



**Estructura de la macroinfauna asociada a fondos blandos durante las fases de perforación exploratoria de hidrocarburos offshore (costa afuera) en las inmediaciones del pozo Orca-1 (La Guajira, Caribe colombiano)**

**Maryela Paola Bolaño Lara**

Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas

Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Manizales, Colombia

2018



**Estructura de la macroinfauna asociada a fondos blandos durante las fases de perforación exploratoria de hidrocarburos offshore (costa afuera) en las inmediaciones del pozo Orca-1 (La Guajira, Caribe colombiano)**

**Maryela Paola Bolaño Lara**

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:

**Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente**

Director:

Ph.D., Doctor Nelson Rodríguez Valencia

Línea de Investigación: Biosistemas integrados

Director: Dr. John Fredy Betancur

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas

Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Manizales, Colombia

2018



*A Rebecca, quien libre de todo egoísmo ha entendido que además de madre tengo otros roles en mi vida y me ha dejado ser yo en cada uno de ellos...para ti hija pretendo ser un ejemplo de tenacidad, dedicación y superación.*



## **Agradecimientos**

Al Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andreis”- INVEMAR-, por el apoyo científico y técnico.

A la empresa PETROBRAS INTERNATIONAL BRASPETRO, por la consecución del permiso para el uso de la información obtenida en los cruceros de investigación realizados en el marco de sus actividades.

A los docentes, tutores y compañeros de la Maestría, que aportaron a mi formación profesional con sus conocimientos, orientaciones y discusiones.

A mi director de Tesis Dr. Nelson Rodríguez por su apoyo y comentarios acertados en el marco de mi trabajo de grado.

A María Isabel Aguilar Pérez, por ser incondicional, sincera y celebrar mis logros como suyos.

A mi esposo Pantaleón Farelo y mi familia, mi más grande bendición. Ustedes son ejemplo de superación. Gracias por incentivarne a cumplir mis metas, por su apoyo, amor y entrega sin límites.

VIII Estructura de la macroinfauna asociada a fondos blandos durante las fases de perforación exploratoria de hidrocarburos offshore (costa afuera) en las inmediaciones del pozo Orca-1 (La Guajira, Caribe colombiano)

---

Este trabajo presenta las opiniones personales de los autores, por lo que los posibles errores y conceptos emitidos son de responsabilidad exclusiva de éstos y no comprometen a la Universidad de Manizales ni a sus directores, asesores y jurados.



## Resumen

Se caracterizó la estructura de la macroinfauna de fondos blandos de las inmediaciones del pozo Orca-1 (La Guajira, Caribe colombiano), en siete estaciones de muestreo en las fases antes, durante y después de la perforación exploratoria. Para la toma de muestras, se empleó un Box corer delimitando un área de 0,1 m<sup>2</sup> de sedimento. Se registraron diferencias en la comunidad entre las fases muestreadas, que consistieron en un aumento en el número de familias y en los valores de abundancia para la fase durante, lo cual puede atribuirse a la remoción de sedimentos del fondo y deposición de cortes en ésta; sin embargo, la estructura de la comunidad se mantuvo, con más del 60% de familias en común para las tres fases. El comportamiento de estos valores entre las fases antes y después fue similar, lo cual podría indicar un restablecimiento ocho meses después de finalizadas las actividades de perforación exploratoria. Adicionalmente, los análisis realizados no registraron perturbación en la comunidad en las fases durante y después, que evidenciara un efecto fuerte o persistente de tales actividades.

**Palabras clave: macroinfauna, fondos blandos, perforación exploratoria**

## **Abstract**

The structure of the macroinfauna of soft bottoms in the vicinity of the Orca-1 oil well, it was characterized in seven sampling stations in the phases before, during and after the exploratory drilling. For the taking of samples, a Box corer was used, delimiting an area of 0.1 m<sup>2</sup> of sediment.

Differences were recorded in the community between the phases sampled, which consisted in an increase in the number of families and abundance values for the phase during, what can be attributed to the removal of sediments from the bottom and deposition of perforation cuts in this. However, the structure of the community was maintained, with more than 60% of families in common for the three phases. The behavior of these values between the before and after phases was similar, which could indicate a recovery eight months after the completion of the exploratory drilling activities. Additionally, the analyses carried out did not register any disturbance in the community that evidenced a strong or persistent effect of such activities in the phases during and after.

