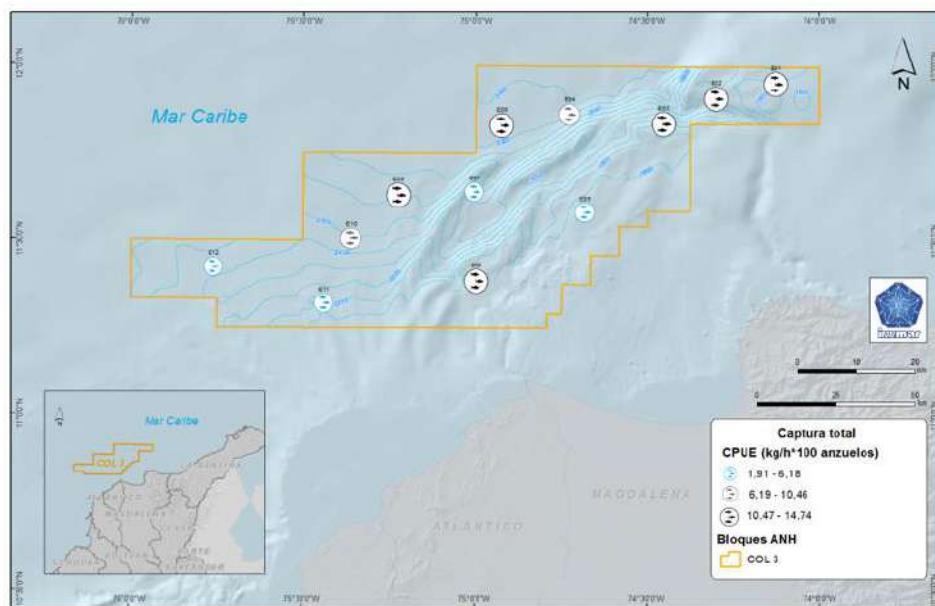


Figura 215. Distribución espacial de la abundancia relativa o captura por unidad de esfuerzo - CPUE ( $\text{kg/h} * 100$  anzuelos) integrando todas las especies de peces capturadas en el bloque COL3, Caribe colombiano. E: estaciones de muestreo. Fuente: INVEMAR – LabSIS, 2017.

El análisis de distribución espacial de las tallas se presenta para *T. albacares* que fue la especie más representativa durante el muestreo. Los atunes de tallas más grandes ( $>142,5$  cm), también se localizaron hacia el noreste del bloque, registrando solo en las estaciones de muestreo (E05, E09 y E10) los atunes de menores tallas ( $<116,5$  cm), mientras que en el resto de las estaciones se registraron peces de tallas intermedias (Figura 217).

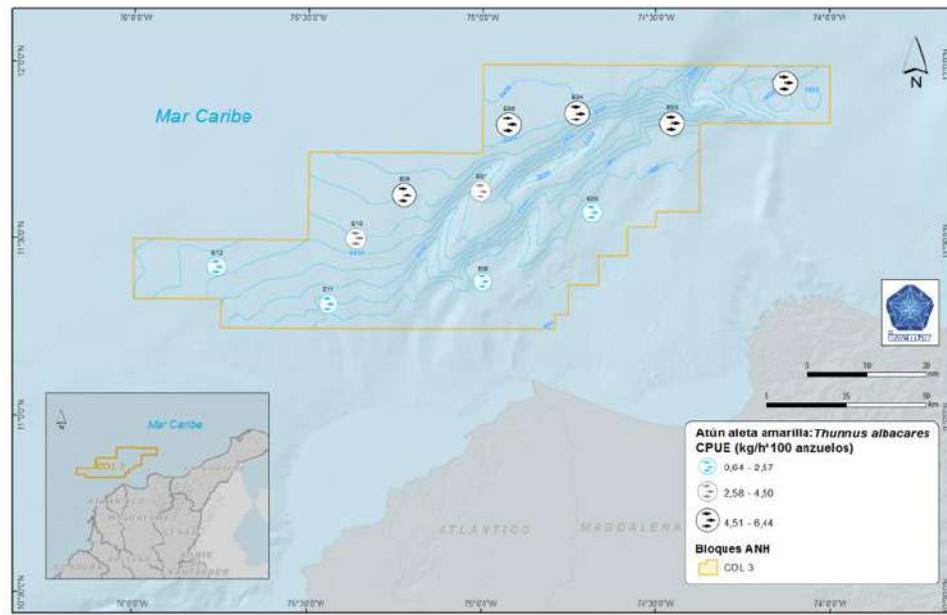


Figura 216. Distribución espacial de la abundancia relativa o captura por unidad de esfuerzo - CPUE (kg/h\*100 anzuelos) del atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) capturado en el bloque COL3, Caribe colombiano. E: estaciones de muestreo. Fuente: INVEMAR – LabSIS, 2017.

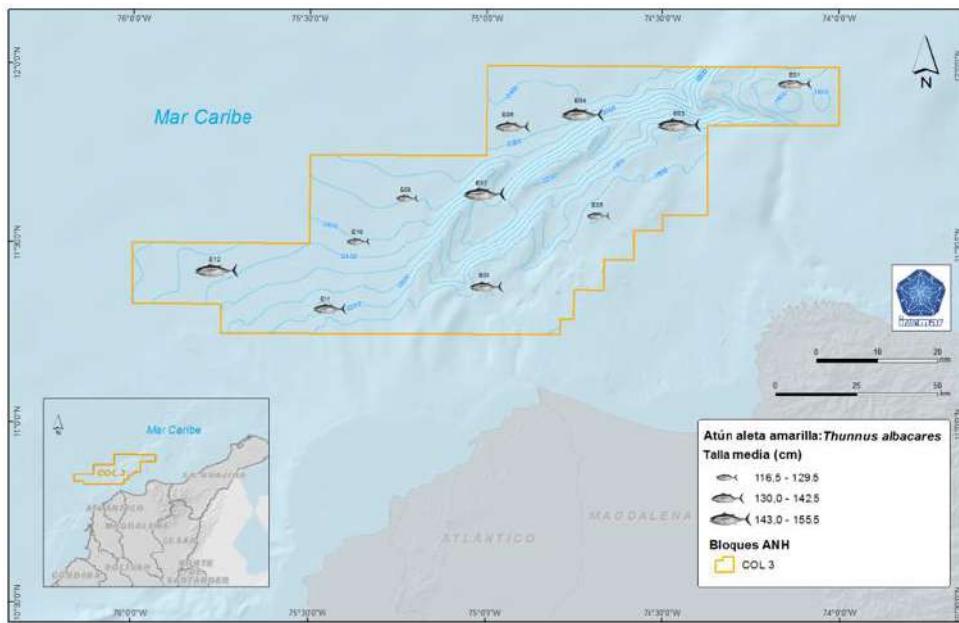


Figura 217. Distribución espacial de la estructura de tallas (cm de longitud total) del atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) capturado en el bloque COL3. E: estaciones de muestreo. Fuente: INVEMAR – LabSIS, 2017.

### 3.2.4 Densidad acústica

La distribución espacial de la densidad acústica de peces mostró tres parches de mayor abundancia ( $>200,5 < 390,8 \text{ m}^2/\text{mn}^2$ ), uno al noreste y otros dos parches en la parte centro-sur; mientras que en el resto del bloque la densidad acústica fue menor de  $73,7 \text{ m}^2/\text{mn}^2$  (Figura 218). Este patrón de distribución espacial de la densidad acústica fue similar al registrado en las capturas de peces durante las estaciones de muestreo con longline descrito en la sección 3.2.3.

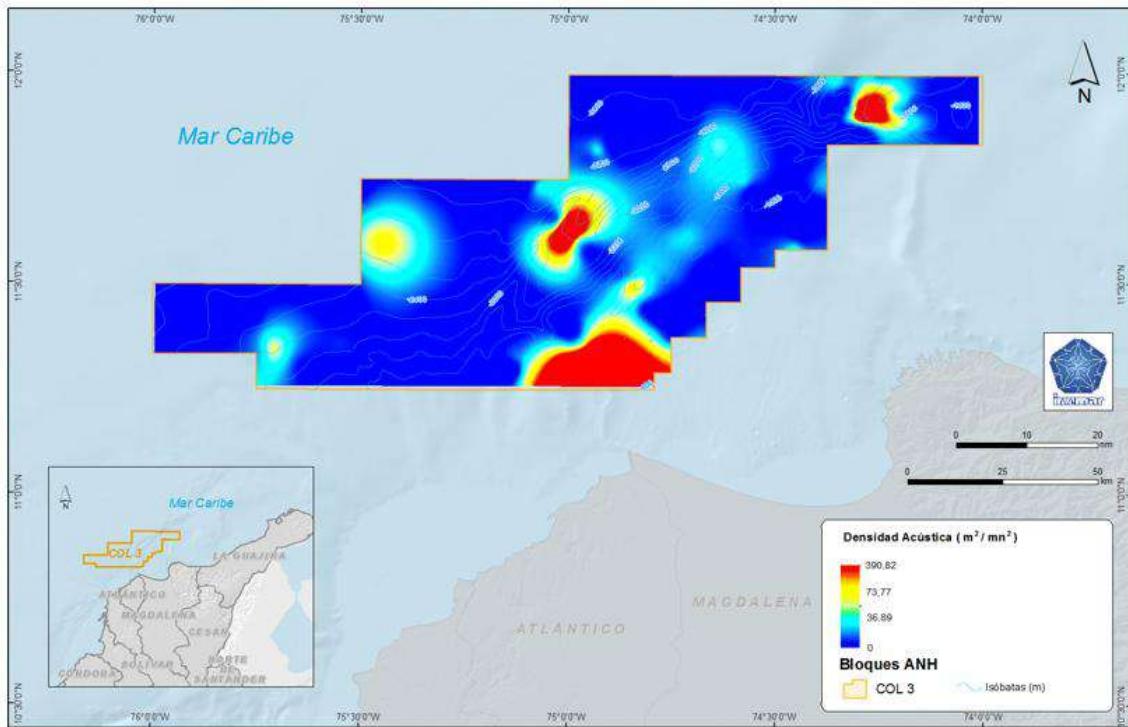


Figura 218. Distribución espacial de la densidad acústica de peces ( $\text{m}^2/\text{mn}^2$ ) en el bloque COL3, Caribe colombiano.  
Fuente: INVEMAR – LabSIS, 2017.

La Tabla 51 muestra el valor promedio y máximo de densidad acústica obtenido en este estudio respecto a estimaciones realizadas previamente para otros bloques de hidrocarburos en el Caribe colombiano. Vale resaltar que, aunque el periodo de muestreo y el enfoque metodológico empleado fue similar en los diferentes bloques evaluados, los valores estimados reflejan la abundancia relativa y la disponibilidad del recurso pesquero en ese instante de tiempo, el cual puede estar influenciado por las condiciones oceanográficas, disponibilidad de alimento y procesos migratorios de las especies (Cury *et al.*, 2003; Rodriguez *et al.*, 2015).

*Tabla 51. Comparación de valores de densidad acústica de peces para diferentes bloques hidrocarburos en el Caribe colombiano.*

| Referencia                     | Bloque    | Periodo de muestreo      | Millas náuticas recorridas | Densidad acústica ( $m^2/mn^2$ ) |        |
|--------------------------------|-----------|--------------------------|----------------------------|----------------------------------|--------|
|                                |           |                          |                            | Media                            | Máximo |
| Garrido-Linares et al. (2014a) | GUA OFF3  | Octubre-Noviembre/2013   | 681                        | 261,1                            | 1.000  |
| Garrido-Linares et al. (2014b) | COL 4 y 5 | Noviembre/2014           | 537                        | 234,9                            | 1.747  |
| Rodriguez et al. (2017)        | COL 1 y 2 | Noviembre-Diciembre/2016 | 853                        | 48,5                             | 500    |
| Presente estudio               | COL3      | Octubre/2017             | 680                        | 26,8                             | 391    |

## 4 Conclusiones

- Los resultados obtenidos aportan información de línea base ambiental del bloque COL3, suministrando así al sector de hidrocarburos conocimiento de recursos pesqueros asociados a las áreas de exploración en Colombia, lo que permite contar con información biológico-pesquera de referencia para evaluación de posibles impactos.
- La captura total obtenida en el bloque COL3 fue de 4114,7 kg, conformada por 14 especies, en la que destacó el atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*; 1.578,3 kg y 47 individuos), el marlín (*Makaira nigricans*; 743,7 y 10 individuos), el tiburón tigre (*Galeocerdo cuvier*; 619,5 y 5 individuos), el tiburón azul (*Prionace glauca*; 506,3 kg y 5 individuos) y el tiburón sedoso (*Carcharhinus falciformis*; 288,6 kg y 40 individuos).
- La especie de mayor ocurrencia fue el atún aleta amarilla, con una captura promedio aproximada de 4 individuos ( $\pm 2$ ) por estación de muestreo en el bloque. La captura de tiburones fue alta (52 individuos) con relación a estudios realizados en otros bloques tales como COL 1 y COL 2 de ubicación geográfica cercana, donde se colectaron solo 15 individuos.
- La estructura comunitaria evidenció la formación de tres grupos, en la que destacó uno por la afinidad del atún aleta amarilla o el dorado, especies generalmente de hábitats comunes. Otro grupo fue representado por un lado por los picudos (marlin blanco y marlin azul) y en otro, por peces cartilaginosos como el tiburón azul y tiburón tigre.
- A nivel reproductivo se encontró que el 54% ( $n=46$ ) de los peces óseos fueron hembras y el 42% ( $n= 36$ ) machos. Específicamente, para *T. albacares* se registró un 40% ( $n=18$ ) de hembras y 56% ( $n=25$ ) machos, encontrando dominancia de individuos adultos con estado de madurez avanzado (estados III a V) en el rango de tallas de 133,0 y 152,0 cm para hembras y machos.
- La distribución espacial mostró mayor abundancia relativa integrada de peces ( $>10,48 < 14,76 \text{ kg/h} * 100 \text{ anzuelos}$ ) hacia el noreste del bloque. Efectivamente, en esta parte del bloque también se localizaron mayores abundancias ( $>4,51 < 6,44 \text{ kg/h} * 100 \text{ anzuelos}$ ) y peces de tallas más grandes ( $>142,5 \text{ cm}$ ) de

atún aleta amarilla. La densidad acústica de peces también mostró un patrón de distribución similar, localizando tres parches de mayor abundancia ( $>200,5 < 390,8 \text{ m}^2/\text{mn}^2$ ), uno al noreste y otros dos parches en la parte centro-sur del bloque.

## 5 Recomendaciones

Los resultados de esta investigación y otros estudios relacionados demuestran que en aguas costa afuera donde se localizan bloques de hidrocarburos, hay ocurrencia de recursos marinos aprovechables por pesca, tales como atunes, picudos, dorados y especies de tiburones, entre otras especies de peces, y que pudieran verse afectados de alguna manera por actividades hidrocarburíferas proyectadas en estas áreas. Por lo anterior, se recomienda que en los estudios de impacto ambiental (EIA), el grado de sensibilidad ambiental de un área no solo se mida a través de la incidencia o sobreposición de pescadores en un área de interés o influencia de un proyecto de hidrocarburos; sino que además deben ponderar la ocupación transitoria o permanente de las especies en estos hábitats, que por lo general son claves para los procesos poblacionales de su historia de vida. En este mismo sentido, se destaca que este tipo de evaluaciones apoyarían a las autoridades para el manejo de este tipo de recursos, por lo que se sugiere realizar evaluaciones periódicas.

## 6 Bibliografía

- Agresti, A. 2007. An Introduction to Categorical Data Analysis. 2nd Ed. New Jersey: John Wiley & Sons. 373p.
- Castillo, P.R., S. Peraltilla, A. Aliaga, M. Flores, M. Ballón, J. Calderon y M. Gutiérrez. 2009. Protocolo técnico para la evaluación acústica de las áreas de Distribución y abundancia de recursos pelágicos en el Mar Peruano. Versión 2009. Inf. Inst. Mar Perú., 36 (1-2): 7-28.
- Collette, B.B. 2002. Scombridae mackerels and tunas: 1836-1857. En Carpenter, K. (Ed.) The living marine resources of the western central Atlantic. Vol. 3. FAO, Roma, 1375-2127 p.
- Compagno, L.J.V. 2002. Sharks. En: Carpenter K.E. (ed.). The living marine resources of the Western Central Atlantic. Volume 1: Introduction, molluscs, crustaceans, hagfishes, sharks, batoid fishes, and chimaeras. FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication No. 5. Rome, FAO. pp. 358-371.
- Cury, P., L. Shannon y Y.J. Shin. 2003. The Functioning of Marine Ecosystems: a Fisheries Perspective. Chapter 7. Pp. 103-123. In: Sinclair, M. and Valdimarsson (eds.). Responsible fisheries in the marine ecosystem. 413 p.
- Christensen, O.F. y P.J. Ribeiro. 2002. geoRglm: A package for generalised linear spatial models. R-NEWS., 2(2): 26-28.

- Everitt, B. y T. Hothorn. 2011. An introduction to applied multivariate analysis with R. Springer, London. 274p.
- FAO. 1994. Examen de la situación mundial de las especies altamente migratorias y las poblaciones transzonales. FAO Documento Técnico de Pesca No. 337. Roma. FAO. 75 p.
- Field, J.G., K.R. Clarke y R.M. Warwick. 1982. A practical strategy for analysing multispecies distribution patterns. Mar. Ecol. Prog. Ser., 8: 37–52.
- Fromentin, J.M., G. Reygondeau, S. Bonhommeau y G. Beaugrand. 2014. Oceanographic changes and exploitation drive the spatio-temporal dynamics of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*). Fisheries Oceanography., 23(2): 147-156.
- Garrido-Linares, M., D. Alonso-Carvajal, J.M. Gutiérrez-Salcedo, E. Montoya-Cadavid, A. Rodríguez, M. Bastidas, N. Rangel, A. Jiménez, et al., 2014a. Línea base ambiental preliminar del bloque de exploración de hidrocarburos Guajira offshore 3 en el Caribe colombiano. Informe técnico Final. INVEMAR-ANH, Santa Marta, 342. p. +Adjuntos + Anexos.
- Garrido-Linares M., D. Alonso-Carvajal, M. Rueda, C. Ricaurte, A. Polanco, A. Cárdenas, C. Cedeño, E. Montoya, E. Escarria, F. Dorado, J.M. Gutierrez, K. Ayala, L. Tavera, M.A. Mutis, M.I. Aguilar, M. Vides-Casado, O. Rodriguez, V. Yepes-Narváez, J. Pizarro, F. Valencia, A. Rodriguez-Jiménez, M. Murcia, C. Peña, M. Bastidas-Villegas, C. Giraldo 2014b. Informe Técnico Final “Línea base ambiental preliminar de los bloques de exploración de hidrocarburos Caribe colombiano: fase COL 4 y COL 5. INVEMAR-ANH, Santa Marta, 284 p + anexos.
- Haimovici, M. y A.O. Ávila Da Silva. 2007. A comparison of methods for estimating relative abundances in bottom longline fishery surveys. Fisheries Research., 85: 226-231.
- Langley, A., K. Briand, D. Séan-Kirby y R. Murtugudde. 2009. Influence of oceanographic variability on recruitment of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the western and central Pacific Ocean. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 66: 1462-1477.
- MacLennan, D. y I.G. MacKenzie. 1988. Precision of acoustic fishstock estimates. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 45: 605-616.
- Maechler, M., P. Rousseeuw, A. Struyf, M. Hubert y K. Hornik. 2016. Cluster: Cluster Analysis Basics and Extensions. R package version 2.0.5.
- Maguire, J.J., M. Sissenwine, J. Csirke, R. Grainger y S. Garcia. 2006. The state of world highly migratory, straddling and other high seas fishery resources and associated species. FAO Fisheries Technical Paper. No. 495. Rome. FAO. 84p.
- Maunder, M.N. y A.E. Punt. 2004. Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches. Fisheries Research., 70: 141-159.
- Parsons, M., I.M. Parnum y R.D. McCauley. 2013. Quantifying the acoustic packing density of fish schools with a multibeam sonar. Acoustics Australia., 41(1): 107-112.