**Keywords: macroinfauna, soft bottoms, exploratory drilling.**

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen</b> .....	<b>IX</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>X</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>XIII</b>
<b>Lista de fotografías</b> .....	<b>XIV</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>XV</b>
<b>Glosario</b> .....	<b>XVI</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>19</b>
<b>1. Justificación</b> .....	<b>21</b>
<b>2. Problema de investigación</b> .....	<b>23</b>
<b>3. Preguntas de investigación</b> .....	<b>25</b>
<b>4. Objetivos</b> .....	<b>26</b>
4.1 General.....	26
4.2 Específicos .....	26
<b>5. Hipótesis de investigación</b> .....	<b>27</b>
<b>6. Marco teórico</b> .....	<b>28</b>
6.1 Marco contextual .....	28
6.2 Marco conceptual .....	36
6.2.1 Índices ecológicos.....	38
6.3 Marco normativo .....	41
<b>7. Materiales y métodos</b> .....	<b>47</b>
7.1 Tipo de investigación .....	47
7.2 Autorizaciones .....	47
7.3 Ubicación sitio de muestreo .....	47
7.4 Población y muestra .....	48
7.5 Salida de campo.....	49
7.6 Recolección de la muestra.....	50
7.7 Análisis de laboratorio.....	52
7.8 Análisis de la información .....	54

XII Estructura de la macroinfauna asociada a fondos blandos durante las fases de perforación exploratoria de hidrocarburos costa afuera (offshore) en las inmediaciones del Pozo Orca 1 (La Guajira, Caribe colombiano)

---

7.8.1	Análisis univariados .....	54
7.8.2	Análisis multivariados .....	56
<b>8.</b>	<b>Resultados y discusión .....</b>	<b>58</b>
8.1	Estructura de la comunidad .....	58
8.1.1	Composición y densidad .....	58
8.1.2	Biomasa húmeda .....	63
8.1.3	Perturbación .....	65
8.1.4	Índices ecológicos .....	66
8.2	Variación espacial y temporal .....	67
<b>9.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>80</b>
9.1	Conclusiones .....	80
9.2	Recomendaciones .....	81
<b>A.</b>	<b>Anexo: Autorización para la recolección de muestras biológicas por parte del INVEMAR .....</b>	<b>82</b>
<b>B.</b>	<b>Anexo: Autorización de la empresa PETROBRAS INTERNACIONAL BRASPETRO B.V. SUCURSAL COLOMBIA, para el uso de la información con fines académicos. ....</b>	<b>83</b>
<b>C.</b>	<b>Clasificación taxonómica de la macroinfauna registrada en las inmediaciones del pozo Orca 1 (La Guajira, Caribe colombiano), en las fases antes, durante y después de la perforación exploratoria.....</b>	<b>84</b>
<b>D.</b>	<b>Abundancia por Phyla de la Macroinfauna registrada en las inmediaciones del pozo Orca 1 (La Guajira, Caribe colombiano), en las fases antes, durante y después de la perforación exploratoria.....</b>	<b>89</b>
<b>E.</b>	<b>Biomasa por familia y estación de la Macroinfauna registrada en los fondos blandos de las inmediaciones del pozo Orca-1 (La Guajira, Caribe colombiano), en las fases antes, durante y después de las actividades de perforación exploratoria. ....</b>	<b>95</b>
<b>F.</b>	<b>Variables seleccionadas en los sedimentos, tenidas en cuenta para relacionar con el componente biológico en los fondos sedimentarios de las inmediaciones del pozo Orca-1, en las fases antes, durante y después de las actividades de perforación exploratoria.....</b>	<b>101</b>
	<b>Bibliografía .....</b>	<b>103</b>