- Ribeiro, P.J. y P.J. Diggle. 2016. geoR: Analysis of Geostatistical Data. R package version 1.7-5.2. <https://CRAN.R-project.org/package=geoR>.
- Rodríguez, A., M. Rueda y F. Escobar. (Eds). 2015. Evaluación directa de las poblaciones de peces grandes pelágicos del Pacífico y Caribe continental de Colombia. INVEMAR y AUNAP. Serie de Publicaciones Generales de INVEMAR N° 87. Serie Recursos Pesqueros de Colombia - AUNAP 2015. Santa Marta, Colombia. 120p.
- Rueda, M., A. Rodríguez, J. Gómez-León, J. López, G. Ospina, M. Santos-Acevedo, D. Bustos, J. Viaña, A. Galeano, A. Girón, M. Bastidas, C. Ricaurte, D. Romero, J. Correa y G. Angulo. 2014. Prospección pesquera en el Caribe continental y océano Pacífico de recursos pelágicos y aportes a la maricultura de pepino de mar en el Caribe colombiano (Etapa I-2013). Convenio No. 0038-2013 AUNAP e INVEMAR. Informe Final Santa Marta. 211 p.
- Sato, M., J.K. Horne, S.L. Parker-Stetter y J.E. Keister. 2015. Acoustic classification of coexisting taxa in a coastal ecosystem. *Fisheries Research.*, 172: 130-136.
- Scrucca, L., M. M. Fop, T.B. Murphy y A.E. Raftery. 2016. mclust 5: clustering, classification and density estimation using Gaussian finite mixture models *The R Journal.*, 8(1): 205-233.
- Simmonds, E.J., N.J. Williamson, F. Gerlotto y A. Aglen. 1992. Acoustic survey design and analysis procedure: A comprehensive review of current practice. En: ICES Cooperative Research Report: *Rapport des Recherches Collectives*. No. 187: 112 p.
- Simmonds, J. y D. MacLennan. 2005. *Fisheries acoustics: theory and practice*. Blackwell Science, Oxford. 438 p.
- Rodriguez, A., F. Escobar, J. Correa y M. Rueda. 2017. Valoración biológico-pesquera de peces grandes pelágicos. Línea base ambiental de los bloques COL1 y COL2 en la cuenca sedimentaria del Caribe colombiano. Informe Técnico Final - Temática 1. P.P. En: Vides *et al.*, 2016. Levantamiento de información ambiental de sistemas marinos y costeros sobre el Caribe colombiano Fase II. Convenio 167 ANH-INVEMAR. INVEMAR, Santa Marta. 603 p.
- Zar, J.H. 1999. *Biostatistical Analysis*. 4th Ed. Prentice Hall, New Jersey. 663p.

## VI. ANÁLISIS DE MUESTRAS DE PISTON CORE

*Erika Montoya-Cadavid, Adibe Cárdenas, Carlos Benítez, Eliana Barrios, Israel Caicedo, Leonel Fernández, Sandra Pareja, Sara Guzmán, María Mutis, Juan Sebastián Cortes, Andrea Polanco, Cristina Cedeño y Catalina Arteaga.*

### 1 Alcance

En el marco regulatorio que otorga permisos de exploración de hidrocarburos sobre el mar territorial colombiano, las autoridades ambientales han hecho la solicitud a las empresas solicitantes, la entrega en custodia al INVEMAR de los primeros 15 cm de los núcleos obtenidos mediante tecnología coring, debido a la utilidad e importancia biológica de este material para el inventario de organismos de la infauna de los fondos sedimentarios profundos del país.

En el muestreo de fondos blandos mediante piston core, dada la baja representatividad del área muestral, el análisis de estas muestras (10 núcleos en total), estuvo enfocado en avanzar en el conocimiento taxonómico de los organismos infaunales, más no en realizar análisis de densidad, ni de atributos ecológicos que expliquen el comportamiento de la comunidad.

La elaboración del presente informe contribuye en gran medida al conocimiento taxonómico de la macrofauna bentónica (500 µm), tanto del bloque de exploración elegido (Guajira Offshore 1 - GUA OFF 1), como del Caribe colombiano, procurando realizar una identificación de los especímenes al nivel taxonómico más bajo posible (familia, género o especie), además de considerar algunos datos ecológicos relevantes para el tipo de muestras analizadas y el área en cuestión. Como valor agregado, se realizó la separación a grandes grupos taxonómicos de la meiofauna de tamaño grande (300 µm), con el ánimo de progresar en el conocimiento del bentos marino de Colombia.

### 2 Problema y su justificación

La infauna bentónica incluye grupos animales, incluidos protozoos (foraminíferos), de gran importancia debido a su alta diversidad y abundancia. Según Crisp (1984), estos organismos representan un importante eslabón en el flujo de energía de los productores primarios hasta los peces y en el reciclamiento de materia orgánica; igualmente, son buenos indicadores de perturbaciones de origen antrópico y naturales, por lo cual son utilizados ampliamente en programas de monitoreo, evaluación y vigilancia (Guzman-Alvis *et al.*, 2001). Es por ello que el conocimiento de la infauna bentónica en estudios de línea base, programas de monitoreo y planes de manejo radica en que, por su estrecha relación con el fondo, son generalmente de los primeros afectados ante cualquier perturbación ocasionada sobre los ecosistemas marinos.

### 3 Desarrollo/Hallazgos/Resultados

#### 3.1 Metodología utilizada

##### Área de estudio

Para el presente estudio, el área seleccionada para el análisis de núcleos de piston core, corresponde al bloque de exploración Guajira Offshore 1 - GUA OFF 1, ubicado en la parte norte del país aproximadamente a 50 km de la línea de costa del departamento de la Guajira. GUA OFF 1 posee alrededor de 100 km de largo en dirección oeste – este y su parte más ancha de alrededor 60 km en dirección norte – sur; con un gradiente de profundidad que oscila entre los 1.300 y 3.700 metros. Para el presente estudio, se seleccionó el bloque en mención teniendo en cuenta los siguientes criterios:

Es una de las regiones del país de la cual se tiene poca información correspondiente a comunidades de la infauna bentónica.

El rango batimétrico GUA OFF 1 incluye zonas desde los 1300 a los 3700 m, profundidades de interés para el estudio de los organismos infaunales del margen continental del Caribe colombiano, del cual es escasa la información publicada.

Por su ubicación geográfica, es probable que la composición de organismos bentónicos a encontrar sea contrastante a otras zonas del país de las cuales se tienen registros.

Para evaluar el bloque GUA OFF 1, se tomaron como base las estaciones que fueron muestreadas mediante núcleos de sedimentos obtenidos por la empresa Repsol en el año 2014 (Tabla 52 y Figura 219,), de los cuales fueron entregados en custodia al INVEMAR los primeros 15 cm extraídos del núcleo. Las estaciones fueron elegidas considerando los siguientes aspectos: (1) debían seleccionarse no más de 10 estaciones, en consideración a la capacidad de análisis con respecto al tiempo disponible, (2) evaluar un patrón, para lo cual se trazó un transecto paralelo al continente, procurando contar con al menos dos estaciones en una profundidad aproximada, para efectos de una mejor caracterización, y abarcar el bloque a lo largo y ancho.

Tabla 52. Estaciones seleccionadas para el análisis de núcleos de piston core.

| Estación | Profundidad (m) | Latitud N  | Longitud W   | Fecha      |
|----------|-----------------|------------|--------------|------------|
| E 01     | 3213            | 13°22.3643 | -72° 53.9200 | 13/10/2014 |
| E 02     | 3082            | 13°16.6865 | -72° 57.2638 | 13/10/2014 |
| E 03     | 3242            | 13°29.1277 | -71° 46.9415 | 06/11/2014 |
| E 04     | 2542            | 13°19.1792 | -72° 08.4036 | 06/11/2014 |
| E 05     | 2670            | 13°27.1201 | -72° 19.7328 | 15/10/2014 |
| E 07     | 2139            | 13°12.0538 | -72° 32.6852 | 04/11/2014 |
| E 15     | 2046            | 12°32.8619 | -72° 56.2408 | 31/10/2014 |
| E 45     | 1545            | 13°02.5294 | -71° 45.1593 | 25/10/2014 |
| E 46     | 2202            | 13°21.8422 | -71° 42.5860 | 26/10/2014 |
| E 57     | 1926            | 12°53.1800 | -72° 15.9280 | 30/10/2014 |

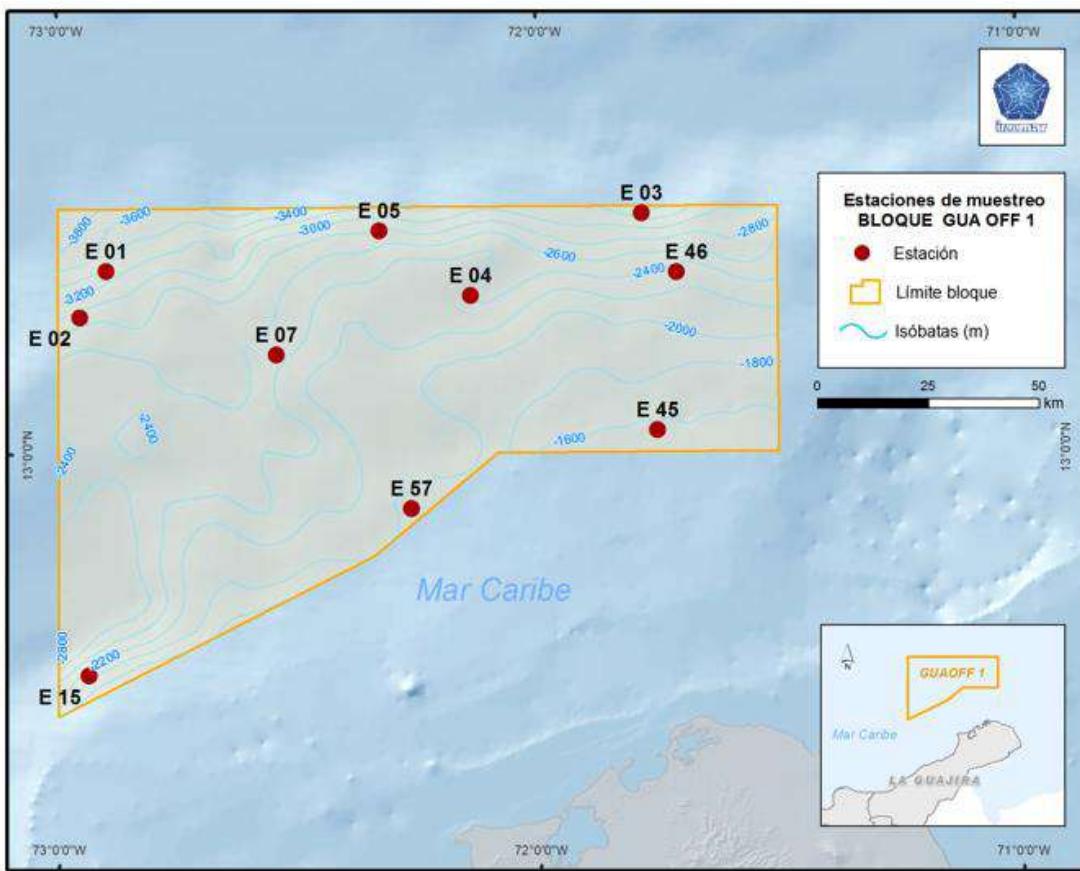


Figura 219. Localización de las estaciones de muestreo evaluadas en el área del bloque GUA OFF 1 para caracterizar la macrofauna bentónica a partir de núcleos de sedimentos. Imagen: Vasquez, L. (Labsis – Invemar, 2017).

### Fase de laboratorio

Las muestras analizadas corresponden a los primeros 15 cm de sedimento extraídos mediante nucleadores de 10 cm de diámetro, las cuales antes de ser entregadas en custodia al Invemar habían sido subdivididas en horizontes de 3 cm de espesor, fijadas con formalina (10%) y teñidas con rosa de bengala. Cada uno de los 5 horizontes por núcleo fue cernido con abundante agua para su desformolización, a través de tamices de 500 µm, 300 µm y 63 µm, de los cuales las fracciones retenidas en los tamices de 500 µm y 300 µm fueron preservadas en alcohol al 70% para su posterior separación a grandes grupos, mientras que la fracción de 63 µm fue almacenada para futuras investigaciones.

A partir de las muestras resultantes, se realizó una separación y primera identificación a grandes grupos taxonómicos con la ayuda de estereoscopios y lupas para asegurar la extracción de todos los organismos y su entidad a nivel de phylum. Posterior a la separación, se procedió a la identificación al nivel taxonómico más bajo posible (orden, familia, género o especie), para la macrofauna previamente separada ( $\geq 500 \mu\text{m}$ ). Particularmente para foraminíferos, se realizó la selección de todos los especímenes, separándolos por morfotipos, descartando el material en malas condiciones, contabilizando los ejemplares, y almacenándolos en microviales y placas para

microfósiles, marcados con el morfotipo y el código de la estación respectiva. Todo el material fue ingresado oficialmente a las colecciones del Museo de Historia Natural Marina de Colombia Makuriwa (MHNMC) para su catalogación y documentación acorde a los lineamientos establecidos.

La identificación fue realizada hasta la jerarquía taxonómica más baja posible, usando la morfología externa de los organismos mediante observación con estereoscopio convencional; para los foraminíferos se siguieron las claves, descripciones y estudios de Cushman (1933, 1948), Pflum y Frerich (1976), McCulloch (1981), Loeblich y Tappan (1988), Jones (1994); Kaminski y Grandstein (2005), Sen Gupta *et al.* (2009), Houlbourn *et al.* (2013) y Hayward *et al.* (2014). Para los anélidos se usaron como referentes De León-González *et al.* (2009), Rouse y Pleijel (2001) y Beesley *et al.* (2000); para los artrópodos Barnard (1960), Brandta *et al.* (2004) y Heard *et al.* (2004); para los moluscos Barwick y Cadieu (2005), Scheltema y Schander (2000) y Todt *et al.* (2008); para nemátodos Keppner y Tarjan (1989), Tarjan y Robert (1977) y Tarjan y Keppner (1999), y sipuncúlidos Cutler (1994). Las autoridades taxonómicas fueron verificados mediante la base de datos del Registro mundial de especies marinas - WoRMS por sus siglas en inglés ([World Register of Marine Species - www.marinespecies.org/](http://www.marinespecies.org/)).

### Análisis de la información

Se construyeron matrices de abundancia de individuos por phylum y familia (género o especie según el caso) para cada uno de los cinco horizontes de los núcleos seleccionados, utilizando el programa Microsoft® Excel®. Se realizaron además gráficos de barras para la densidad y riqueza de individuos por phylum y por estación.

En general se realizó un análisis descriptivo para los phyla encontrados y en el caso particular de los foraminíferos bentónicos, debido a su gran número y dominancia en las muestras evaluadas, se llevó a cabo una valoración de la fauna total (especímenes vivos y muertos) y se determinaron los ensamblajes. Los análisis se realizaron con el software Primer-E v.6 (Clarke y Warwick, 1994). Para ello, con base en la composición cuantitativa de las especies identificadas en el total de estaciones, se efectuó un análisis de agrupamiento (Cluster) aplicando el índice de similaridad de Bray-Curtis, y se realizó un análisis de escalamiento multidimensional (NMDS) para corroborar dichos agrupamientos. Los datos fueron previamente estandarizados y transformados a raíz cuarta acorde con Taylor (1961). La significancia estadística de las agrupaciones obtenidas en el Cluster se evaluó con la rutina SIMPROF. Se calcularon los índices de diversidad de Shannon, uniformidad de Pielou y predominio de Simpson. Para evaluar las diferencias significativas entre las variables se realizó un análisis de similitud (Anosim) bajo la hipótesis nula de que no existían diferencias entre los ensamblajes; y se aplicó la rutina SIMPER para determinar el porcentaje de similitud entre los mismos. De forma complementaria se elaboró un análisis inverso modificado de Kaandorp (1986) para caracterizar cada ensamblaje y determinar las especies exclusivas, muy características, características y generalistas, con base en la composición, la abundancia y la frecuencia de aparición.

## 3.2 Presentación de los Hallazgos y Resultados:

### 3.2.1 Composición y abundancia global

#### Composición

Se cuantificaron un total de 3.513 especímenes macrofaunales, pertenecientes a 85 taxones incluidos en seis (6) phyla: Annelida, Arthropoda, Foraminifera, Mollusca, Nematoda y Sipuncula (Anexo 1). De los phyla encontrados, foraminifera fue el grupo con mayor riqueza de taxones (64), mientras que Mollusca Nematoda y Sipuncula fueron los taxones con menor riqueza con un taxón encontrado (Figura 220).

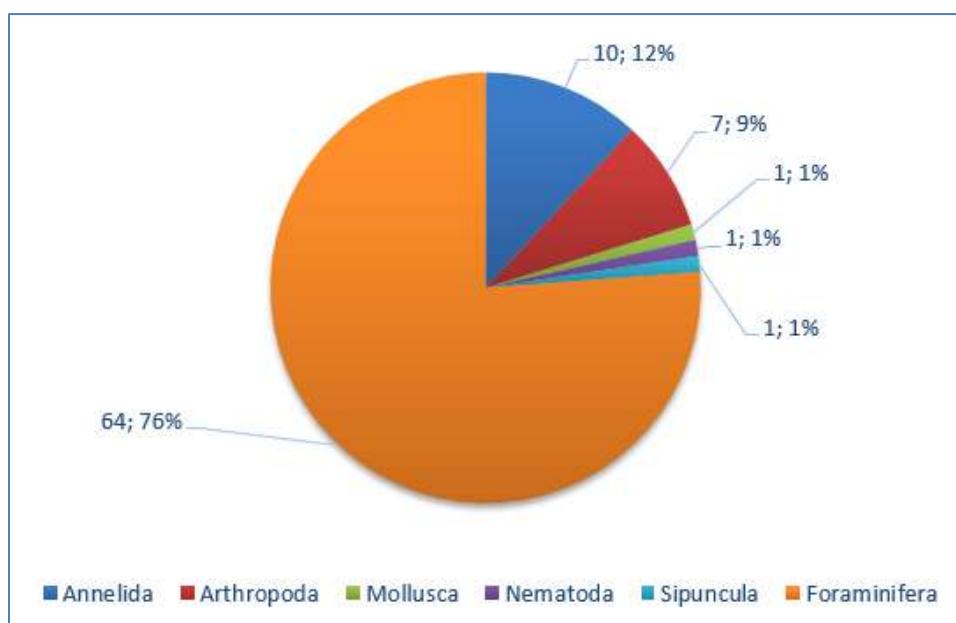


Figura 220. Número de familias y/o especies por phylum de la macrofauna bentónica encontrada en las muestras seleccionadas de piston core de GUA OFF 1.

En cuanto al número de taxones por estación de muestreo, E 04 y registró la mayor riqueza con 38 taxones, mientras que en E 15 se presentó la menor riqueza con 8 familias y/o especies (Figura 221). En cuanto a la riqueza encontrada por horizonte a nivel general, se observó mayor riqueza general de la macrofauna del horizonte 1 con 49 taxones, mientras que el horizonte 5 mostró menor riqueza general con 27 taxones (Figura 222).

#### Abundancia

En cuanto a los valores de abundancia, se encontró que Foraminifera fue el grupo dominante representando el 98,9 % de la abundancia total, seguido de Annelida, con una abundancia de 1%, tal como se muestra en la Figura 223. En cuanto a la frecuencia de ocurrencia (FO), los phyla Annelida, Arthropoda y Foraminifera se presentaron en la totalidad de las estaciones seleccionadas para el análisis (%FO: 100), mientras que Mollusca, Nematoda y Sipuncula estuvieron representados por un solo individuo ocurriendo en una sola estación de muestreo (%FO: 10) (*Tabla 53*).

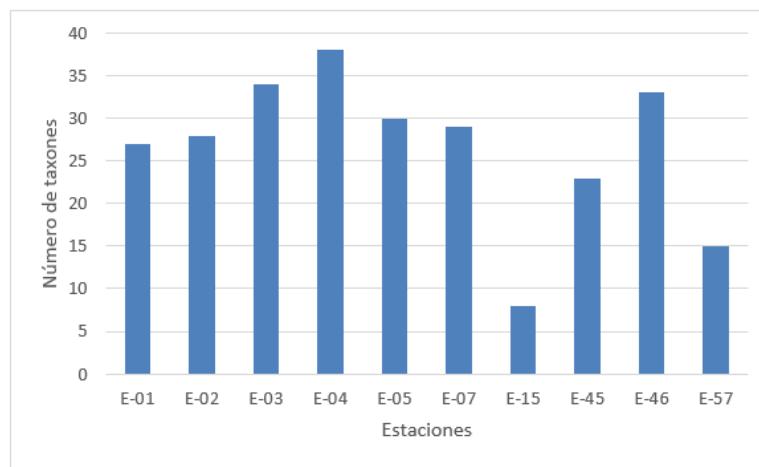


Figura 221. Número de taxones de la macrofauna bentónica encontrada por estación en las muestras seleccionadas de piston core de GUA OFF 1.

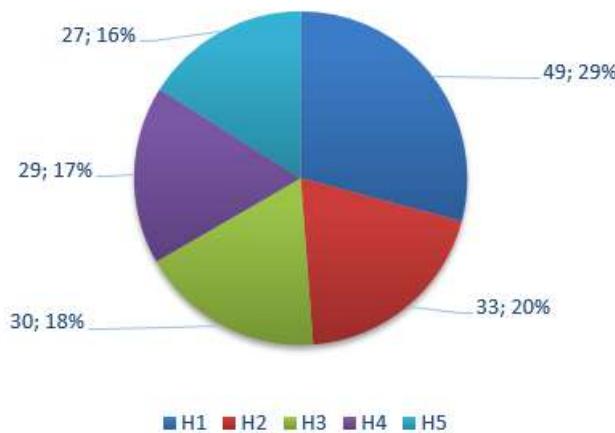


Figura 222. Número de taxones de la macrofauna bentónica encontrada por horizonte en las muestras seleccionadas de piston core de GUA OFF 1.