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 7-1: Ubicación de las estaciones de muestreo en las inmediaciones del pozo de perforación exploratoria Orca-1 (La Guajira). Fuente: Archivos CSC-INVEMAR (2016).	48
Figura 7-2: Diseño radial y dirección de dispersión de lodos y cortes de perforación. Fuente: Archivos CSC-INVEMAR (2016).	49
Figura 8-1: Número de familias por phyla de la macroinfauna registrada en las inmediaciones del pozo Orca-1 (Caribe colombiano), en las fases antes, durante y después de la perforación exploratoria. La categoría “Otros” incluye: Brachiopoda, Cnidaria, Echinodermata, Nemertea y Sipuncula.	59
Figura 8-2: Densidad por phyla de la macroinfauna en las inmediaciones del pozo Orca-1 (Caribe colombiano), registrada en las fases antes, durante y después de la perforación exploratoria. La categoría “Otros” incluye: Brachiopoda, Cnidaria, Echinodermata, Nemertea y Sipuncula.	60
Figura 8-3: Distribución porcentual de la abundancia de las principales familias de la macroinfauna con porcentajes $\geq 5\%$ , en las inmediaciones del Pozo Orca-1 (Caribe colombiano). An: Annelida; Ne: Nematoda. *Superfamilia. Flias: Familias.	61
Figura 8-4: Biomasa húmeda por phyla de la macroinfauna en las inmediaciones del pozo Orca-1 (Caribe colombiano), registrada en las fases antes, durante y después de la perforación exploratoria. La categoría “Otros” incluye: Brachiopoda, Cnidaria, Echinodermata, Nemertea y Sipuncula.	63
Figura 8-5: Distribución porcentual de la biomasa húmeda de las principales familias de la macroinfauna con porcentajes $\geq 5\%$ , en las inmediaciones del Pozo Orca-1 (Caribe colombiano). An: Annelida; Ar: Arthropoda; Eq: Echinodermata; Si: Sipuncula; Nm: Nemertino.	65
Figura 8-6: Representación gráfica de los valores del estadístico W, resultado de la comparación entre abundancia y biomasa, en las inmediaciones del Pozo Orca-1 (Caribe colombiano).	66
Figura 8-7: Resultado del análisis de clasificación y ordenación de la macroinfauna encontrada durante los muestreos realizados en las fases antes, durante y después de las actividades de perforación, en las estaciones ubicadas en las inmediaciones del pozo Orca-1 (Caribe colombiano). A: antes; Du: durante; De: Después.	67
Figura 8-8: Gráfico de cajas y bigotes y resultado del ANOVA y la prueba Kruskal Wallis, para los atributos comunitarios e índices ecológicos de la macroinfauna registrada en las inmediaciones del pozo Orca-1 (Caribe colombiano), en los muestreos realizados en las fases antes, durante y después de las actividades de perforación exploratoria. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).	74

## Lista de fotografías

**Pág.**

Fotografía 7-1: Equipo tipo Box core, empleado para la toma de muestras de macroinfauna en las inmediaciones del pozo Orca-1 (La Guajira, Caribe colombiano). Fuente: Archivos CSC-INVEMAR (2016).....	50
Fotografía 7-2: Marco metálico empleado para delimitar el área mínima representativa (0,1 m <sup>2</sup> ) para el estudio de la macroinfauna. Fuente: Archivos CSC-INVEMAR (2016).....	51
Fotografía 7-3: a) Tamizaje de la muestra. b) Almacenamiento, narcotización y fijación. Fuente: Archivos CSC-INVEMAR (2016). ....	52
Fotografía 7-4: Análisis de laboratorio. a) Lavado de muestras sobre tamiz de 500 µm. b) Separación de organismos en grupos mayores. c) Identificación y cuantificación de la macroinfauna a nivel de familia por estación y d) biomasa húmeda por familias por estación. Fuente: Archivos CSC-INVEMAR (2016). ....	53
Fotografía 8-1: Algunas de las familias más representativas de la macroinfauna registrada en las inmediaciones del pozo Orca-1 (Caribe colombiano). a) Onuphidae; b) Spionidae; c) Ampharetidae; d) Ironoidea; e) Eunicidae; f) Paraonidae; g) Goneplacidae; h) Amphiuroidae. ....	62