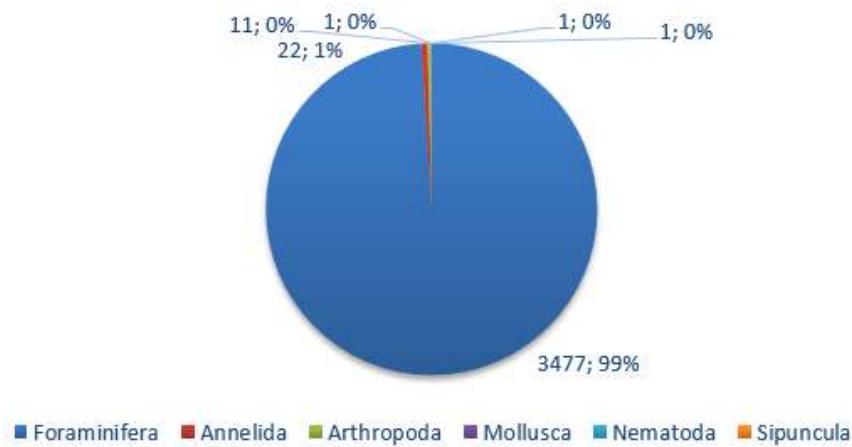


Figura 223. Abundancia por phyla de macrofauna bentónica encontrada por horizonte en las muestras seleccionadas de piston core de GUA OFF 1.

Tabla 53. Abundancia y total, Abundancia relativa (AR) y frecuencia de ocurrencia (FO), de los phyla encontrados en los núcleos seleccionados de piston core de GUA OFF 1.

| Phylum              | Abundancia total | %AR    | %FO |
|---------------------|------------------|--------|-----|
| <b>Foraminifera</b> | 3477             | 98,975 | 100 |
| <b>Annelida</b>     | 22               | 0,626  | 80  |
| <b>Arthropoda</b>   | 11               | 0,313  | 70  |
| <b>Mollusca</b>     | 1                | 0,028  | 10  |
| <b>Nematoda</b>     | 1                | 0,028  | 10  |
| <b>Sipuncula</b>    | 1                | 0,028  | 10  |

En cuanto al número de individuos por estación seleccionada, se evidencio que la estación E-03 presentó las mayores abundancias, mientras que la estación E-15 tuvo la menor abundancia (Figura 224). Estos resultados muestran una marcada diferencia entre profundidad y distribución vertical de las estaciones, siendo la estación más profunda y la ubicada en la parte más alejada de la línea de costa, la estación con mayor abundancia de individuos.

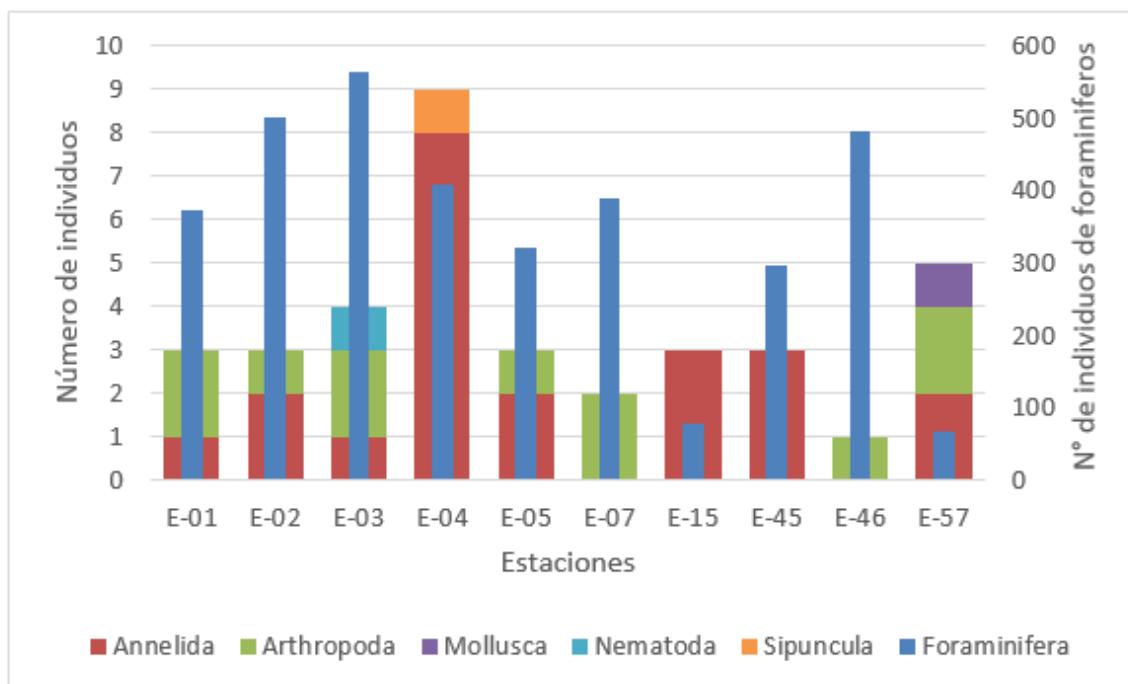


Figura 224. Abundancia por phyla por estación de la macrofauna bentónica en las muestras seleccionadas de piston core de GUA OFF 1.

En cuanto a las abundancias generales por horizonte, se observó que el horizonte 1, a modo general evidenció un mayor número de individuos, representando el 24% de la abundancia total, mientras que el horizonte 4 evidenció de manera general un menor número de individuos, representando el 18% de la abundancia general (Figura 225).

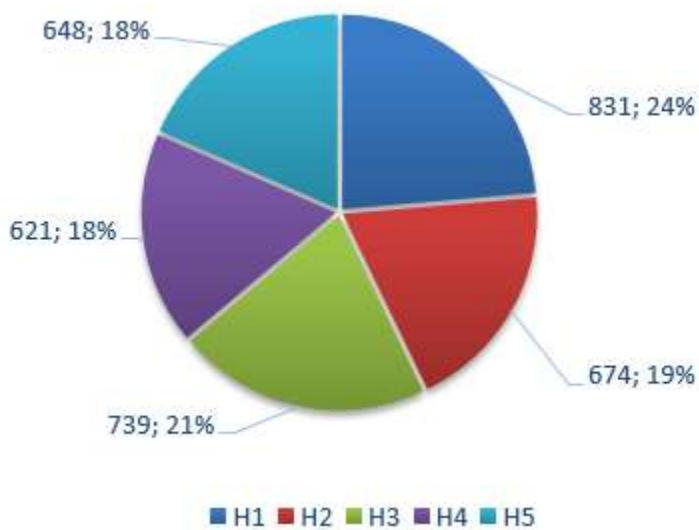


Figura 225. Abundancia por horizonte a modo general de la macrofauna bentónica en las muestras seleccionadas de piston core de GUA OFF 1.

### 3.2.2 Descripción de los phyla macrofaunales provenientes de los núcleos de piston corer seleccionados del bloque GUA OFF 1

Como se mencionó previamente, el propósito del presente estudio fue proveer un inventario taxonómico de la macrofauna bentónica proveniente de 10 núcleos seleccionados de estaciones encontradas en el bloque GUA OFF 1. Como los análisis taxonómicos evidenciaron dominancia del phylum Foraminifera, para este grupo se mostrará más adelante una valoración de la fauna total (especímenes vivos y muertos) y se determinaron los ensamblajes. Para el resto de phyla registrados se realiza a continuación un análisis descriptivo. El Anexo 1 muestra el listado taxonómico total de los individuos encontrados en las muestras analizadas con su respectiva clasificación taxonómica.

#### 3.2.2.1 Phylum Annelida

Los anélidos, comprenden un grupo de gusanos segmentados que se encuentran en todos los ambientes conocidos, predominando su ocurrencia en ambientes marinos. El cuerpo de los anélidos consta de un plan metamérico, carácter compartido con el Phylum Arthropoda, en el cual el cuerpo del animal está dividido en segmentos con repetición de ciertas estructuras. Dentro de los anélidos la clase Clitelatta está comprendida por las comúnmente conocidas lombrices de tierra (Subclase Oligochaeta), y las sanguijuelas (Subclase Hirudinea); mientras que la clase Polychaeta, incluye a los gusanos marinos, aunque existen algunos representantes de agua dulce y de ambientes terrestres que, aunque no tan conocidos por el hombre, incluyen la clase más diversa y abundante del phylum.

En el fondo marino, los organismos que integran la clase Polychaeta han tenido gran éxito en la colonización de sedimentos marinos, lo que es atribuido a las características propias del grupo, como son la talla corporal, presencia de apéndices especializados para la alimentación y desplazamiento en el sedimento, la realización de estructuras como tubos, galerías o madrigueras para su protección, así como a la variedad de fuentes de alimentación, al aprovechar varios recursos al tiempo o solo uno que es especialmente abundante en el medio (Blake y Valentich-Scott, 1997; Beesley *et al.*, 2000; Fauchald y Jumars, 1979).

Para el presente estudio, se cuantificaron un total de 22 anélidos incluidos en 10 familias, de las cuales nueve (9) fueron poliquetos (Dorvilleidae, Syllidae, Owenidae, Siboglinidae, Spionidae, Cirratulidae, Capitellidae, Maldanidae y Paraonidae) y una familia perteneciente a la clase Clitelatta, subclase Oligochaeta (Naididae). De las familias encontradas, Cirratullidae fue la más abundante con ocho individuos encontrados, representando el 36% de la abundancia de los anélidos, seguido de la familia Spionidae con tres (3) individuos, representando el 14% de la abundancia total de anélidos (Figura 226).

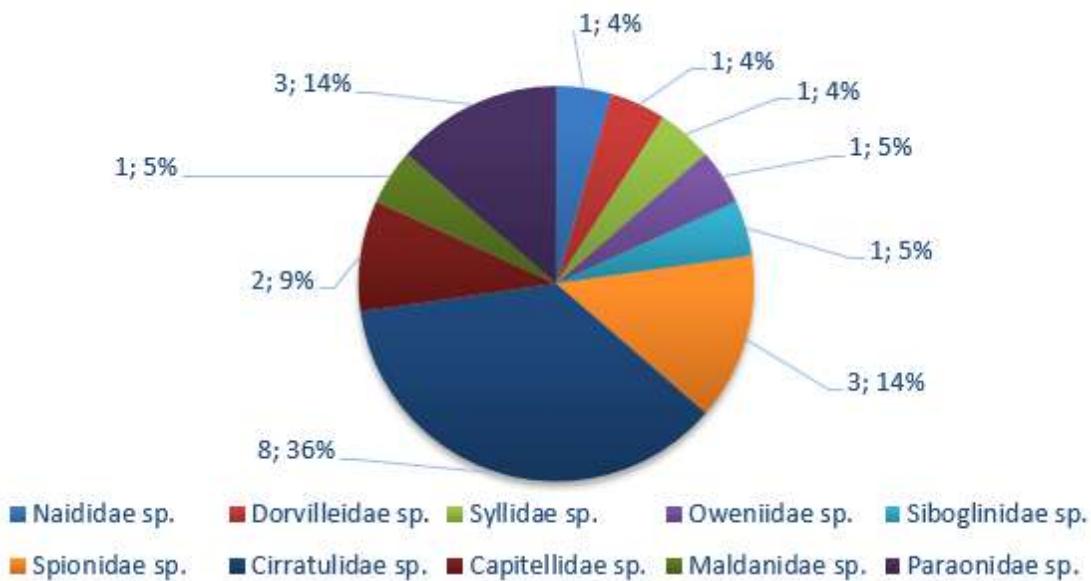


Figura 226. Abundancia de las familias de anélidos de la macrofauna bentónica en las muestras seleccionadas de piston core de GUA OFF 1.

En cuanto a las estaciones escogidas para el análisis de muestras, E-04, fue la que presentó mayor abundancia y riqueza de individuos, con 8 especímenes pertenecientes a cinco (5) familias, de las cuales Naididae tuvo su único representante, mientras que en la estación E-46 no se encontraron representantes de este phylum (Figura 227). La Figura 228 muestra algunos especímenes del phylum Annelida, encontrados en el presente estudio para los núcleos de piston core analizados.

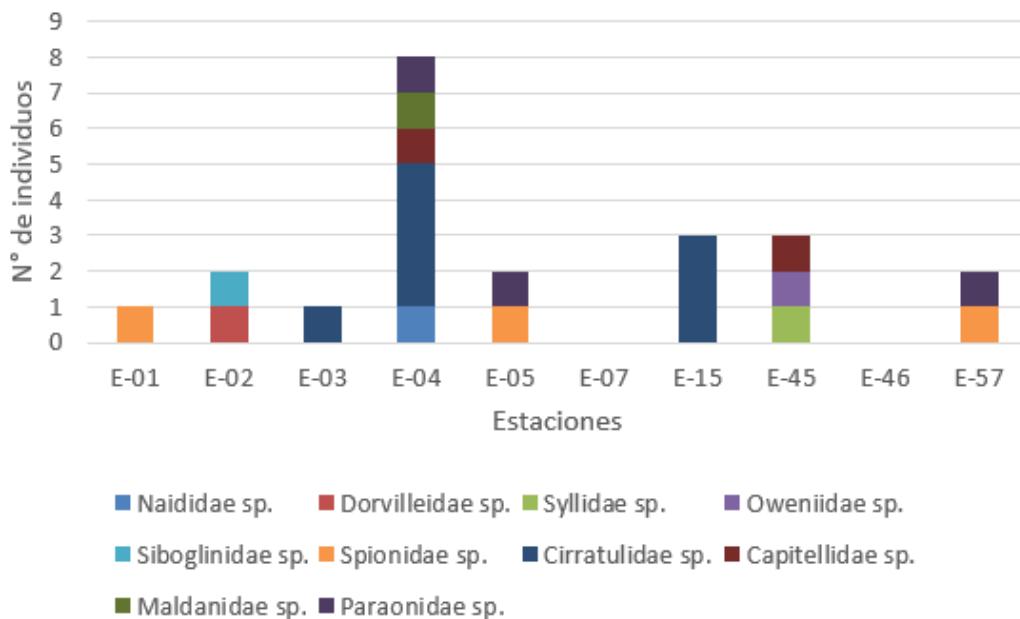


Figura 227. Abundancia de las familias de anélidos por estación de la macrofauna bentónica en las muestras seleccionadas de piston core de GUA OFF 1.

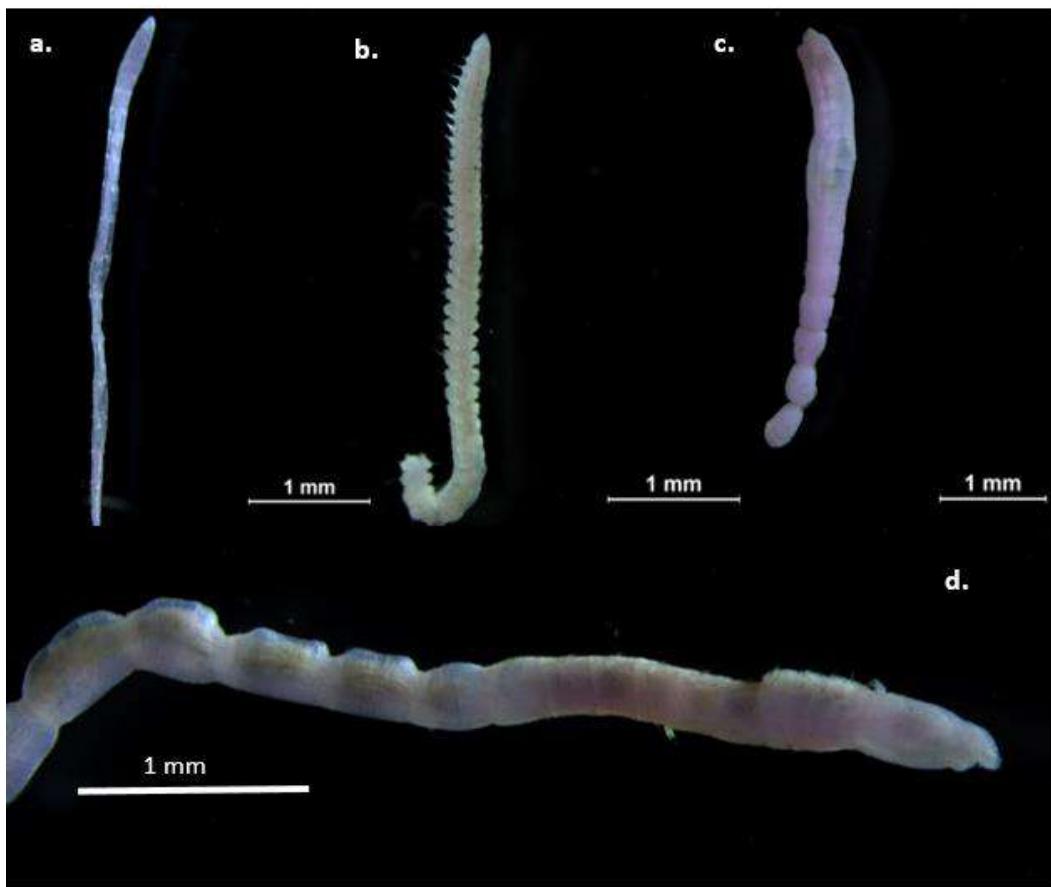


Figura 228. Algunos representantes del phylum Annelida encontrados en las muestras de piston corer: a. Naididae (Oligochaeta), b. Paraonidae, c. Capitellidae, y d. Cirratullidae.

### 3.2.2.2 Phylum Arthropoda

El phylum Arthropoda, incluye organismos caracterizados morfológicamente por tener apéndices articulados, y un gran número de adaptaciones biológicas que evolutivamente les ha permitido ser el grupo taxonómico más importante en términos de abundancia y diversidad. En el mar, los artrópodos son en su mayoría crustáceos, presentando gran abundancia y representatividad en todos los ecosistemas marinos conocidos.

Para el presente estudio, se cuantificaron un total de 11 individuos pertenecientes los artrópodos, incluidos en 7 familias o taxones: Halacaridae, Senticulata, Desmosomatidae, Bairdidae, Trachyleberididae, Thaerocytheridae y Cyntheroidea. De las familias mencionadas, Trachyleberididae predominó en términos de abundancia con 3 individuos presentes, representando el 28% de la abundancia total de artrópodos registrada (Figura 229).

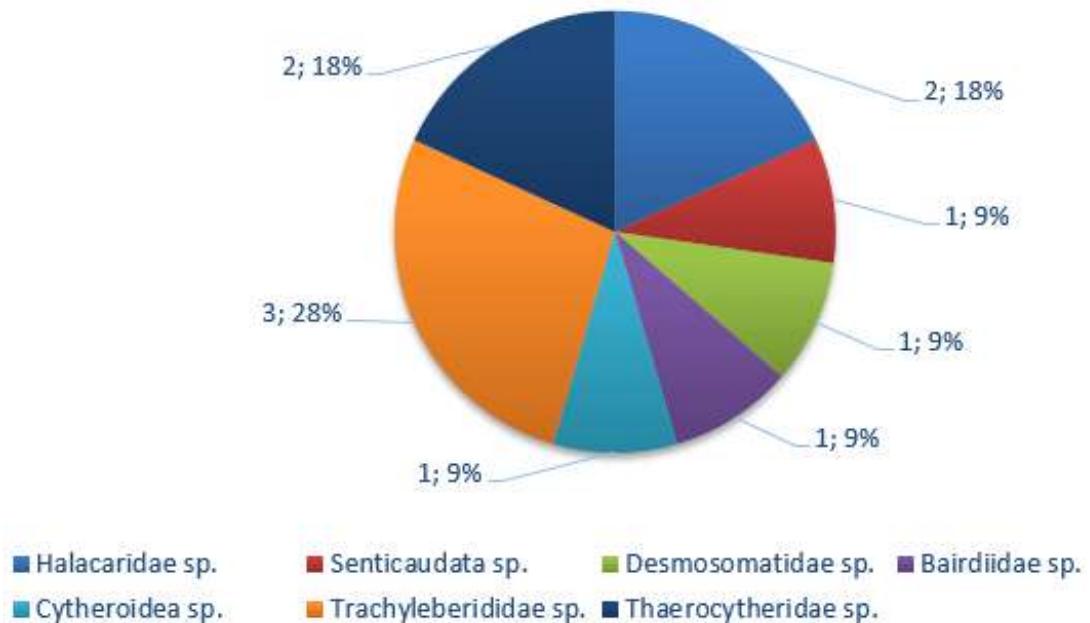


Figura 229. Abundancia de las familias de anélidos de la macrofauna bentónica en las muestras seleccionadas de piston core de GUA OFF 1.

Para las estaciones de muestreo, se presentaron valores de abundancia uniformes en las estaciones E-01, E-03, E-07 y E57, con dos individuos, mientras que las estaciones E-04, E-15 y E-45, no registraron artrópodos (Figura 230).

De las familias encontradas, Trachyleberididae (Figura 231), la cual fue dominante dentro del phylum, es una de las familias más diversas de la Clase Ostracoda, incluye más de 120 géneros de ostrácodos marinos vivos y fósiles pertenecientes a todos los ambientes marinos desde el litoral hasta la batial (Sciuto, 2014).