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 8-1: Atributos comunitarios registrados en las inmediaciones del pozo Orca-1 (Caribe colombiano), registrados en las fases antes, durante y después de la perforación exploratoria. ....	60
Tabla 8-2: Valores promedio de los índices ecológicos de la macroinfauna registrada en las inmediaciones del pozo Orca-1 (Caribe colombiano), en las fases antes, durante y después de la perforación exploratoria. ....	67
Tabla 8-3: Resultados del ANOSIM a una vía para las diferentes fases: antes, durante y después de las actividades de perforación, en las estaciones ubicadas en las inmediaciones del pozo Orca-1 (Caribe colombiano). ....	69
Tabla 8-4: Resultados del análisis SIMPER. Se muestran las familias en orden decreciente de contribución a la disimilaridad promedio (Dis-Prom) hasta un acumulado del 50% de la disimilaridad total entre las estaciones entre las fases antes y durante las actividades de perforación en las inmediaciones del pozo Orca-1 (Caribe colombiano). Dis/SD, cociente Simper entre disimilaridad promedio y desviación estándar; %Dis, porcentaje de disimilaridad. ....	69
Tabla 8-5: Resultados del análisis SIMPER. Se muestran las familias en orden decreciente de contribución a la disimilaridad promedio (Dis-Prom) hasta un acumulado del 50% de la disimilaridad total entre las estaciones entre las fases durante y después de las actividades de perforación en las inmediaciones del pozo Orca-1 (Caribe colombiano). Dis/SD, cociente Simper entre disimilaridad promedio y desviación estándar; %Dis, porcentaje de disimilaridad. ....	71
Tabla 8-6: Resultados del análisis SIMPER. Se muestran las familias en orden decreciente de contribución a la disimilaridad promedio (Dis-Prom) hasta un acumulado del 50% de la disimilaridad total entre las estaciones entre las fases antes y después de las actividades de perforación en las inmediaciones del pozo Orca-1 (Caribe colombiano). Dis/SD, cociente Simper entre disimilaridad promedio y desviación estándar; %Dis, porcentaje de disimilaridad. ....	72
Tabla 8-7: Resultado del análisis multivariado BIO-Env mediante el coeficiente de correlación armónico por rangos de Spearman (Pw). Mejores 5 combinaciones de las 13 variables ambientales medidas en sedimento, tenidas en cuenta para el análisis. El primer valor indica la máxima correlación encontrada. ....	77

## Glosario

**ANÉLIDO:** Fílum de gusanos de cuerpo cilíndrico o aplanado y segmentado en anillos.

**ARTRÓPODO:** Fílum de invertebrados con simetría bilateral, el cuerpo segmentado y recubierto por un tegumento duro (exoesqueleto) y las patas articuladas.

**EQUINODERMO:** Fílum de invertebrados marinos con simetría radial, dotados de celoma, con un exoesqueleto provisto de placas y espinas calcáreas; tienen en el interior del cuerpo un conjunto de canales (sistema ambulacral) con unas proyecciones externas que les permiten el desplazamiento.

**DIVERSIDAD ECOLÓGICA:** se refiere a la riqueza de la comunidad y las abundancias relativas de las especies. La diversidad es frecuentemente utilizada como un importante indicador del funcionamiento del ecosistema, dado que la riqueza es sensible a las condiciones físicas de los ecosistemas, la heterogeneidad de hábitats y otros factores basados en interacciones bióticas.

**EQUITATIVIDAD:** grado de igualdad de la distribución de la abundancia de las especies.

**FAUNA DE FONDOS BLANDOS:** Comunidades bentónicas asociadas a los ecosistemas de fondos blandos, las cuales se pueden clasificar dependiendo de la porción que habiten como infaunales o endobentos (dentro del sustrato, de forma total o parcial) y epifaunales (sobre el sustrato).



**FONDOS BLANDOS:** Son ecosistemas conformados por la acumulación de partículas sedimentarias (arenas, arcillas, cienos, limos) en un sustrato inestable y de baja complejidad topográfica, los cuales ofrecen alimento y protección a una comunidad de organismos.

**FORAMINÍFEROS:** protistas ameboides, principalmente marinos, caracterizados por un esqueleto o concha constituido por una o más cámaras interconectadas que fosiliza con relativa facilidad.

**INDICADORES BIOLÓGICOS:** Son organismos o comunidades de éstos que a través de su presencia indican el nivel de preservación o el estado de un hábitat.

**MACROINFAUNA:** Ensamblaje de metazoarios que habitan el fondo y que son retenidos por un tamiz con ojo de malla de 500  $\mu\text{m}$  o 1 mm.

**NEMATODO:** Fílum de organismos vermiformes pseudocelomados.

**NEMERTINO:** Fílum de organismos de aspecto vermiforme y con el cuerpo aplanado dorsoventralmente.

**MOLUSCOS:** Fílum de invertebrados protóstomos celomados, triblásticos con simetría bilateral y no segmentados, de cuerpo blando, desnudo o protegido por una concha.

**OFFSHORE:** Alejado de la costa, en aguas oceánicas.

**ORGANISMOS BENTÓNICOS:** Son aquellas especies que viven en relación íntima con el fondo, ya sea para fijarse a él, excavarlo, marchar sobre su superficie o nadar en sus vecindades sin alejarse de él.

**PERFORACIÓN EXPLORATORIA:** Consiste en la perforación de pozos, los cuales pueden llegar hasta 4.000 metros (13.000 pies) debajo del suelo, cuya finalidad es llegar hasta la capa de roca donde posiblemente se pudieron acumular los hidrocarburos (petróleo y gas).