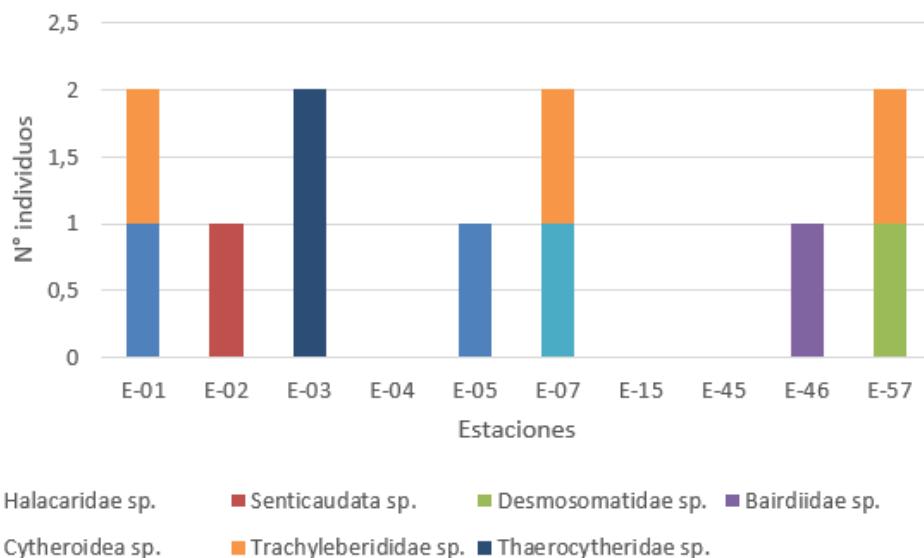


Figura 230. Número de individuos por estación de las familias de artrópodos encontradas en las muestras de piston corer provenientes del bloque GUA OFF 1.

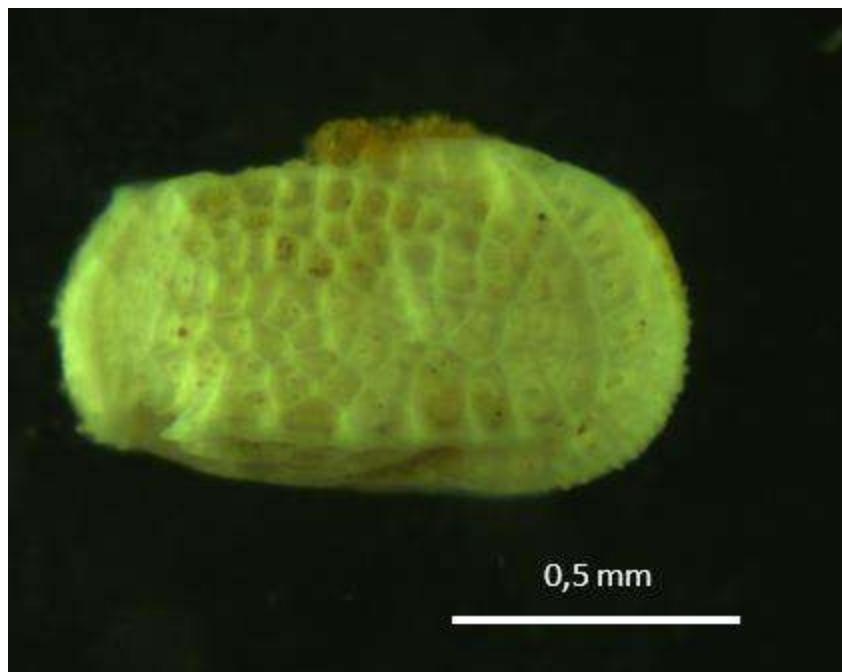


Figura 231. Representante de la familia Trachyleberididae encontrada en las muestras de Piston core.

### 3.2.2.3 Phylum Mollusca

El phylum Mollusca incluye organismos eucelomados, protostomados de cuerpo blando, caracterizados por poseer un cuerpo con pie y usualmente concha de carbonato de calcio. Dentro de Mollusca, existen alrededor de 50.000 especies descritas de moluscos vivientes y alrededor de 60.000 registros de especies fósiles (Brusca y Brusca,

2003), siendo el segundo grupo del reino animal más diverso y exitoso a nivel evolutivo por encontrarse en todos los ambientes conocidos.

Para las muestras analizadas, se registró un único individuo perteneciente a la estación E-57 del taxón Neomeniamorpha (Figura 232), perteneciente a la clase Solenogastres, siendo un grupo caracterizado por carecer de concha y tener un cuerpo vermiforme.



Figura 232. Representante del taxón Neomeniamorpha encontrada en las muestras de Piston core.

Estos organismos aún poco conocidos, previamente incluidos dentro de Aplacochora, antes reconocida como clase (Worms, 2009), junto con la clase Caudofoveata, representan los únicos moluscos que carecen de una concha calcárea bien formada, caracterizándose principalmente por la formación de un manto cubierto de cutícula y escleritos (escamas o espículas) calcáreas, y por tener lateralmente un cuerpo redondeado con un pie marcado longitudinalmente con un disco pedal. Son generalmente de tamaño pequeño, encontrándose únicamente en ecosistemas marinos (Von Salvini-Plawen, 2003).

### 3.2.2.4 Phylum Nematoda

El phylum Nematoda incluye a un grupo de invertebrados altamente conocido en términos médicos, pero también con gran importancia en términos de diversidad, abundancia y ecología de especies. Los nematodos son gusanos redondos, pseudocelomados, caracterizados por tener una cutícula gruesa y cordón nervioso ventral y dorsal.

Los nematodos se alimentan de bacterias, microalgas, detritos, protozoos y metazoos. Ecológicamente participan en el reciclaje de la materia orgánica en descomposición e incrementan la bioturbación del sedimento lo que genera un hábitat propicio para otros organismos de la macro y meiofauna (Creer *et al.* 2010; Bhadury *et al.* 2008). Son reconocidos como indicadores del estado de salud de los biomas por su capacidad de rápida respuesta ante cambios ambientales y representan un componente muy importante en los ecosistemas bentónicos ya que la presencia de este grupo mantiene la diversidad de la comunidad procariota del sedimento (Giere, 2009).

Los nematodos se han diferenciado morfológicamente según el hábito trófico propuesto por Wieser (1953), que se basa en la forma del aparato bucal y en los hábitos tróficos del animal, de modo que se diferencian dos grandes grupos (Grupo 1 y Grupo 2) sin y con armadura bucal; adicionalmente se hace una subdivisión según el tamaño y forma de la cavidad bucal (Grupo A y Grupo B) (Figura 233), de modo que surgen cuatro categorías: 1A: Alimentadores selectivos de material depositado, 1B: Alimentadores no selectivos de material depositado, 2A: Alimentadores del episustrato y 2B: Omnivoros/predadores.

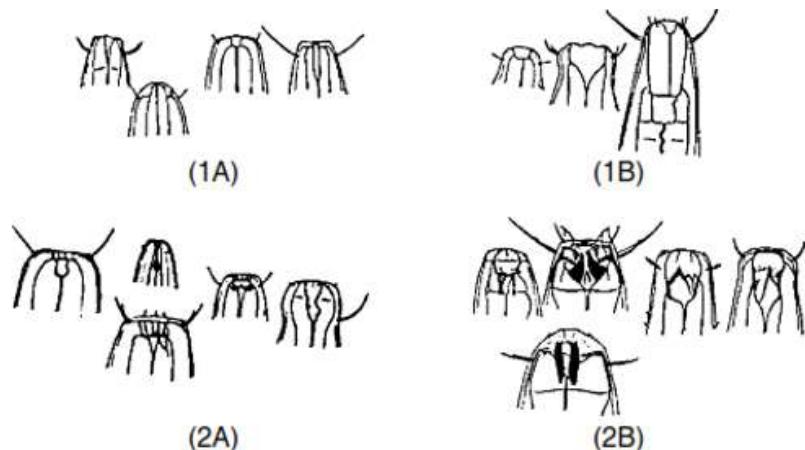


Figura 233. Organización según el hábito trófico propuesta por Wieser (1953). 1A. Alimentadores selectivos de material depositado. 1B. Alimentadores no selectivos de material depositado. 2A. Alimentadores del episustrato. 2B. Omnivoros/predadores. Modificado de Wieser, 1953.

Para las muestras analizadas de los núcleos de piston corer seleccionados, provenientes del bloque GUA OFF 1, se registró un único individuo perteneciente a la estación E-03 de la familia Axonolaimidae (Figura 234), la cual, según Heip *et al.* (1982) se caracteriza por encontrarse en sustratos arcillosos y lodosos, sin embargo, al no contar con los datos granulométricos de la zona, no se puede corroborar lo dicho por los autores para el presente estudio.



Figura 234. Representante de la familia Axonolaimidae encontrada en las muestras de Piston core. Escala: 30  $\mu$ m

### 3.2.2.5 Phylum Sipuncula

El phylum Sipuncula incluye organismos eucelomados, vermiformes, de cuerpo blando y sin segmentación, con representantes exclusivamente marinos. Su cuerpo está formado por dos regiones, un tronco y una parte más delgada llamada introverte el cual es retráctil, ambas con una serie de estructuras como papillas, ganchos quitinosos y escudos callosos, dándole una apariencia particular a estos organismos (Cutler 1994).

Son exclusivamente marinos, encontrados desde aguas tropicales hasta polares, por lo que los consideran con una amplia distribución, y cuyo gradiente batimétrico va desde la zona intermareal hasta la abisal. Son característicos en fondos en los que predominan lodos y limos, como el de este estudio, lo cual se relaciona con su tipo de alimentación (ingieren material particulado que su cuerpo procesa y extrae nutrientes, algas y otros organismos pegados).

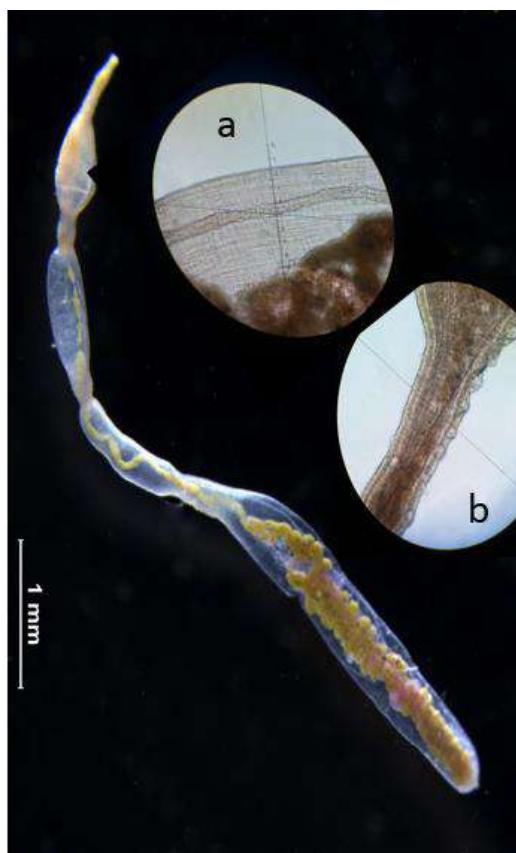


Figura 235. Representante de la familia Golfingidae, phylum Sipuncula, encontrada en las muestras de Piston core: a. Musculatura longitudinal continua, b. Papillas en introverte.

Algunos viven libres en el sedimento pero es común encontrarlos en conchas de moluscos y tubos de poliquetos abandonados de los que obtienen protección. Dentro de los fondos blandos desempeñan el papel de bioturbadores del sedimento, lo cual permite la oxigenación del sustrato, y son también parte fundamental de la cadena trófica, siendo la fuente de anémonas, gasterópodos, cefalópodos, cangrejos y peces y, en algunos casos, humanos (Kedra y Murina, 2007).

Para el presente estudio se registró un único individuo de la familia Golfingidae (Figura 235), encontrándose en la estación E-04 la cual se encuentra a 2542 m de profundidad.

### 3.2.2.6 Phylum Foraminifera

El análisis de los foraminíferos bentónicos (FB) involucró a la tanatocenosis de los sedimentos del Bloque, es decir que incluyó tanto ejemplares que estaban vivos al momento de la colecta, como los que ya se encontraban muertos. En las muestras analizadas se encontraron un total de 3477 individuos, que corresponden a 64 especies de 4 clases, 8 órdenes, 11 subórdenes, 23 superfamilias, 32 familias, 27 subfamilias y 48 géneros (**Anexo 1**). En general la identificación taxonómica fue determinada hasta especie en un 65%, con diferentes alcances de certidumbre; mientras un 33% fue llevada hasta género, y el 2% restante (una especie) quedó indicada hasta la categoría de familia (Tabla 54).

*Tabla 54. Alcance y certeza en la identificación taxonómica de los foraminíferos bentónicos de las muestras analizadas para el Bloque GUA OFF 1. cf: especie por confirmar; aff.: especie afin; NID: especie no identificada, pero si diferenciada (p. ej. sp. 1, sp. 2, etc.).*

| Taxón alcanzado | Total morfoespecies identificadas | Certificador de identificación |     |      |     |
|-----------------|-----------------------------------|--------------------------------|-----|------|-----|
|                 |                                   | Completa                       | cf. | aff. | NID |
| <b>Familia</b>  | 1                                 | 1                              |     |      |     |
| <b>Género</b>   | 21                                | 20                             | 1   |      |     |
| <b>Especie</b>  | 42                                | 12                             | 8   | 10   | 12  |

Las características consideradas principalmente para establecer la identidad fueron: tipo de pared (aglutinada o calcárea), tipo de testa (simple, compuesta), forma de la testa (irregular, esférica/globosa, piriforme, tubular, plana, triangular/trapezoidal, petaloidea, crescentica), disposición de las cámaras (uniserial, biserial, triserial, trocoespiral, planispiral, anular, miliolide), presencia de perforaciones, forma de la abertura (redonda, dentada, con labio o cuello, oval, arqueada, tipo hendidura, radiada, porosa, cribada), posición de la abertura (terminal, basal, umbilical, no visible, forma de las suturas (deprimidas, rectas, curvas, punteadas, engrosadas) y tipo de ornamentación de la testa (costillas, espinas, estrías, fistulas, etc.).

En términos de taxa, el orden Rotaliida fue el más distintivo incluyendo 21 especies, seguido por Lagenida con 17 y Lituolida con 11 (Figura 236). Por familias las mayores riquezas fueron para Vaginulinidae (8), Buliminidae (6), Cibicididae (6) y Nodosariidae (4), seguidas por Ammosphaeroidinidae y Huarenidae cada una con tres especies; las demás familias equivalentes al 87%, estuvieron representadas por menos de dos especies (Figura 237a). En relación a la abundancia, los mayores valores fueron hallados en Huarenidae con 554 individuos, Nonionidae con 500, Gavelinellidae con 477 y Alabaminidae con 455 (Figura 237b).

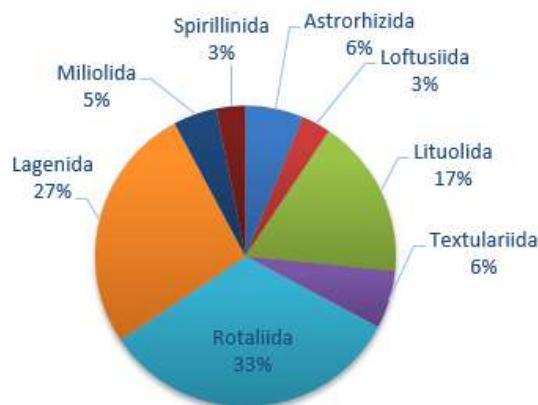


Figura 236. Composición porcentual de los órdenes de foraminíferos bentónicos encontrados en las estaciones analizadas del Bloque GUA OFF 1.

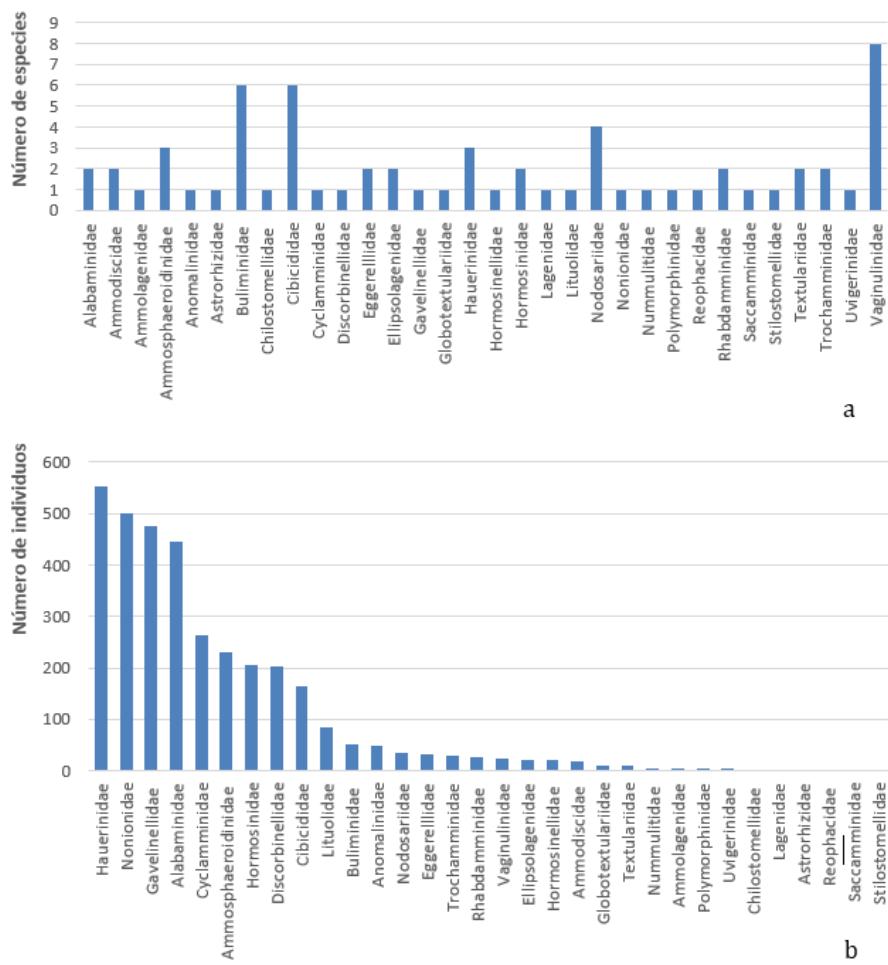


Figura 237. Familias de foraminíferos bentónicos encontrados en las estaciones analizadas en el Bloque GUA OFF 1. (a): Riqueza de especies por familia. (b): Abundancia por familia.

Para las especies, las mayores abundancias se encontraron en *Pullenia* sp., *Gyroidina* sp., *Alabamina* sp. y *Pyrgo* sp.; y las que se registraron con mayor frecuencia fueron

*Pullenia* sp. y *Gyroidina* sp. en el 100% de las estaciones, *Laticarinina pauperata* en el 90%, *Cibicidoides* sp., *Dentalina cuvieri*, *Pyrgo* sp., *Simoilopsis* sp., *Alabama* sp. y *Hormosina globulifera* en el 80%, seguidas por *Cyclammina* aff. *cancellata*, *Ammobaculites agglutinans*, *Cribrostomoides* aff. *subglobosus*, *Osangularia* sp., *Cibicidoides* sp. y *Pyrgo lucernula* en el 70%.

Respecto a las estaciones, la frecuencia de aparición indicó que solo dos especies se presentaron en la totalidad de las estaciones y una especie fue recurrente en 9 de ellas; mientras 23 especies se encontraron en una única estación (Figura 238). Las localidades más ricas fueron la E 46 y E 04 con 32 especies cada una, y E 03 con 31; las cuales contrastaron con E 57 y E 15 donde se registraron el menor número de especies, 10 y 7 respectivamente (Figura 239a; Anexo 2). Las mayores abundancias se obtuvieron en su orden en E 03, E 02 y E 46 con un total de 564, 500 y 481 ejemplares respectivamente; los menores valores se encontraron asociados a la estación E 57 con un registro de 66 individuos, seguida de cerca por E 15 con 78 ejemplares (Figura 239b; Anexo 3).

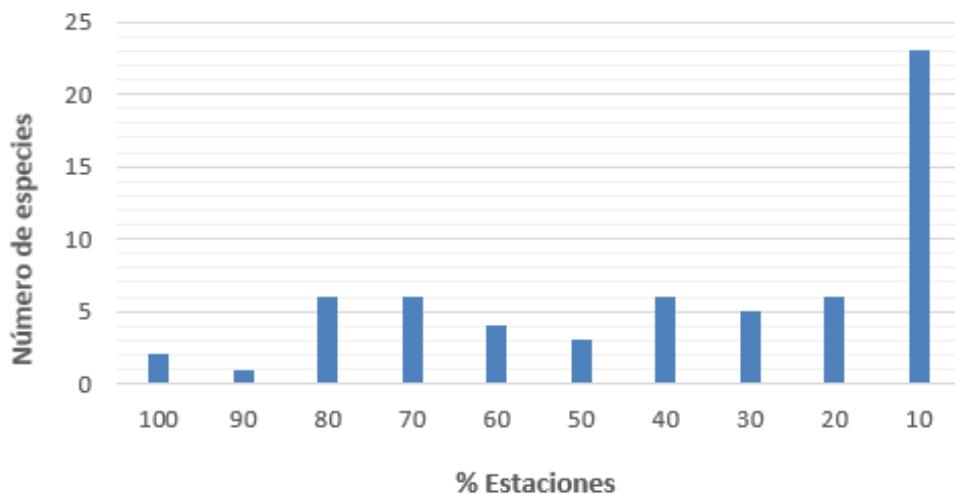
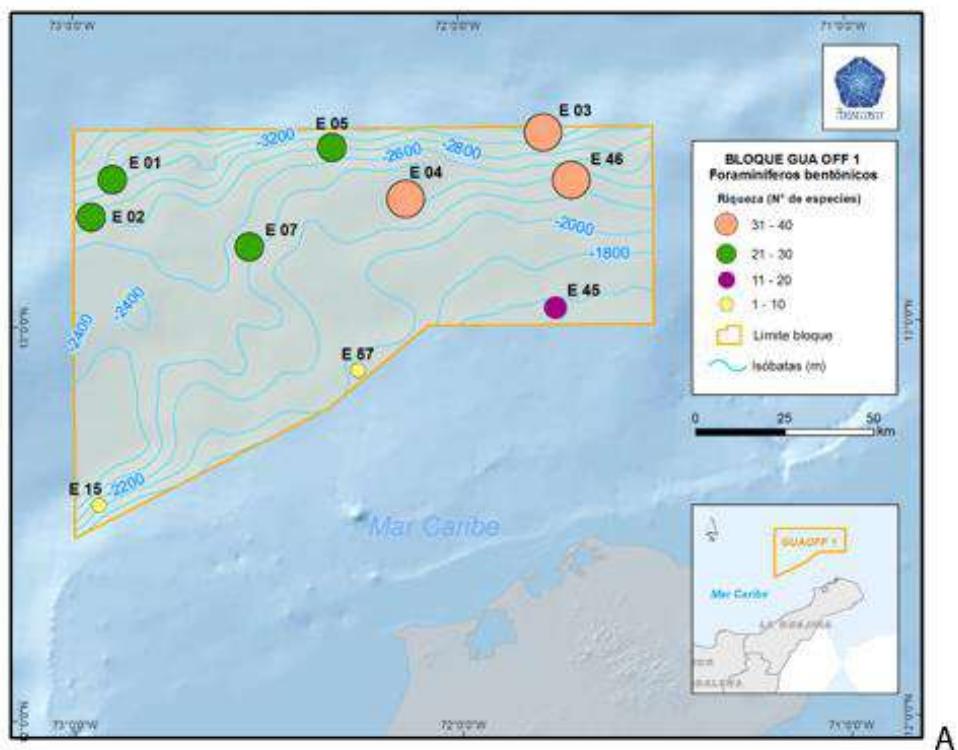
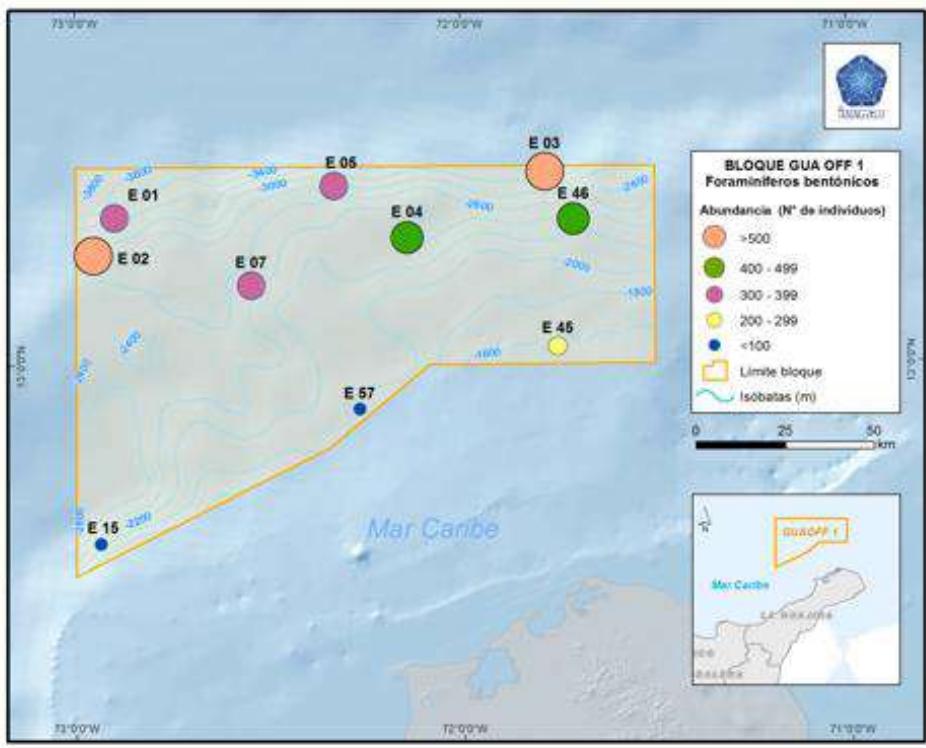


Figura 238. Frecuencia de aparición de especies de foraminíferos bentónicos en las 10 estaciones analizadas del Bloque GUA OFF 1.

Tomando en cuenta la estructura de la pared de la testa (Tabla 55), se encontraron un total de 936 especímenes con pared aglutinada, representados por 24 especies, de las cuales el 46% son del orden Lituolida. Asimismo, se contabilizaron 73 individuos con pared calcificada tipo hialino pertenecientes a 14 especies, en su mayoría del orden Lagenida. Los organismos con pared calcificada porcelanoide sumaron 2468 ejemplares correspondientes a 25 especies de Rotaliida.



A



B

Figura 239. Representatividad de la tanatocenosis de foraminíferos bentónicos en las 10 estaciones evaluadas en el bloque GUA OFF 1. (a) Riqueza. (b) Abundancia.

Tabla 55. Relación del número de foraminíferos bentónicos encontrados con pared de tipo calcáreo hialino, calcáreo porcelanoide y aglutinado, con respecto a las profundidades evaluadas en el bloque GUA OFF 1.

| Profundidad (m)    | Foraminíferos hialinos (No. indiv.) | Foraminíferos porcelanoides (No. indiv.) | Foraminíferos aglutinados (No. indiv.) |
|--------------------|-------------------------------------|--|--|
| <b>100 - 2000</b>  | 6                                   | 336                                      | 20                                     |
| <b>2000 - 3000</b> | 42                                  | 1282                                     | 355                                    |
| <b>&gt;3000</b>    | 25                                  | 850                                      | 561                                    |

### 3.2.3 Ensamblajes de especies

El análisis de agrupamiento realizado en conjunto con el SIMPROF con base en las abundancias totales por estación, evidenció en el dendograma tres asociaciones estadísticamente significativas (Figura 240a); sin embargo, el ordenamiento multidimensional (NMDS) mostró un resultado diferente con la conformación de dos grupos bien distantes entre sí (estrés 0,01) (Figura 240b): uno incluía las estaciones E15 y E57 (Grupo II), y el otro asociaba a las demás estaciones (Grupo I), pero éstas aparecían superpuestas y no era posible visualizar con claridad la relación de las mismas. Esta esquematización evidenció una interferencia de escala en la gráfica, la cual se debe a lo distante (disímil) del Grupo II en términos de las abundancias de sus estaciones. Considerando este hecho y con el objeto único de poder observar la conformación interna del grupo I, se procedió a hacer un nuevo NMDS excluyendo al Grupo II (que evidentemente es una asociación diferente); de este modo, se expresó que en lo que parecía ser el Grupo I, en realidad se conformaban dos asociaciones estadísticamente significativas en términos de las especies y sus respectivas abundancias (Figura 240c). Este resultado respaldó lo indicado inicialmente por el Cluster en cuanto a la conformación de tres asociaciones las cuales se denominaron As-A, As-B y As-C. Dichas asociaciones fueron corroboradas mediante el análisis de similitud – ANOSIM, que indicó la existencia de diferencias significativas entre ellas ( $R_{\text{Global}} = 0,866$ ;  $p= 0,1\%$ ), con base en lo cual se rechazó la hipótesis supuesta. A continuación, se describen los agrupamientos hallados (Anexo 5):

- As-A: asociación compuesta por las estaciones E1, E2, E3, E4 y E5, las cuales tienen profundidades desde los 2542 m hasta los 3242 m. Estas presentaron gran uniformidad, baja dominancia y altos índices de diversidad ( $H' =$ entre 2,36 y 2,70), reflejados por un promedio de 28 especies por estación. Sobresalen en este grupo las estaciones E2 y E4 como las más diversas, así como E3 y E2 que fueron las que presentaron en su orden las mayores abundancias (Tabla 56). As-A tuvo una similitud promedio del 68%, donde siete especies son las que contribuyen en más de un 50% a la agrupación, aunque con aportes bajos y muy semejantes, siendo *Pullenia* sp. y *Gyroidina* sp. quienes registraron los mayores aportes con 9% cada una (Tabla 56).

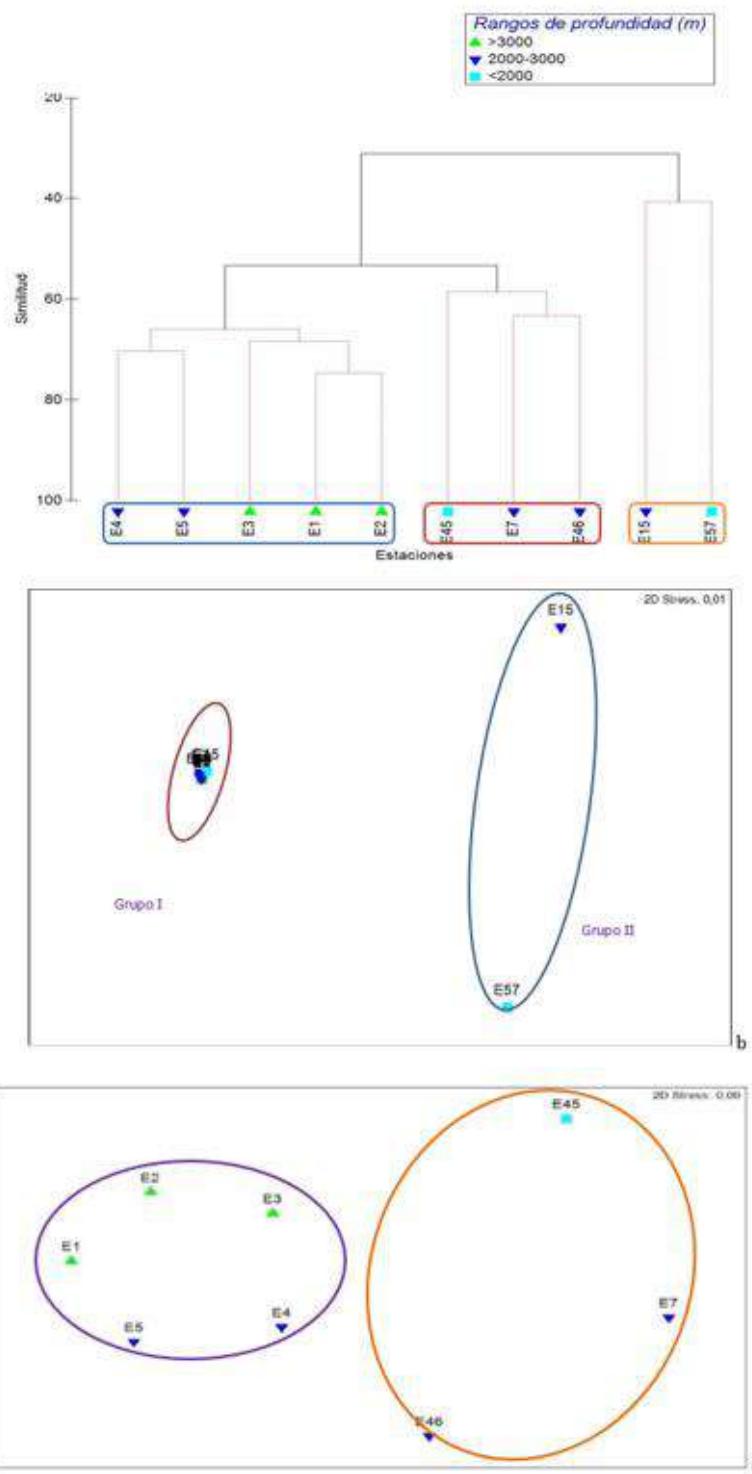


Figura 240. Análisis de agrupamiento de las especies de foraminíferos bentónicos en el bloque GUA OFF 1. (a) Dendrograma de similaridad: las líneas café indican grupos conformados por el SIMPROF. Recuadro azul: As-A; Recuadro naranja: As-B; Recuadro verde: AS-C. (b) NMDS inicial mostrando la interferencia de escala donde se superponen las estaciones de un aparente grupo I. (c) Ampliación del NMDS para el grupo I (excluyendo el grupo II) evidenciando la conformación real de dos grupos diferentes estadísticamente: en círculo morado la asociación As-A; en círculo verde la asociación As-B.

Tabla 56. Atributos ecológicos univariados obtenidos con base en las familias y especies de foraminíferos bentónicos identificados. S: riqueza; N: abundancia; J': índice de uniformidad de Pielou, H': índice de diversidad de Shannon; Lambda ( $\lambda$ ): índice de predominio de Simpson; N1: número de Hill especies abundantes; N2: número de Hill especies muy abundantes.

| Estaciones | S  | N   | J'   | H'(Loge) | Lambda ( $\lambda$ ) | N1 | N2 |
|------------|----|-----|------|----------|----------------------|----|----|
| <b>E1</b>  | 24 | 372 | 0,74 | 2,36     | 0,13                 | 11 | 8  |
| <b>E2</b>  | 25 | 500 | 0,84 | 2,70     | 0,08                 | 15 | 12 |
| <b>E3</b>  | 31 | 564 | 0,69 | 2,39     | 0,15                 | 11 | 7  |
| <b>E4</b>  | 32 | 409 | 0,76 | 2,62     | 0,10                 | 14 | 10 |
| <b>E5</b>  | 27 | 321 | 0,73 | 2,40     | 0,13                 | 11 | 8  |
| <b>E7</b>  | 27 | 389 | 0,77 | 2,55     | 0,10                 | 13 | 10 |
| <b>E15</b> | 7  | 78  | 0,55 | 1,06     | 0,42                 | 3  | 2  |
| <b>E45</b> | 20 | 296 | 0,73 | 2,18     | 0,17                 | 9  | 6  |
| <b>E46</b> | 32 | 482 | 0,71 | 2,45     | 0,12                 | 12 | 8  |
| <b>E57</b> | 10 | 66  | 0,85 | 1,95     | 0,17                 | 7  | 6  |

- As-B: incluyó a las estaciones E7, E45 y E46 que abarcan profundidades entre los 1545 m y los 2202 m. Estas se caracterizaron por su alta diversidad ( $H' =$  entre 2,18 y 2,55) con un promedio de 26 especies por estación, donde E46 resaltó por ser la más rica y abundante; en general el agrupamiento presentó gran uniformidad y baja dominancia (Tabla 56). La similitud promedio fue del 60% con seis especies contribuyendo a más de la mitad porcentual de la asociación, donde *Alabamina* sp. y *Pullenia* sp. fueron las que representaron los mayores valores con el 11% y 10% respectivamente (Tabla 57).
- As-C: estuvo conformada por las estaciones E57 y E15 ubicadas entre 1926 m y 2046 m de profundidad. Esta asociación comparativamente presentó las más bajas diversidades con ocho especies en promedio ( $H' =$  entre 1,06 y 1,95). Las estaciones se mostraron contrastantes, siendo E57 muy uniforme, mientras E15 evidenció mayor dominancia, incluso en comparación con las demás estaciones del Bloque (Tabla 56). La similitud promedio fue del 41%, con una mayor contribución de *Pullenia* sp. con el 40% (Tabla 57).

Con respecto a la disimilitud entre las estaciones (Tabla 57), se encontró que para As-A y As-B 46 especies determinaron la separación de las mismas con un 47% promedio de disimilitud, siendo 16 de ellas las que contribuyeron con más del 50% a la misma; entre estas resaltan con las mayores contribuciones *Osangularia* sp. con el 5% y *Cribrostomides subglobosus*, *Cyclammina* aff. *cancellata*, *Anomalina* sp. y *Hormosina globulifera* cada una con 4%. Por otro lado, entre As-A y As-C se encontró la mayor disimilitud de las agrupaciones con un 71% en promedio, definida por un total de 35 especies, de las cuales 12 contribuyeron a más del 50% de la diferencia entre los grupos; de estas se destacaron por la más alta contribución *Cyclammina* aff. *cancellata* y *Cribrostomides subglobosus* cada una con 6%, y *Pyrgo* sp. con 5%. Finalmente, para As-B y As-C se obtuvo una disimilitud del 65% a partir de 34 especies, encontrándose que 13 de estas contribuyeron con más de la mitad de la separación de las asociaciones, con *Alabamina* sp. como la mayor contribuyente (8%).

*Tabla 57. Especies que definen la similitud y disimilitud dentro de las asociaciones analizadas a partir de la rutina SIMPER. AP: abundancia promedio; SP: similitud promedio; Sim: similitud; DS: desviación estándar; CT: contribución porcentual; AC: porcentaje acumulativo; DIP: disimilitud promedio; Dis: disimilitud.*

**Grupo A. Similitud promedio: 67,72%**

| Especies                                | AP   | SP   | Sim/DS | CT % | AC %  |
|---|------|------|--------|------|-------|
| <i>Pullenia sp.</i>                     | 2,76 | 5,97 | 12,19  | 8,81 | 8,81  |
| <i>Gyroidina sp.</i>                    | 2,73 | 5,86 | 16,63  | 8,65 | 17,46 |
| <i>Cyclammina aff. cancellata</i>       | 2,63 | 5,41 | 8,7    | 7,99 | 25,45 |
| <i>Cribrostomoides aff. subglobosus</i> | 2,55 | 5,32 | 5,85   | 7,86 | 33,31 |
| <i>Hormosina globulifera</i>            | 2,38 | 5    | 7,11   | 7,38 | 40,69 |
| <i>Laticarinina pauperata</i>           | 2,22 | 4,28 | 9,95   | 6,32 | 47,01 |
| <i>Ammobaculites agglutinans</i>        | 1,87 | 3,55 | 5      | 5,24 | 52,25 |

**Grupo B. Similitud promedio: 60,08%**

|                               |      |      |       |       |       |
|-------------------------------|------|------|-------|-------|-------|
| <i>Alabamina sp.</i>          | 2,9  | 6,5  | 5,35  | 10,82 | 10,82 |
| <i>Pullenia sp.</i>           | 2,65 | 5,86 | 8,81  | 9,76  | 20,57 |
| <i>Gyroidina sp.</i>          | 2,61 | 5,65 | 9,87  | 9,4   | 29,97 |
| <i>Osangularia sp.</i>        | 2,44 | 5,41 | 4,59  | 9,01  | 38,98 |
| <i>Laticarinina pauperata</i> | 2,07 | 4,66 | 24,01 | 7,76  | 46,74 |
| <i>Sigmoilopsis sp.</i>       | 2,24 | 4,56 | 7,42  | 7,6   | 54,34 |

**Grupo C. Similitud promedio: 40,64%**

|                        |      |       |      |       |       |
|------------------------|------|-------|------|-------|-------|
| <i>Pullenia sp.</i>    | 2,25 | 16,25 | #### | 39,98 | 39,98 |
| <i>Gyroidina sp.</i>   | 2,07 | 13,86 | #### | 34,1  | 74,09 |
| <i>Osangularia sp.</i> | 1,63 | 10,53 | #### | 25,91 | 100   |

**Grupos A y B. Disimilitud promedio: 46,66%**

| Nombre  | Grupo A |      | Grupo B |        |      |       |
|---|---------|------|---------|--------|------|-------|
|   | AP      | AP   | DIP     | Dis/DS | CT%  | AC%   |
| <i>Osangularia sp.</i>                            | 0,46    | 2,44 | 2,32    | 2,62   | 4,96 | 4,96  |
| <i>Cribrostomoides</i><br><i>aff. subglobosus</i> | 2,55    | 0,77 | 2,06    | 2,68   | 4,41 | 9,38  |
| <i>Cyclammina aff. cancellata</i>                 | 2,63    | 0,83 | 2,05    | 2,56   | 4,4  | 13,78 |
| <i>Anomalina sp.</i>                              | 1,61    | 0    | 1,84    | 3,86   | 3,95 | 17,72 |
| <i>Hormosina globulifera</i>                      | 2,38    | 0,89 | 1,79    | 1,72   | 3,85 | 21,57 |
| <i>Pyrgo lucernula</i>                            | 1       | 2,3  | 1,63    | 1,51   | 3,49 | 25,06 |
| <i>Sigmoilopsis sp.</i>                           | 0,96    | 2,24 | 1,44    | 1,95   | 3,08 | 28,14 |
| <i>Hyperammina cf. elongata</i>                   | 1,22    | 0    | 1,43    | 1,77   | 3,06 | 31,2  |
| <i>Alabamina sp.</i>                              | 1,73    | 2,9  | 1,41    | 1,63   | 3,03 | 34,23 |
| <i>Paratrochammina</i><br><i>cf. challengerii</i> | 1,09    | 0    | 1,29    | 1,53   | 2,77 | 37    |
| <i>Ammobaculites agglutinans</i>                  | 1,87    | 0,87 | 1,22    | 1,22   | 2,61 | 39,61 |
| <i>Bulimina aff. pupoides</i>                     | 0       | 0,99 | 1,21    | 1,14   | 2,6  | 42,22 |
| <i>Pseudonodosinella nodulosa</i>                 | 1,38    | 0,4  | 1,2     | 1,57   | 2,57 | 44,79 |
| <i>Fissurina aff. orbicarinata</i>                | 0,54    | 1,41 | 1,16    | 1,67   | 2,49 | 47,28 |
| <i>Cibicides sp. 1</i>                            | 1,21    | 0,83 | 0,97    | 1,14   | 2,07 | 49,35 |
| <i>Nummulitidae sp.</i>                           | 0       | 0,8  | 0,92    | 1,35   | 1,97 | 51,33 |