**POZO EXPLORATORIO:** Perforación vertical efectuada para localizar un yacimiento petrolífero.

**RIQUEZA DE FAMILIAS:** es el número de familias que se encuentran en un hábitat, ecosistema, paisaje, área o región determinado.

**SEDIMENTO:** Conjunto de partículas de materiales procedentes de la erosión de las rocas, de la precipitación de elementos disueltos en las aguas o de la acumulación de materia orgánica en medios continentales o marinos que, transportados por el viento, el hielo, el mar o una corriente de agua, se acumulan en el terreno o en los fondos marinos o fluviales.

**SIPUNCÚLIDO:** Fílum de animales protóstomos celomados, marinos y con el cuerpo no segmentado.

## Introducción

En los últimos años se ha incrementado el interés en la prospección gasífera y petrolífera costa afuera (offshore), creando expectativas para el aprovechamiento de nuevos yacimientos minerales situados en zonas poco accesibles del mar Caribe colombiano, comprendidas entre el Mar Territorial (12 millas náuticas) y la Zona Económica Exclusiva (200 millas náuticas).

Esta actividad inició hace más de cuarenta años con el descubrimiento de Chuchupa, principal fuente de gas y único campo productor costa afuera del país (Belalcázar, 2014). Sin embargo, el interés de los inversionistas hacia las profundidades de los mares colombianos se retomó hacia el año 2007, con la perforación exploratoria del Pozo Arazá I, por parte de la empresa PETROBRAS. En la actualidad, algunas de las principales empresas del mercado offshore, como REPSOL, SHELL, ANADARKO, PETROBRAS, entre otras, están trabajando en catorce bloques exploratorios y cinco áreas de evaluación técnica en un nuevo intento por explorar el mar abierto en Colombia.

Con el fin de garantizar que estas exploraciones sean sostenibles, es necesario conocer, en primera instancia cuáles son las características medioambientales, geomorfológicas y biológicas, entre otras, que sirven de referencia para la protección del hábitat, cuando se están llevando a cabo actividades de exploración de minerales, gas y petróleo de aguas profundas.

A pesar de la importancia que reviste el conocimiento previo de las zonas profundas del Caribe colombiano, es escasa la información de línea base que permita determinar los impactos que generan las actividades de perforación exploratoria de hidrocarburos en estos ambientes. La estructura de la macroinfauna asociada a fondos blandos se considera como un indicador del impacto potencial generado por estas actividades, por lo cual ha sido utilizada ampliamente en programas de control y vigilancia, y en valoraciones

ambientales de dichos ecosistemas. Actualmente, el conocimiento que se tiene de estas comunidades en ambientes marinos costa afuera, es debido a que se incluye su caracterización en los Términos de referencia del ANLA para la expedición de licencias ambientales.

Partiendo de la importancia ecológica de estas comunidades, el desconocimiento del impacto generado por la perforación exploratoria podría generar cambios en su estructura y/o distribución en ambientes marinos costa afuera del Caribe colombiano. Además a futuro, no se tendría sustento suficiente para tomar decisiones acertadas en la expedición de Licencias ambientales para el desarrollo de tales actividades y no se aplicarían adecuadas medidas de mitigación, corrección y restauración para los impactos generados. Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, el objetivo de esta investigación fue analizar la estructura de las comunidades macroinfaunales de fondos blandos durante las fases de la actividad de la perforación exploratoria costa afuera en el pozo Orca 1 (La Guajira). Para esto se desarrolló una investigación aplicada de tipo descriptivo.

Los resultados generados a partir del desarrollo de la investigación, permitieron analizar las variaciones en la comunidad macroinfaunal en el marco de un proyecto de perforación exploratoria de hidrocarburos, generando información de línea base que permita tomar decisiones acertadas respecto al desarrollo de esta actividad en los ecosistemas marinos de la costa caribe colombiana.

# 1. Justificación

En la búsqueda, exploración y aprovechamiento gasífero y petrolífero costa afuera, es necesario conocer cuáles son las características medioambientales, físicas y biológicas que sirven de referencia para la protección y manejo de los recursos y ecosistemas que pueden ser intervenidos cuando se estén llevando a cabo actividades de exploración de minerales y petróleo de aguas someras y profundas.