**Grupos A y C. Disimilitud promedio: 71,16%**

| Grupo A | Grupo C |
|---------|---------|
|---------|---------|

**Grupos A y B. Disimilitud promedio: 46,66%**

| Nombre                                  | AP   | AP   | DIP  | Dis/DS | CT%  | AC%   |
|---|------|------|------|--------|------|-------|
| <i>Cyclammina aff. cancellata</i>       | 2,63 | 0    | 4,6  | 5,6    | 6,46 | 6,46  |
| <i>Cribrostomoides subglobosus</i> aff. | 2,55 | 0    | 4,46 | 5,85   | 6,26 | 12,72 |
| <i>Pyrgo sp.</i>                        | 2,13 | 0    | 3,63 | 2,68   | 5,1  | 17,82 |
| <i>Ammobaculites agglutinans</i>        | 1,87 | 0    | 3,27 | 3,85   | 4,59 | 22,41 |
| <i>Hormosina globulifera</i>            | 2,38 | 0,66 | 3,08 | 2,09   | 4,32 | 26,73 |
| <i>Alabamina sp.</i>                    | 1,73 | 0    | 2,96 | 2,76   | 4,17 | 30,9  |
| <i>Laticarinina pauperata</i>           | 2,22 | 0,59 | 2,82 | 2,14   | 3,97 | 34,86 |
| <i>Anomalina sp.</i>                    | 1,61 | 0    | 2,77 | 4,16   | 3,89 | 38,76 |
| <i>Pseudonodosinella nodulosa</i>       | 1,38 | 0    | 2,41 | 3,88   | 3,39 | 42,14 |
| <i>Dentalina cuvieri</i>                | 1,32 | 0    | 2,28 | 6,41   | 3,2  | 45,35 |
| <i>Hyperammina cf. elongata</i>         | 1,22 | 0    | 2,17 | 1,74   | 3,05 | 48,4  |
| <i>Cibicides sp. 1</i>                  | 1,21 | 0    | 2,08 | 1,49   | 2,93 | 51,33 |

**Grupos B y C. Disimilitud promedio: 65,09%**

|                                       | Grupo B | Grupo C | AP   | DIP  | Dis/DS | CT%   | AC% |
|---------------------------------------|---------|---------|------|------|--------|-------|-----|
|                                       | AP      | AP      |      |      |        |       |     |
| <i>Alabamina sp.</i>                  | 2,9     | 0       | 5,46 | 4,27 | 8,38   | 8,38  |     |
| <i>Pyrgo sp.</i>                      | 1,96    | 0       | 3,55 | 9,29 | 5,45   | 13,83 |     |
| <i>Pyrgo lucernula</i>                | 2,3     | 0,5     | 3,13 | 2,19 | 4,81   | 18,64 |     |
| <i>Cibicidoides sp.</i>               | 1,66    | 0       | 3,1  | 3,91 | 4,76   | 23,4  |     |
| <i>Sigmoilopsis sp.</i>               | 2,24    | 0,59    | 3,02 | 2,11 | 4,64   | 28,04 |     |
| <i>Laticarinina pauperata</i>         | 2,07    | 0,59    | 2,77 | 2,03 | 4,25   | 32,29 |     |
| <i>Fissurina aff. orbicularis</i>     | 1,41    | 0       | 2,64 | 5,04 | 4,05   | 36,35 |     |
| <i>Dentalina cuvieri</i>              | 1,11    | 0       | 2,05 | 5,54 | 3,16   | 39,5  |     |
| <i>Cibicidoides cf. robertsoniana</i> | 1,11    | 0,5     | 1,74 | 1,38 | 2,67   | 42,18 |     |
| <i>Cyclammina aff. cancellata</i>     | 0,83    | 0       | 1,63 | 1,11 | 2,51   | 44,68 |     |
| <i>Bulimina aff. pupoides</i>         | 0,99    | 0,5     | 1,62 | 1,05 | 2,49   | 47,17 |     |
| <i>Hormosinella carpenteri</i>        | 0,33    | 0,89    | 1,61 | 1,04 | 2,47   | 49,64 |     |
| <i>Lenticulina sp. 3</i>              | 0,84    | 0       | 1,6  | 1,21 | 2,46   | 52,1  |     |

La caracterización de los ensamblajes o asociaciones obtenida mediante el análisis inverso modificado de Kaandorp, permitió definir a partir de las tres asociaciones resultantes del dendograma, cuatro tipos de categorías de especies con base en sus abundancias y frecuencias relativas. Las exclusivas correspondieron a aquellas con el 100% en un ensamblaje; las muy características presentaron entre un 90% y 99%; las características aquellas que ocurrieron entre el 67% y el 89%; y las generalistas se encontraron en todos los ensamblajes o en la mayoría de ellos con menos del 67%. En general se encontraron 10 especies generalistas siendo *Pullenia* sp. y *Gyroidina* sp. las relevantes por sus mayores porcentajes. En el ensamblaje As-A se evidenciaron 19 especies exclusivas, seis muy características y cinco características; mientras para As-B se hallaron 11 especies exclusivas y dos características, y no se registraron especies de las demás categorías (Tabla 58; Anexo 4).

Tabla 58. Caracterización de los ensamblajes. Especies más importantes dentro de las asociaciones formadas por el dendograma de similitud de acuerdo con el análisis inverso modificado de Kaandorp. Ab: Abundancia. Fr: Frecuencia relativa.

| Ensamblaje As-A                                   | Ensamblaje As-B                     | Ensamblaje As-C |
|---|-------------------------------------|-----------------|
| Exclusivas: <b>100%</b> (Ab y Fr)                 |                                     |                 |
| <i>Testulosiphon indivisus</i>                    | <i>Ammolagena clavata</i>           |                 |
| <i>Rhabdammina sp.</i>                            | <i>Martinottiella aff. communis</i> |                 |
| <i>Hyperammina cf. elongata</i>                   | <i>Bulimina cf. aculeata</i>        |                 |
| <i>Thurammina aff. papillata</i>                  | <i>Bulimina sp. 1</i>               |                 |
| <i>Recurvoides cf. contortus</i>                  | <i>Uvigerina sp.</i>                |                 |
| <i>Recurvoides sp.</i>                            | <i>Cibicides sp. 2</i>              |                 |
| <i>Trochammina sp.</i>                            | <i>Cibicides sp. 3</i>              |                 |
| <i>Siphonostularia aff. philippinensis</i>        | <i>Nummulitidae sp.</i>             |                 |
| <i>Textularia sp.</i>                             | <i>Vaginulinopsis sp. 1</i>         |                 |
| <i>Bulimina sp. 2</i>                             | <i>Vaginulinopsis sp. 2</i>         |                 |
| <i>Anomalina sp.</i>                              | <i>Fissurina aff. cucullata</i>     |                 |
| <i>Chilostomella oolina</i>                       |                                     |                 |
| <i>Nodosaria sp.</i>                              |                                     |                 |
| <i>Lenticulina sp. 1</i>                          |                                     |                 |
| <i>Amphicoryna sp.</i>                            |                                     |                 |
| <i>Planularia ascensiformis</i>                   |                                     |                 |
| <i>Stilostomella sp.</i>                          |                                     |                 |
| <i>Tolytummina aff. vagans</i>                    |                                     |                 |
| Muy características: <b>≤90% y ≥99%</b> (Ab y Fr) |                                     |                 |
| <i>Cribrostomoides aff. subglobosus</i>           |                                     |                 |
| <i>Cyclammina aff. cancellata</i>                 |                                     |                 |
| <i>Paratrichammina cf. challengerii</i>           |                                     |                 |
| <i>Paratrichammina cf. challengerii</i>           |                                     |                 |
| <i>Ammobaculites agglutinans</i>                  |                                     |                 |
| <i>Pseudonodosinella nodulosa</i>                 |                                     |                 |
| Características: <b>≤67% y ≥89%</b> (Ab y Fr)     |                                     |                 |
| <i>Verneuilinella sp.</i>                         | <i>Bulimina aff. pupoides</i>       |                 |
| <i>Cibicides sp. 1</i>                            | <i>Laevidentalina cf. aphelis</i>   |                 |
| <i>Pyrgo sp.</i>                                  |                                     |                 |
| <i>Dentalina cuvieri</i>                          |                                     |                 |
| <i>Polymorphina sp.</i>                           |                                     |                 |
| Generalistas: <b>&lt; 67%</b> (Ab y Fr)           |                                     |                 |

| Ensamblaje As-A                               | Ensamblaje As-B | Ensamblaje As-C |
|---|-----------------|-----------------|
| <i>Bulimina</i> sp. 3                         |                 |                 |
| <i>Hormosinella carpenteri</i>                |                 |                 |
| <i>Vaginulinopsis</i> sp. 3                   |                 |                 |
| <i>Osangularia</i> sp.                        |                 |                 |
| <i>Pullenia</i> sp.                           |                 |                 |
| <i>Gyroidina</i> sp.                          |                 |                 |
| <i>Sigmoilopsis</i> sp.                       |                 |                 |
| <i>Cibicidooides</i> cf. <i>robertsoniana</i> |                 |                 |
| <i>Laticarinina pauperata</i>                 |                 |                 |
| <i>Pyrgo lucernula</i>                        |                 |                 |

### 3.3 Avance en el conocimiento meiofaunal en muestras de piston core

Como un primer paso en el análisis meiofaunal de muestras de pisto core, es importante resaltar el trabajo adelantado durante el desarrollo del presente proyecto, el cual permitió dar una visión general en términos de composición faunística de la meiofauna de tamaño grande ( $\geq 300 \mu\text{m}$ ), para el área de estudio escogida (GUA OFF 1).

Los resultados provenientes de la separación a grandes grupos de los organismos meiofaunales permitieron evidenciar dominancia en el phylum Foraminifera, siendo concordante con lo reportado para la macrofauna de la misma zona. Igualmente se resalta la presencia del phylum Brizozoa, el cual no se encontró en las muestras separadas para el análisis de la macrofauna. La Tabla 59 muestra la presencia y/o ausencia de los phyla meiofaunales ( $\geq 300 \mu\text{m}$ ), de las estaciones seleccionadas del bloque GUA OFF 1.

Tabla 59. Matriz de presencia (1) y ausencia (0) a nivel de phylum de los grupos meiofaunales separados de los núcleos de piston core provenientes del bloque GUA OFF 1.

| Estación | Horizonte | Annelida | Arthropoda | Bryozoa | Mollusca | Nematoda | Foraminifera | Otros grupos |
|----------|-----------|----------|------------|---------|----------|----------|--------------|--------------|
| E-01     | H-1       | 1        | 1          | 0       | 0        | 0        | 1            | 1            |
|          | H-2       | 1        | 1          | 0       | 0        | 0        | 1            | 1            |
|          | H-3       | 1        | 0          | 0       | 0        | 0        | 1            | 1            |
|          | H-4       | 1        | 0          | 0       | 0        | 0        | 1            | 0            |
|          | H-5       | 0        | 1          | 0       | 0        | 0        | 1            | 0            |
| E-02     | H-1       | 1        | 0          | 0       | 0        | 1        | 1            | 1            |
|          | H-2       | 1        | 0          | 0       | 0        | 0        | 1            | 0            |
|          | H-3       | 1        | 0          | 0       | 0        | 0        | 1            | 0            |
|          | H-4       | 1        | 1          | 0       | 0        | 1        | 1            | 0            |
|          | H-5       | 0        | 1          | 0       | 0        | 0        | 1            | 1            |
| E-03     | H-1       | 1        | 0          | 0       | 0        | 0        | 1            | 1            |
|          | H-2       | 0        | 1          | 0       | 0        | 0        | 1            | 0            |

| Estación | Horizonte | Annelida | Arthropoda | Bryozoa | Mollusca | Nematoda | Foraminifera | Otros grupos |
|----------|-----------|----------|------------|---------|----------|----------|--------------|--------------|
| E-04     | H-3       | 0        | 1          | 0       | 0        | 0        | 1            | 0            |
|          | H-4       | 0        | 0          | 0       | 0        | 0        | 1            | 0            |
|          | H-5       | 0        | 1          | 0       | 0        | 0        | 1            | 0            |
|          | H-1       | 1        | 0          | 0       | 0        | 1        | 1            | 0            |
|          | H-2       | 1        | 0          | 0       | 0        | 1        | 1            | 0            |
| E-05     | H-3       | 1        | 0          | 0       | 0        | 0        | 1            | 0            |
|          | H-4       | 1        | 0          | 0       | 0        | 1        | 1            | 0            |
|          | H-5       | 1        | 1          | 0       | 0        | 0        | 1            | 1            |
|          | H-1       | 1        | 0          | 0       | 0        | 0        | 1            | 0            |
|          | H-2       | 1        | 1          | 0       | 0        | 1        | 1            | 0            |
| E-07     | H-3       | 0        | 0          | 0       | 0        | 1        | 1            | 0            |
|          | H-4       | 1        | 0          | 0       | 0        | 0        | 1            | 0            |
|          | H-5       | 1        | 1          | 0       | 0        | 1        | 1            | 0            |
|          | H-1       | 1        | 1          | 0       | 0        | 0        | 1            | 0            |
|          | H-2       | 0        | 0          | 0       | 0        | 0        | 1            | 0            |
| E-15     | H-3       | 0        | 0          | 0       | 0        | 0        | 1            | 0            |
|          | H-4       | 0        | 0          | 0       | 0        | 0        | 1            | 0            |
|          | H-5       | 1        | 1          | 0       | 1        | 0        | 1            | 1            |
|          | H-1       | 0        | 0          | 0       | 0        | 0        | 0            | 0            |
|          | H-2       | 0        | 1          | 0       | 0        | 0        | 1            | 0            |
| E-45     | H-3       | 1        | 1          | 0       | 0        | 1        | 1            | 0            |
|          | H-4       | 1        | 0          | 0       | 0        | 0        | 1            | 0            |
|          | H-5       | 0        | 0          | 0       | 0        | 0        | 1            | 0            |
|          | H-1       | 0        | 0          | 0       | 0        | 0        | 1            | 0            |
|          | H-2       | 0        | 0          | 0       | 0        | 0        | 1            | 0            |
| E-46     | H-3       | 0        | 1          | 0       | 0        | 0        | 1            | 0            |
|          | H-4       | 0        | 0          | 0       | 0        | 0        | 1            | 0            |
|          | H-5       | 0        | 0          | 0       | 0        | 0        | 1            | 0            |
|          | H-1       | 0        | 1          | 1       | 0        | 1        | 1            | 0            |
|          | H-2       | 0        | 1          | 0       | 0        | 1        | 1            | 1            |
| E-57     | H-3       | 0        | 1          | 0       | 0        | 0        | 1            | 1            |
|          | H-4       | 0        | 0          | 0       | 0        | 0        | 1            | 0            |
|          | H-5       | 0        | 1          | 0       | 0        | 0        | 1            | 0            |

## 4 Discusión

Las comunidades bentónicas de fondos blandos han sido base de estudio para programas de línea base, motinoreo ambiental y planes de manejo, ya que son una excelente herramienta a la hora de evidenciar el grado de perturbación en un

ecosistema debido a que, por sus ciclos de vida cortos y poca movilidad, son los que generalmente se ven afectados en primer lugar, en contraste con otros componentes biológicos. En ese sentido, conocer la abundancia, diversidad y ecología de estos organismos es la base para un mejor entendimiento del fondo marino.

Para el presente estudio, se evidenció que las muestras de piston core analizadas fueron altamente abundantes y diversas, principalmente en cuanto al grupo de foraminíferos que abarcó el 98,9% de la abundancia general de la macrofauna bentónica de las estaciones seleccionadas para el análisis del bloque GUA OFF 1. Cabe resaltar que pese a que en la literatura se evidencia que los anélidos son usualmente dominantes en la infauna bentónica (De León-González *et. al.*, 2009), para el presente estudio se mostraron diferencias significativas, primando los foraminíferos en las muestras revisadas, lo cual se puede atribuir a particularidades de la zona o incluso a un posible deterioro de las muestras a lo largo del tiempo, lo cual puede influir principalmente para los organismos de cuerpo blando. Así las cosas, como los foraminíferos fueron los organismos dominantes en el presente estudio, los análisis cuantitativos fueron enfocados en los taxones identificados, para lo cual se procuró llegar hasta género y/o especie, para mostrar resultados más confiables acerca del comportamiento de la macrofauna en el lugar.

Los foraminíferos son uno de los componentes más representativos en términos de la abundancia y biomasa bentónica (>50%) para profundidades mayores a 1000 m, lo que hace suponer que juegan un importante papel en dichos ambientes, especialmente en relación al reciclamiento de carbono orgánico (Gooday, 2001; 2003). Dadas sus características estructurales y morfológicas, se preservan mejor que otros grupos tras ser extraídos, lo cual facilita su evaluación a partir de sedimentos fijados y mantenidos por largos períodos, sin mayores tratamientos para su conservación. Dado que los núcleos analizados fueron obtenidos en el año 2014 y estuvieron almacenados hasta su procesamiento durante este estudio, se determinó importante llevar a cabo el análisis considerando la fauna total; esto con el objeto de evitar en lo posible pérdida de información, ya que en muchos grupos de foraminíferos bentónicos (FB), la diferenciación de especies vivas se torna subjetiva y difícil debido al tipo de pared de las testas, en especial en aquellos organismos aglutinados y porcelanoides, donde la tinción no suele ser muy efectiva o se ha deteriorado con el paso del tiempo.

Aunque muchos estudios tradicionalmente han tomado como fauna viva los organismos teñidos por el método de rosa de bengala, este ha sido ampliamente discutido y actualmente se encuentra más eficiente la implementación de otro tipo de técnicas, que ofrecen mayor precisión para estos fines (Walker *et al.*, 1974; DeLaca, 1986; Travis y Bowser, 1988; Bernhard, 2000; Bernhard *et al.*, 2006). De este modo, se evalúa el ensamblaje total sin omisiones e incluso es posible obtener información de los relictos de las faunas que componen el fondo un área determinada.

Los resultados obtenidos aquí, ofrecen una aproximación a la tanatocenosis de los foraminíferos bentónicos del bloque GUA OFF 1 desde el análisis de la fracción de macrofauna (500 µm); aportando elementos descriptivos y relevantes, en términos de la diversidad del filo en el área. Los avances en ese sentido son valiosos para

incrementar el conocimiento actual, ya que en general, este propósito constituye un gran desafío en relación a la adquisición de la información que se requiere para una mejor comprensión de este grupo en los fondos profundos de jurisdicción nacional.

Conforme a los resultados y acorde a la ocurrencia usual en el bentos profundo de los océanos actuales, los órdenes Rotaliida, Lagenida y Lituolida fueron los más representativos en las muestras evaluadas; al respecto Gooday (2001) refiere que se trata de grupos antiguos, de los cuales muchas de las familias y morfotipos más comunes han existido en el mar profundo desde el Cretácico Superior. Los rotaliidos presentaron la mayor diversidad; la cual en términos de riqueza estuvo dada por las familias Buliminidae y Cibicididae que contienen el 57% de las especies halladas para el grupo. Del mismo modo, tres de las especies de dicho orden: *Pullenia* sp., *Gyroidina* sp. y *Alabamina* sp. (Nonionidae, Gavelinellidae y Alabaminidae) fueron las que registraron las mayores abundancias en general con un total de 500, 477 y 311 individuos respectivamente. Estas mismas especies fueron las determinantes en que las estaciones E 02, E 03 y E 46 presentaran los mayores valores de abundancia. Dentro de Lagenida la mayor riqueza estuvo representada por la familia Vaginulidae con ocho especies; y sobresalieron por el número de individuos *Dentalina* cf. *cuvieri* (23) y *Fissurina* aff. *orbicularis* (21). En cuanto a los lituólidos, *Cribrostomoides* aff. *subglobosus* se destacó por su abundancia, la cuarta mayor para todo el estudio, con 222 ejemplares. Mención aparte merecen los Astrorhizida, en particular las familias Rhabdamminidae y Astrorhizidae, de las cuales cabe anotar que durante el análisis se encontraron números y trozos, la mayoría de los cuales por su gran fragmentación no eran identificables o apropiadamente cuantificables; por ello, este tipo de material no fue tenido en cuenta para las estimaciones de riqueza o de abundancia. Los registros efectuados para estas familias en las estaciones, solo se hicieron con base en especímenes que permitieran una clara identificación, lo que evidencia una subestimación de las especies y aportes de este tipo de foraminíferos, los cuales dada su delicada pared arenosa, son frágiles y muy susceptibles a la destrucción durante la colecta y el proceso de separación.

La proporción hallada de organismos calcáreos (hialinos y porcelanoides) respecto a los órdenes aglutinados fue de 73% y 27% respectivamente, lo cual concuerda con el hecho de que los órdenes calcáreos, y en particular los Rotaliida, suelen ser proporcionalmente más ricos en las faunas del talud que en las abisales (Gooday y Rathburn, 1999). Esto es especialmente notorio en áreas con alto flujo de materia orgánica, e incluso en zonas de mínimo oxígeno, donde muchos de los foraminíferos encontrados pertenecen a familias de ese orden, principalmente de Chilostomellidae y Nonionidae (Kaiho, 1994; Bernhard y Sen Gupta, 1999; Holbourn *et al.*, 2001). Al respecto, en este estudio las altas abundancias del Nonionidae *Pullenia* sp., podrían estar reflejando un flujo continuo de materia orgánica en el bloque GUA OFF 1; donde de hecho, ya fueron notadas evidencias de esto en un trabajo similar desarrollado para el bloque GUA OFF 3 (Garrido-Linares *et al.*, 2014); dichos hallazgos estarían respaldados en las comunidades fitoplanctónicas observadas y los efectos de transporte de esa comunidad y de la materia orgánica a través del Caribe norte colombiano, los cuales son dados por la surgencia estacional que se presenta en la zona.

En términos de la distribución espacial los resultados indicaron que las 16 especies que presentaron frecuencia de aparición en más del 70% de las estaciones, corresponden a géneros y especies reconocidos por su amplia distribución mundial en ambientes abisales y batiales; tal es el caso de *Pullenia* y *Gyroidina*, cuyas especies asociadas han sido registradas como frecuentes en los fondos profundos del Caribe y el Golfo de México (Pflum y Frerich 1976; McCulloch 1981; Morkoven *et al.* 1986; Jones 1994; Kaminski y Gradstein 2005; Sem Gupta 2009; Holbourn *et al.* 2013). De un modo general, este tipo de especies cosmopolitas entre los FB deben tener una gran capacidad para la rápida dispersión y recolonización de nuevos sustratos en el fondo marino; así como también contar con la posibilidad de que sus propágulos puedan sobrevivir en condiciones extremas e inhóspitas por grandes períodos de incluso años para ser más exitosas, como lo demostraron Alve y Godstein (2010).

Para relacionar la profundidad a las asociaciones, esta fue categorizada con base en los límites indicados por Morkhoven *et al.* (1986): batial inferior (1000 - 2000 m), abisal superior (2000 - 3000 m) y abisal inferior (> 3000 m). Para la asociación As-A se encontró que las estaciones que la componen tienen un amplio rango de ocurrencia, encontrándose entre el abisal superior y el abisal inferior. A pesar de que todas las estaciones que la conforman hacen parte del mismo agrupamiento localizado sobre el talud continental, en el dendograma es posible observar cierto patrón de aparente relación con la profundidad, ya que se denota mayor cercanía entre las estaciones más profundas; así como entre las ubicadas en el límite de los 2000 a 3000 m. Esta aparente relación está dada por el gran peso que le otorgan las especies características ocurrentes. En ese sentido As-A presenta la mayor cantidad de especies exclusivas (19), siendo el 68% de ellas aglutinadas, lo que corresponde con las típicas especies de gran profundidad, que con este tipo de composición estructural resultan ser más resistentes a las condiciones extremas de dichos ambientes (Kaminski y Gradstein, 2005). *Anomalina* sp. (porcelanoide) e *Hyperammina* cf. *elongata* (aglutinada) fueron los foraminíferos que presentaron las mayores abundancias y frecuencias relativas, particularmente en las estaciones >3000 m. Asimismo, se encontraron seis especies aglutinadas muy características de la asociación, con gran representatividad por parte de *Cribrostomoides* aff. *subglobosus* y *Cyclammina* aff. *cancellata*. Finalmente, cinco especies características completan la estructura del ensamblaje, siendo observados los mayores aportes por parte de *Cibicides* sp. y *Pyrgo* sp.

Los agrupamientos As-B y As-C reflejaron especies que se encuentran entre el batial inferior y el abisal superior (Figura 5 a). Para el primero, se hallaron 11 especies exclusivas, principalmente formas porcelanoides, entre las cuales las mayores abundancias fueron registradas por *Bulimina* sp. 1; así mismo se registraron dos especies características. Es de notar la presencia de los Buliminidos entre las especies importantes destacadas por el análisis inverso, ya que este hecho podría ofrecer indicios de que los fondos de las estaciones, en especial de E07 son fangosos y de arenas finas, ya que los miembros de este grupo suelen ser infaunales detritívoros que habitan este tipo de sedimentos (Murray y Alve 2002, Murray 2006). As-C de otro lado, corresponde a las estaciones relativamente más cercanas a la costa y localizadas en el centro sur del bloque, que fueron comparativamente las menos ricas y abundantes del

estudio. Sus dos estaciones contrastantes indican que probablemente las características geomorfológicas de la plataforma continental y los factores ambientales locales son muy diferentes entre ellas; lo que hace que E 15 que se ubica en el extremo sur del bloque sea la única estación con dominancia de una especie (*Pullenia sp.*), lo que a su vez señala que probablemente las condiciones de ese lugar favorezcan la adaptación de especies particulares con mayor tolerancia a las mismas. En este ensamblaje no se presentaron especies características de ningún tipo.

En general, la aparente relación observada en los ensamblajes con respecto a la profundidad, por sí misma no es un factor determinante en la distribución de los foraminíferos (Gooday, 2003); y más bien la distribución batimétrica estaría siendo influenciada por otras condiciones ambientales locales que tienen un conocido impacto en estos organismos, tales como los flujos de materia orgánica que se presentan desde el océano superior al fondo y que varían de un sitio a otro; la oxigenación de los sedimentos y la disolución del carbonato, la temperatura, tipo de sedimentos y sustratos, competencia y predación, entre otros (Murray, 2006; Jorissen *et al.*, 2007; Gooday y Jorissen, 2012).

En ese sentido, para las asociaciones As-A y As-B que evidenciaron las mayores diversidades ( $H'$  entre 2,18 y 2,70), se observó que las contribuciones de las especies a los grupos fueron similares y muy bajas, lo que implicó una importante heterogeneidad taxonómica en sus estaciones, las cuales se encuentran principalmente sobre el talud continental. Para la primera asociación este tipo de resultados, junto con la marcada presencia y abundancia de *Pullenia sp.* y *Gyroidina sp.*, podrían indicar oligotrofia en esos ambientes, lo que de manera similar ha sido observado en la plataforma sureste del margen continental de Brazil (Mello de Sousa *et al.*, 2006).

En términos generales, se puede indicar que los ensamblajes de foraminíferos bentónicos en las estaciones analizadas del Bloque GUA OFF 1 están compuestos por especies abisales y batiales con ocurrencia en el talud continental, cuya estructura ecológica sugiere la presencia de flujos de materia orgánica en el área, los cuales afectan la distribución de los organismos, pudiendo generar la expresión de mayores riquezas y abundancias en los sectores localizados sobre el talud continental con una tendencia en sentido Sur-Norte; la cual contrasta con las estaciones ubicadas sobre la plataforma que son más cercanas a la costa. Estudios más detallados tanto a escala local como de microambientes, podrían incorporar valiosa información geomorfológica y oceanográfica para complementar esta primera aproximación sobre la biodiversidad del grupo en el área.

## 5 Conclusiones

- Se provee el inventario taxonómico al nivel más bajo posible (familia, género o especie) derivado del análisis de la macrofauna bentónica de las estaciones seleccionadas del bloque GUA OFF 1, ubicado al norte del Caribe colombiano. Dicho inventario, permitió evidenciar dominancia de los foraminíferos en términos de abundancia y riqueza, por lo cual, se realizó un análisis descriptivo

de los phyla diferentes a Foraminifera, y para este último se tuvieron en cuenta tanto análisis cuantitativos como cualitativos en relación con el área de estudio.

- En cuanto a la composición de especies de los phyla diferentes a Foraminifera, se resalta la abundancia y diversidad de los anélidos, el cual es un grupo usualmente encontrado en grandes proporciones en el bentos marino, sin embargo, por las particularidades de la zona y por la posible degradación de los especímenes, esta tendencia estuvo encaminada hacia otro grupo taxonómico.
- Para los foraminíferos, en términos generales, se puede indicar que los ensamblajes en las estaciones analizadas del Bloque GUA OFF 1 están compuestos por especies abisales y batiales con ocurrencia en el talud continental, cuya estructura ecológica sugiere la presencia de flujos de materia orgánica en el área, los cuales afectan la distribución de los organismos, pudiendo generar la expresión de mayores riquezas y abundancias en los sectores localizadas sobre el talud continental con una tendencia en sentido Sur-Norte; la cual contrasta con las estaciones ubicadas sobre la plataforma que son más cercanas a la costa. Estudios más detallados tanto a escala local como de microambientes, podrían incorporar valiosa información geomorfológica y oceanográfica para complementar esta primera aproximación sobre la biodiversidad del grupo en el área.
- Finalmente, como una avance en el conocimiento de las comunidades meiofaunales de las muestras provenientes de piston core, el presente estudio mostró la presencia de los phyla meiofaunales ( $\geq 300 \mu\text{m}$ ), para las estaciones seleccionadas del bloque GUA OFF 1.

## 6 Bibliografía

- Alve E. y S. T. Goldstein. 2010. Dispersal, survival and delayed growth of benthic foraminiferal propagules. *Journal Sea Research*, 63: 36-51.
- Barnard, J.L. 1960. The Amphipod family Phoxocephalidae in the Eastern Pacific Ocean, with analyses of other species and notes for a revision of the family. Allan Hancock Pacific Expeditions, 18: 175-368, pls. 1-75.
- Barwick, K. y D.B. Cadien. 2005. Aplacophore mollusks of the 2003 Regional Monitoring Survey of the Southern California Bight. SCAMIT Newsletter, 23, 1-73.
- Bernhard, M. 2000. Distinguishing live from dead foraminifera: Methods review and proper applications. *Micropaleontology*, 46(1): 38-46.
- Bernhard, J. M. y B. K. Sen Gupta. 1999. Foraminifera in Oxygen-Depleted Environments. 201- 216. In: Sen Gupta, B. K. (Ed.). *Moder Foraminifera*. Kluwer, Dordrecht. [http://dx.doi.org/10.1007/0-306-48104-9\\_12](http://dx.doi.org/10.1007/0-306-48104-9_12)
- Bernhard, J. M., D. R. Ostermann, D. S. Williams y J. K. Blanks. 2006. Comparison of two methods to identify live benthic foraminifera: A test between Rose Bengal and CellTracker Green with implications for stable isotope paleoreconstructions. *Paleoceanography*, 21, PA4210, doi:10.1029/2006PA001290.

- Beesley, P.L., Ross, G., Glasby, C.J. 2000. Polychaetes & Allies: The Southern Synthesis. Fauna of Australia. Vol. 4APolychaeta, Myzostomida, Pogonophora, Echiura, Sipuncula. CSIRO Publishing: Melbourne xii. 465p.
- Bhadury, P., Austen, M., Bilton, D., Lambshead, J., Rogers, A. y Smerdon, G. 2008. Evaluation of combined morphological and molecular techniques for marine nematode (Terschellingia
- Blake, J. A. y Valentich, P. 1997. Taxonomic atlas of the benthic fauna of the Santa Maria Basin and Western Santa Barbara Channel, Volumen 11: The Crustacea part 2 – The Isopoda, Cumacea and Tanaidacea. Santa Barbara, CA. Santa Barbara Museum of Natural History. 278 p.
- Brandta, A., Brokeland, W., Brixia, S. y Malyutina, M. 2004. Diversity of Southern Ocean deep-sea Isopoda (Crustacea, Malacostraca) — a comparison with shelf data. Deep-Sea Research II, 51:1753–1768.
- Brusca, R. y Brusca, G. 2003. Invertebrates. Second Edition. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts. 936 p.
- Clarke, K. R. y R. M Warwick. 1994. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. Playmount Marine Laboratory, Natural Environment Research Council.
- Cutler, E.B. 1994. The Sipuncula: their systematics, biology, and evolution. Cornell University Press. New York. 453 pp.
- Cushman, J.A. 1933. An illustrated key to the Genera of the Foraminifera. Cushman Laboratory for Foraminiferal Research, Special Publication No. 5. 108 p.
- Cushman, J.A. 1948. Foraminifera. Their classification and economic use. Harvard University Press, city. 605 p.
- Crisp, D. 1984. Energy Flow measurements. En: Holme, N., y McIntyre, A. (eds) Methods for the study of marine bentos. Blackwell, Oxford: IBP Handbook 16, 1984. P. 284 - 367.
- Creer, S., Fonseca, C., Porazinska, D., Giblin-Davis, R., Sung, W., Power, D., Packer, S., Carvalho, D., Blaxte, M., Lambshead, P. y Thomas, W. 2010. Ultrasequencing of the meiofaunal
- DeLaca, T. E. 1986. Determination of benthic rhizopod biomass using ATP analysis. Journal of Foraminiferal Research, 16: 285-292.
- De León González, J.A., Bastida Zavala, J.R, Carrera Parra, L.F, García Garza, M.E., Peña Rivera, A., Salazar Vallejo, Se.I., Solís Weis, V. 2009. Poliquetos (Annelida: Polychaeta) de México y América Tropical. Monterrey, México: Universidad Autónoma de Nuevo León. 737 p.
- Fauchald, K. y Jumars, P. A. 1979. The diet of worms: a study of polychaete feeding guilds. Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev. 17:193-284, Allan Hancock Foundation,

University of Southern California, Los Angeles, CA and Department of Oceanography, University of Washington, Seattle, WA.

Garrido-Linares, M., D. Alonso- Carvajal, J.M. Gutiérrez-Salcedo, E. Montoya-Cadavid, A. Rodríguez, M. Bastidas, N. Rangel, A. Jiménez, et al., 2014. Línea base ambiental preliminar del bloque de exploración de hidrocarburos Guajira offshore 3 en el Caribe colombiano. Informe técnico Final. INVEMARAH, Santa Marta, 342. p. +Adjuntos + Anexos.

Giere, O., 2009. Meiobenthology: The Microscopic Motile Fauna of Aquatic Sediments, 2nd edition. Springer, Berlin, Germany.

Gooday, A. J. 2003. Benthic Foraminifera (Protista) as tools in Deep-water palaeoceanography: environmental influences on faunal characteristics. 1-90. En: Southward, A. J. (Ed.). Advances in Marine Biology. Elsevier Science Imprint, Londres. 352 p.

Gooday, A. J. y A. E. Rathburn. 1999. Temporal variability in living deep-sea benthic foraminifera: a review. Earth-Science Reviews, 46: 187-212.

Gooday, A. J. y F. J. Jorissen. 2012. Benthic foraminiferal biogeography: controls on global distribution patterns in deep-water settings. Annual Review of Marine Science, 4: 237-262.

Gooday A. J., J. A. Hughes y L. A. Levin. 2001. The foraminiferan macrofauna from three North Carolina (USA) slope sites with contrasting carbon flux: a comparison with the metazoan macrofauna. Deep-Sea Research, I (48): 1709-1739.

Guzmán-Alvis, A., Solano, O., Córdoba-Tejada, M., y López-Rodríguez, A. 2001. Comunidad macrofaunal de fondos blandos someros tropicales (Caribe colombiano). Boletín Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. Vol. 30, p 39 – 66.

Hayward, B. W., T. Cedhagen, M. Kaminski y O. Gross. 2014. World Foraminifera Database.<http://www.marinespecies.org/foraminifera/aphia.php?p=taxdetails&id=112593>. Consultada 2014-06-20.

Heard, R., Hansknecht, T., y Larsen, K. 2004. An illustrated identification guide to Florida tanaidaceans (Crustacea, Peracarida) occurring in depths of less than 200 meters. Final Supplemental Report, Florida Department of Environmental Protection, Tallahassee, 1-163.

Heip, C., Vincx, M., Smol, N. y Vranken, G. Helminthological Abstracts, Series B, Plant Nematology 51(1):1-12.

Holbourn, A., A. S. Henderson y N. MacLeod. 2013. Atlas of benthic Foraminifera. Natural History Museum, Wiley-Blackwell Ltd. Oxford UK. 642 p.

Jones, R. W. 1994. The Challenger Foraminifera. Osford Science Publications – The Natural History Museum. Oxford UK. 149 p.+ Maps.

- Jorissen F. J., C. Fontanier y E. Thomas. 2007. Paleoceanographical proxies based on deep-sea benthic foraminiferal assemblages characteristics. *Developments in Marine Geology*, 1:263-325.
- Kaiho, K. 1994. Oceanic crust production and climate during the last 100 Myr. *Terra Nova*, 6(4): 376-384.
- Kaminski, M. A. y F. M. Gradstein. 2005. *Atlas of paleogene cosmopolitan deep-water agglutinated Foraminifera*. Grzybowski Foundation, Special Publication 10. 547 p.
- Kaandorp, J. 1986. Rocky substrate communities of the infralitoral fringe of the boundaries coast, NW France: A quantitative survey. *Marine Biology*, 92: 22-256.
- Kędra, M. y G.V.V. Murina. 2007. The sipunculan fauna of Svalbard. *Polar Res.*, 26: 37-47.
- Keppner, E. J., & Tarjan, A. C. (1989). Illustrated key to the genera of free-living marine nematodes of the order Enoplida.
- Loeblich A. R. y H. Tappan. 1988. *Foraminiferal genera and their classification*. Van Nostrand Reinhold, New York. 212 p. +847 Pl.
- McCulloch, I. 1981. Qualitative observations on Recent Foraminiferal Tests. Part IV. with emphasis on the Allan Hancock Atlantic Expedition Collections. Special publication. University of Southern California, Los Angeles – CA. 361 p.
- Mello de Souza, S. H., R. F. Passos, M. Fukumoto, I.C. Almeida da Silveira, R. C. Lopes, E. A. M. Koutsoukos, M. Michaelovitch y C.E. Rezende. 2006. Mid-lower bathyal benthic foraminifera of the Campos Basin, Southeastern Brazilian margin: Biotopes and controlling ecological factors. *Marine Micropaleontology*, 61: 40-57.
- Morkoven, F. P. van, W. A. Berggren y A. S. Edwards. 1986. *Cenozoic Cosmopolitan Deep-Water Benthic Foraminifera*. Bull. Cent. Rech. Explor. Prod. Elf-Aquitaine, Mem., vol. 11. 421 pp.
- Murray, J. W. 2006. *Ecology and applications of benthic Foraminifera*. New York, Cambridge University Press. 426 p.
- Murray J. y E. Alve. 2002. Benthic foraminifera as indicators of environmental change: marginal-marine, shelf and upper-slope environments. *Quaternary Environmental Micropaleontology*, 41: 342-358.
- Pflum, C. y W. E. Frerichs. 1976. *Gulf of Mexico Deep-water Foraminifers*. Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Special Publication No. 14. 125 p.
- Rouse, G.W. y Pleijel, F. 2001. *Polychaetes*. New York, USA: Oxford University Press. 353 p.
- Scheltema, A.H. y C. Schander. 2000. Discrimination and phylogeny of solenogaster species through the morphology of hard parts (Mollusca, Aplacophora, Neomeniomorpha). *The Biological Bulletin*, 198(1), 121-151.

- Sciuto, F. 2014. Ostracods of the Upper Pliocene - Pleistocene Punta Mazza succession (NE Sicily) with special focus on the Family Trachyleberididae Sylvester-Bradley, 1948, and description of a new species. Carnets de Géologie [Notebooks on Geology], Brest, vol. 14, nº 1: 1-13.
- Sen Gupta, B.K., Smith, L.E. y Machain-Castillo, M.L. 2009, Foraminifera of the Gulf of Mexico. En: Tunnell Jr, J.W., Felder, D.L. y Earle, S.A.(eds.), Gulf of Mexico origin, waters, and biota: College Station, Texas, U.S.A., A&M University Press, 87-129.
- Tarjan, A., & Robert, P. E. (1977). Interactive Diagnostic Key to Plant Parasitic, Freeliving and Predaceous Nematodes. Journal of the Water Pollution Control Federation, 49, 2318-2337.
- Tarjan, A. C., & Keppner, E. J. (1999). *Illustrated Key to the Genera of Free-living Marine Nematodes in the Superfamily Chromadoroides Exclusive of the Chromadoridae*. University of Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, EDIS
- Taylor, L. R. 1961. Aggregation, variance, and the mean. Nature, 189: 732-735.
- Travis, J. L. y S. S. Bowser. 1988. Optical approaches to the study of foraminiferan motility. Cellular Motility and the Cytoskeleton, 10: 126-136.
- Todt, C., A. Okusu, C. Schander y E. Schwabe. 2008. Solenogastres, Caudofoveata, and Polyplacophora. In: PONDER, W. & D.R. LINDBERG (Eds.). Phylogeny and Evolution of the Mollusca, 71-96. University of California Press. California. 470p.
- Von Salvini-Plawen, L. 2003. Contributions to The Morphological Diversity And Classification Of The Order Cavibelonia (Mollusca: Solenogastres). Institut für Zoologie, Universität Wien, Althanstraße 14, A-1090, Wien, Austria. 22 p.
- Walker, d. A., Linton, A. E. y C. T. Schafer. 1974. Sudan Black B: a superior stain to Rose Bengal for distinguishing living from nonliving foraminifera. Journal of Foraminiferal Research, 4: 205-215.
- Wieser, W. 1953. La relación entre la forma de la cavidad oral, la dieta y la ocurrencia en nemátodos marinos de vida libre. Arkiv für Zoologie 4, 439-484.
- WoRMS (2009). Aplacophora. In: MolluscaBase (2017). Accessed through: World Register of Marine Species at <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=411> on 2017-12-13

## VII. BENEFICIOS DE LOS ESTUDIOS DE LÍNEA BASE MAR AFUERA, PARA EL SECTOR DE HIDROCARBUROS

Colombia posee una considerable extensión de territorio marítimo en su jurisdicción y a pesar de tener costas sobre sus dos mares, es quizás uno de los países con menor tradición marina entre los países con estas características. Esto se ve reflejado no solo en el escaso conocimiento oceanográfico, ecológico y biológico de sus mares ya que la investigación en Colombia no sobrepasa los 50 años, sino también en el escaso desarrollo y participación en el uso y explotación de sus recursos naturales que se ven reflejados directamente en la economía nacional, los bajos índices de desarrollo de las poblaciones costeras y su lento desarrollo en términos económicos.

En este contexto y teniendo en cuenta los compromisos adquiridos por Colombia en el marco de la Convención sobre Diversidad Biológica específicamente en temas marinos y costeros (Mandato de Yakarta), es responsabilidad de la nación estimular el desarrollo de investigación que vele por la conservación y el uso sostenible de sus recursos (INVEMAR, 2000), así como también elevar las reservas nacionales de hidrocarburos que representan buena parte del PIB nacional, iniciando la exploración y explotación en zonas de difícil o costoso acceso como es el caso de los lechos submarinos y la columna de agua en zonas profundas (1000 m) y ultraprofundas (3000 m) del territorio nacional, en busca de nuevas fuentes de hidrocarburos y gas natural lo que hace imperiosa la necesidad de llevar a cabo investigaciones biológicas, físicas y geomorfológicas enfocadas a conocer las especies, las poblaciones y los ecosistemas y sus interacciones ecológicas para poder dar un manejo integrado y sostenible de los recursos que allí se encuentran.

INVEMAR, quien hace parte del Sistema de Información Nacional Ambiental del país y quien en virtud del artículo 18 de la ley 99/93 y el decreto 1276/94 ejerce su jurisdicción en todo el territorio marítimo y las costas de la nación, ha venido realizando exploraciones científicas tanto en el Caribe como en el Pacífico generando una línea base en el conocimiento marino, aportando a la actualización continua del inventario de especies marinas y costeras del país, de la información relacionada con áreas significativas de biodiversidad, conservación de especies y de la información biológica relacionada con pesca y mamíferos marinos. Esto, con el fin de entregar los insumos necesarios para la futura toma de decisiones en cuanto al manejo y aprovechamiento de los recursos causando la mínima afectación sobre el ambiente y los organismos circundantes. El conocimiento del Caribe oceánico profundo colombiano se remonta a dos décadas de esfuerzos científicos que incluye en su mayoría los levantamientos de línea base realizados a través de los diferentes convenios con la ANH (Polanco F. et al. 2017) y consultorías privadas realizadas por las empresas interesadas.

Es por eso que la Agencia Nacional de Hidrocarburos en pro de respetar y hacer cumplir estos tratados vio la necesidad de cooperar con instituciones científicas como el INVEMAR a fin de asegurar un levantamiento y desarrollo coordinado del conocimiento

de línea base que permitan comprender e inventariar la biodiversidad marina en los ecosistemas costa afuera, y que aporten la información requerida según los Términos de Referencia (TDR) administrados por el ANLA, para la elaboración de los estudios de impacto ambiental (EIA) para la obtención de licencias para exploración.

En el año 2007, en un acto de cooperación interinstitucional, la ANH y el Invemar se unieron con el objeto de "... *aunar esfuerzos técnicos, económicos, administrativos, humanos y financieros, con el fin de crear una línea base preliminar de conocimiento... con miras a su conservación y manejo frente al sector de hidrocarburos del país...*" derivándose de esto el primer proyecto enfocado en realizar exploración marina a los 1000 m de profundidad; profundidades que con el pasar de 10 años y la firma de 15 convenios (Figura 241) y cerca de 30 campañas científicas se acerca a los 4050 m de profundidad en un total de 22 bloques de exploración de hidrocarburos estudiados en el mar Caribe y océano Pacífico colombiano y el Área de Régimen Común – ARC Jamaica Colombia.



Figura 241. Convenios interinstitucionales celebrados entre la ANH y el INVEMAR.

En total a la fecha, se han muestreado cerca de 180 estaciones biológico-oceanográficas a lo largo de 35.893.433 Ha, alcanzando aproximadamente un 70% de reconocimiento general del área total del mar Caribe colombiano (Figura 242). También durante este proceso se ha logrado capacitar profesionalmente a más 84 investigadores y técnicos de más de 8 áreas del conocimiento, conformando un grupo de personas especialistas dedicadas a la exploración e investigación en áreas costa afuera. Con los resultados de todas las campañas de investigación, se han elaborado una serie de productos de gran importancia tanto para el área de la investigación, así como para la de la producción, y el ambiental y social. Entre ellos se encuentran (1) libro *Biodiversidad del Margen Continental del Caribe Colombiano*, (2) cartilla educativa *Área del Régimen Común Colombia-Jamaica: Un reino, dos soberanos*, (3) el atlas actualizado de caladeros de pesca y (4) manual de métodos para la obtención de muestras biológicas (en versión video y pdf).

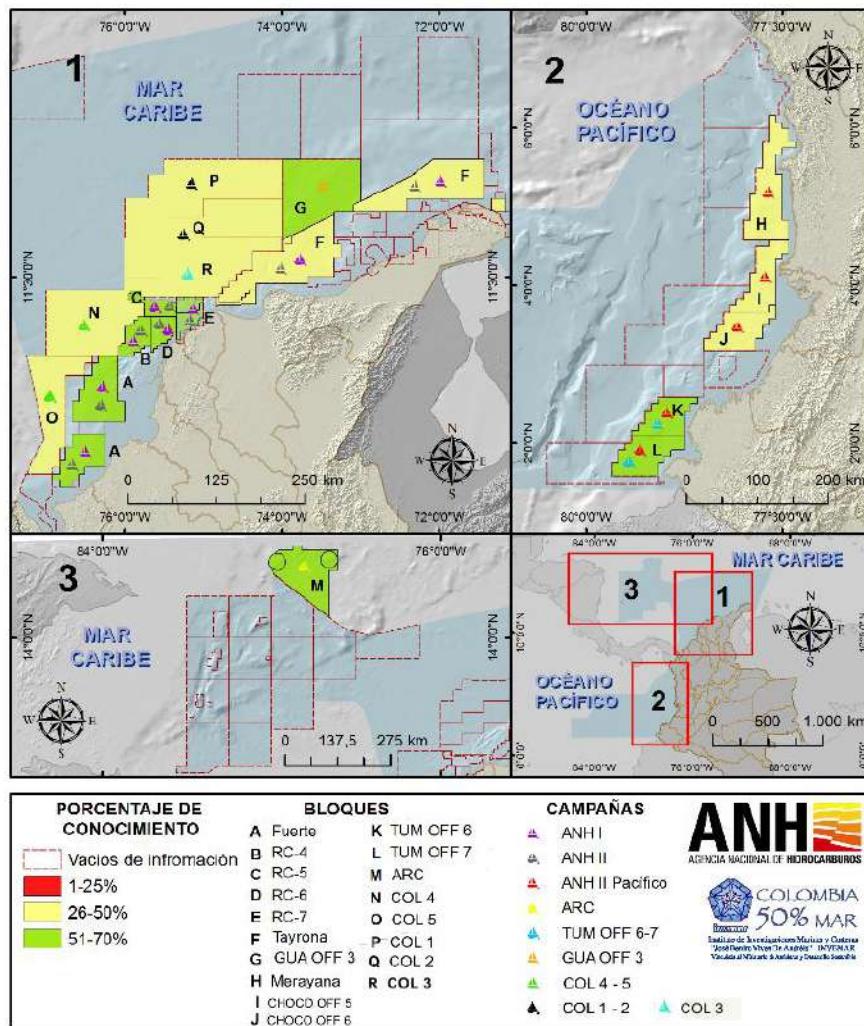


Figura 242. Mapa de conocimiento generado a partir de información recolectada en una década de investigación.

## 1 Beneficios en términos de información

Con el aumento de la exploración de hidrocarburos en aguas costa afuera, la perturbación de los ecosistemas por actividades de extracción es una amenaza latente para las comunidades bentónicas y pelágicas de las áreas en cuestión. Por esto, es necesario tener una línea base de conocimiento que identifique no solo el estado actual de las comunidades biológicas presentes, sino también la dinámica de los ecosistemas, la geomorfología y oceanografía del área, los cuales pueden llegar a ser afectados o sufrir algún tipo de alteración por el proyecto que se realice en el bloque. Esta información permite a la ANH contar con elementos para la planificación y la toma de decisiones en cada bloque.

Por lo tanto, en el marco de su misión que busca “... armonizar los intereses de la sociedad, el estado y las empresas del sector”, ha creado una estrategia ambiental con la cual busca generar y aportar nueva información física y biológica como línea base para el conocimiento de la biodiversidad, la geomorfología y la oceanografía del país y que además sea de utilidad en los procesos de licenciamiento de los bloques offshore. La obtención de esta línea base implica cierta complejidad, en cuanto a la profundidad y el acceso al área, pero en los últimos años la capacidad técnica y científica ha ido aumentando y se llevan a cabo exploraciones offshore que incluyen muestreos fisicoquímicos, en sedimentos y aguas, así como también muestreos biológicos en bacterias, bentos, plancton, observación de fauna (mamíferos marinos, tortugas y aves), como es el caso del presente convenio (379 de 2016), que tiene como objeto el levantamiento de información base en el bloque de exploración COL3, para lo cual se planteó y ejecutaron metodologías innovadoras que permitieron la toma de datos y el análisis de nuevos componentes que aportaran por primera vez en marco de un convenio interinstitucional al entendimiento de la manera en que funciona un ecosistema tan complejo como lo es el de aguas ultraprofundas.

En el caso particular de la observación de fauna, el inventario consolidado en la línea base, es un gran aporte al plan de manejo ambiental de los proyectos que se realicen en los bloques de exploración, ya que en él se encuentran las medidas de control en el arranque de los cañones utilizadas durante la sísmica y además se establecen los monitoreos permanentes de los mamíferos marinos, tortugas y aves, por parte de personal especializado (Ayoroa, 2009).

Para el caso del componente oceanográfico y geosférico el estudio del bloque COL3 representaba una oportunidad para mejorar el entendimiento de cómo se encuentra influenciado por el aporte sedimentario del río Magdalena y el ambiente tectónico del cinturón de deformación del Caribe Sur, los cuales causan una arquitectura geomorfológica en el fondo marino que permite u obstruye el transporte de sedimento del sistema turbidítico del río (Ercilla *et al.*, 2002 a, b). Estudios recientes a través de imágenes satelitales como el de Romero-Rodríguez *et al.*, (2017) tienen una buena aproximación regional de la dinámica de la pluma turbia, sin embargo, se requiere una disminución de la escala temporal y espacial de las imágenes sobre el área.

De esta manera, la información oceanográfica, geomorfológica y sedimentológica existente en el país y la cual se encuentra en una escala gruesa dado principalmente pudo ser mejorada aportando detalles de alta importancia sobre la estructura del fondo marino del bloque; así como, las condiciones oceanográficas permanentes de la columna de agua; lo cual representa para la industria insumos de alta calidad para el análisis preliminar de selección de áreas de mayor interés y/o al momento de llevar a cabo posibles iniciativas y pruebas sedimentarias con técnicas industriales de perforación exploratoria con miras a posibles hallazgos de hidrocarburos.

Como resultado adicional a la evaluación del bloque COL3, este proyecto contribuye de forma significativa a incentivar la inversión en el análisis biológico de muestras entregadas en custodia al Invemar por parte de empresas del sector de hidrocarburos. En este sentido, es importante recalcar que en el panorama nacional actual, por disposición regulatoria tanto de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) como de otras autoridades ambientales, las empresas operadoras a las que se les ha concedido permisos para exploración y/o explotación de hidrocarburos, deben entregar en custodia una fracción de los núcleos (primeros 15 cm) que estás hayan colectado del lecho marino durante sus actividades de evaluación ambiental.

Esta disposición, tiene la intención de que esas muestras puedan eventualmente ser aprovechadas para análisis de fauna, que redunden en información para todo el sector de hidrocarburos y en general para el país. No obstante el noble propósito, y que este esfuerzo representa una importante contribución de parte de los operadores en cuanto a la obtención de las muestras, esta exigencia tiene un vacío importante, ya que no se establece responsabilidades y en especial recursos para llevar a cabo el procesamiento y análisis de ese material, por lo cual las muestras permanecen almacenadas hasta contar con la posibilidad de que estos sean efectuados.

Es por ello, que este proyecto hace una importante contribución en cuanto al procesamiento y análisis de núcleos de 10 estaciones del Bloque GUA Off shore 1 (50 muestras), uno de los más alejados y menos conocidos, los cuales fueron entregados en custodia por la empresa Repsol en el 2014 (DIMAR, 2014); a partir de cuyos resultados se brinda un inventario de 3513 especímenes de la macrofauna del área, incluyendo seis fila con especial énfasis en los foraminíferos. Dicho inventario representa una línea base de la caracterización de la infauna de los fondos blandos de este bloque en particular, desde luego fortaleciendo el conocimiento general para fondos profundos del Caribe colombiano, lo que constituye un insumo de referencia necesario para las empresas en sus planes evaluación ambiental. Adicionalmente el proyecto permitió procesar y separar a grandes grupos de la fracción de meiofauna (300 µm) equivalentes a 50 muestras adicionales, con lo cual se avanzó significativamente en el proceso de evaluación de este componente, para una posterior identificación.

## 2 Beneficios en términos de nuevo conocimiento

Con el fin de promover las investigaciones y adquirir información útil para la biodiversidad marina en Colombia el INVEMAR y la ANH han venido adelantando esfuerzos desde el 2015, en busca de conocer e identificar la biodiversidad de microorganismos marinos que se encuentran asociados al fondo marino para determinar así sus potenciales usos y aplicaciones. De tal manera estos análisis permitieron no solo contribuir al conocimiento de la biodiversidad bacteriana de los sedimentos de profundidad con los resultados expuestos en este informe, sino también fortalecer las capacidades técnicas y metodológicas en temas como la estandarización de extracción de ADN metagenómico, amplificación de genes, manejo y uso de herramientas bioinformáticas, entre varios temas, mediante la implementación de cursos teóricos y prácticos que fomentan el fortalecimiento y la consolidación de personal técnico que consolida las líneas de investigación que prosee el Invemar al servicio del país.

Gracias a los estudios realizados sobre la comunidad biológica se han logrado significativos avances en el inventario taxonómico, como por ejemplo:

- En la comunidad planctónica se han realizado muestreos en áreas que nunca habían sido exploradas debido a las difíciles condiciones y lo remoto de las áreas de interés, así mismo se ha comprendido el ensamblaje vertical (hasta los 1000m) y como es la variación de la estructura de las comunidades que habitan zonas pelágicas de nuestro mar Caribe colombiano.
- Para la comunidad bentónica uno los principales aportes fue el análisis del componente meiobentónico (300-63 µm), el cual fue analizado por primera vez en este tipo de estudios de levantamientos de información de linea base a cargo del Invemar, dando como resultados un inventario de la fauna de este componente, compuesta por 5 phylum uno de ellos (Cephalorhyncha) reportado por primera vez para el Museo de Historia Natural Marina de Colombia a partir se inicia una nueva colección biológica. Teniendo en cuenta los resultados expuestos en el informe técnico final se evidencian la importancia que tienen los foraminíferos y nematodos como grupos dominantes tanto en términos de abundancia como riqueza, lo cual puede estar sugiriendo la importancia de profundizar en la identificación específica y promover el análisis de los aspectos ecológicos de estos grupos, los cuales tienen un gran potencial como bioindicadores de aspectos ambientales de interés para la industria de hidrocarburos en el país.

Así mismo, se complementó la información obtenida a lo largo del tiempo en los bloques ya evaluados para la Macrofauna (500 µm), aumentando el conocimiento de inventario taxonómico, la distribución, abundancia y la riqueza de las especies

Adicionalmente, realizar estudios de línea base de calidad de aguas y sedimentos marino costeros empleando parámetros de contaminación directa relacionada con los posibles tensores del área, es un aporte importante desde el punto de vista de

generación de conocimiento ambiental y de disponer de información veraz para demostrar que no toda la contaminación de un área intervenida es atribuible a las operaciones que se realizan dentro de la misma.

### 3 Beneficios de acceso a la información sin restricción

El INVEMAR en conjunto con la ANH, han creado y mantenido herramientas informáticas para toda la comunidad en general, científica, técnica y demás en donde se reflejan sin ninguna restricción los resultados más relevantes de cada una de las campañas realizadas, además de toda la información existente del Invemar en cuanto a las investigaciones que ha hecho. Estas herramientas son:

- Un geovisor de biodiversidad marina en los bloques de exploración de hidrocarburos (<http://gis.invemar.org.co/geovisoranh/>)
- Un geovisor de caladeros de pesca ([http://gis.invemar.org.co/anh\\_caladerospesca/](http://gis.invemar.org.co/anh_caladerospesca/)).

Así mismo se resalta que tanto con los ejemplares obtenidos como con la información, se ha iniciado el proceso de curaduría requerido por el Museo de Historia Natural Marina de Colombia (Invemar) para su pronta puesta a disposición de libre consulta, tanto física como a través del Sistema de Información sobre Biodiversidad Marina – SIBM.

### 4 Perspectivas futuras

El conocimiento ambiental de la biodiversidad del país y la caracterización de los ecosistemas requiere estar a la vanguardia de la tecnología para obtener los mejores resultados. Por ello, para poder afrontar las nuevas etapas de la investigación del país en cuanto a los bloques de hidrocarburos offshore, la ANH convino la compra de equipos indispensables para cada uno de los grupos o programas del Invemar, como la unidad de Laboratorios de calidad Ambiental Marina – LABCAM (acreditada desde el 2004), el Museo de Historia Natural Marina de Colombia – Makuriwa (dotada con la colección de referencia más grande del país, además de laboratorios de óptica y molecular), los laboratorios de Biotecnología Marina, Instrumentación Oceanográfica y Sistemas de Información (que alberga la base de datos en ciencias del mar más grande de Colombia).

### 5 Bibliografía

- Ayoroa, M. 2009. Gestión ambiental en proyectos de exploración offshore. Petrotecnia, 28-34p.
- Corner, E. 1979. Pollution Studies with Marine Plankton: Part I. Petroleum Hydrocarbons and Related Compounds. Advances in Marine Biology Vol. 15, Pag. 289-380.

- Ercilla, G., Alonso, B., Estrada, F., Chiocci, F. L., Baraza, J., & Farran, M. 2002a. The Magdalena Turbidite System (Caribbean Sea): present-day morphology and architecture model. *Marine Geology*, 185(3-4), 303–318.
- Ercilla, G., R. B. Wynn, B. Alonso y J. Baraza. 2002b. Initiation and evolution of turbidity current sediment waves in the Magdalena turbidite system. *Marine Geology*, 192(1-3), 153–169.
- INVEMAR. 2000. Programa Nacional de Investigación en Biodiversidad Marina y Costera PNIBM. Santa Marta. Editado por Juan Manuel Díaz Merlano y Diana Isabel Gómez López. INVEMAR, FONADE, MMA. p. 83.
- Polanco F., A. Cedeño-Posso, E. Montoya-Cadavid , G.H. Borrero-Pérez, E.F. Dorado-Roncancio, M. Garrido, A. Cárdenas-Oliva, D. Yepes-Gaurisas, V. Yepes- Narváez, E. Escarria, M. Mutis, C. Arteaga-Flórez, B. Martínez, K. Ayala- Galván, S. Caldera, J.M. Gutierrez-Salcedo, N. Santodomingo , A. Gracia C., P. Flórez, M. Benavides-Serrato, N.Y. Suárez-Mozo and D. Alonso Carvajal. 2017. Twenty years of deep-sea research in the Colombian Caribbean. Deep Sea life Issue No. 10. [http://www.indeep-project.org/indeep/sites/indeep/files/documents/DSL10\\_Nov2017.pdf](http://www.indeep-project.org/indeep/sites/indeep/files/documents/DSL10_Nov2017.pdf) consultada: 20/12/2017
- Romero-Rodríguez D., Peña-Mejía C., Ordóñez-Zúñiga A., Ricaurte-Villota C. y Bastidas-Salamanca M. 2017. Región 6: Ciénaga Grande de Santa Marta, río Magdalena, Bolívar. En 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 Andréis (INVEMAR). Serie de Publicaciones Especiales de INVEMAR #14. Santa Marta, Colombia 180 p.