La estructura de las comunidades bentónicas es buena indicadora del estado de ecosistemas bentónicos marinos, razón por la que han sido utilizadas ampliamente en programas de control y vigilancia, y en valoraciones ambientales de dichos ecosistemas (Guzmán-Alvis *et al.*, 2001). Esta función de bioindicadores se debe a que los organismos que la integran, responden rápidamente a las perturbaciones generadas en el sedimento, ya sea por parte de agentes biológicos o antropogénicos debido a la alta diversidad taxonómica y morfología de sus integrantes. Además, la mayoría de ellos tienen poca movilidad, ciclos de vida largos, amplia tolerancia al estrés y están íntimamente asociados al sedimento, donde se acumula material orgánico particulado o tóxico (Philippi *et al.*, 1998; Guzmán-Alvis *et al.*, 2001).

Adicionalmente, estas comunidades tienen un estrecho vínculo con niveles tróficos superiores, por el flujo de materia y energía en la trama alimenticia, al ser alimento de especies comerciales de peces e invertebrados (Steele, 1970; Valiela, 1995) y, ejercer controles en procesos claves como la depredación sobre organismos más pequeños como la meiofauna y sobre la propia macrofauna (Ólafsson, 2003). Finalmente, la acción de los organismos bentónicos detritívoros causa bioturbación, lo que facilita la mezcla de los sedimentos marinos (Widdicombe & Austen, 1999; Braeckman *et al.*, 2010).

Considerando la importancia como indicador de esta comunidad, su caracterización ecológica es incluida en los Términos de referencia de la Agencia Nacional de Licencias ambientales (ANLA), en el marco de la expedición de licencias para la perforación exploratoria de hidrocarburos. Se hace necesario discernir si los cambios en la estructura de la comunidad (si los hubiese) en las fases durante y después de la perforación

exploratoria, respecto a la fase antes, se deban al efecto de estas actividades y/o a variaciones naturales intrínsecas de las comunidades de acuerdo a las épocas climáticas muestreadas.

La presente investigación se enmarcó en determinar las variaciones en la estructura de las comunidades macroinfaunales asociadas a los fondos blandos en las inmediaciones del pozo Orca 1 en La Guajira, durante las fases de la perforación exploratoria. Los resultados de la misma, permitieron analizar, con un enfoque netamente académico, los cambios en la comunidad que puedan derivarse de estas actividades, de manera que se cuente con información de línea base que esté disponible al servicio de los entes encargados de la regulación de la perforación exploratoria costa afuera, y se puedan tomar decisiones acertadas respecto a las actividades a desarrollar en los ecosistemas marinos.

## 2. Problema de investigación

El interés por nuevos yacimientos de petróleo y/o gas en Colombia ha incrementado la perforación exploratoria costa afuera, en el Caribe colombiano. La estructura de la macroinfauna asociada a fondos blandos se considera como un indicador del impacto potencial generado por tales actividades. Si bien en zonas templadas, es amplio el conocimiento en este sentido, en zonas tropicales como el Caribe colombiano, es escasa la información de línea base que permita determinarlo.

La carencia de información se debe principalmente a la falta de normativa del Gobierno nacional, en cabeza del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), para la identificación de las comunidades biológicas, en este caso específico de la macroinfauna asociada a fondos blandos en ambientes marinos offshore, antes de la ejecución de cualquier actividad que pueda llegar a impactar estos ecosistemas. De tal manera que se cuente con información de línea base que permita prever cambios a futuro producto de la realización de estas actividades.

Actualmente, la caracterización de estas comunidades se incluye en los Términos de referencia de la Agencia Nacional de Licencias ambientales (ANLA) para la expedición de licencias ambientales (Título VIII de la Ley 99 de 1993; Decreto 3266 de 2004), a las empresas que tengan planeada la perforación exploratoria de gas y petróleo, en las fases antes, durante y después de estas actividades. Sin embargo, la información generada al respecto es producto de consultoría, por lo cual queda como “literatura gris”, registrada en solo un aparte del informe entregado al ANLA por parte de la empresa interesada en adquirir la licencia ambiental. Por lo cual la comunidad científica desconoce esta información.

La macroinfauna, que es la comunidad objeto del estudio, constituye uno de los principales grupos en los océanos y es el más abundante y diversificado de los fondos blandos

marinos. Cumplen una importante función ecológica, al ser parte de la mayoría de redes tróficas de estos ambientes y generan bioturbación en los sedimentos. Partiendo de su importancia ecológica, el desconocimiento del efecto generado por la perforación exploratoria podría generar cambios en su estructura y/o distribución en ambientes marinos offshore del Caribe colombiano, donde se ha concentrado tales actividades. A futuro, con el creciente interés por descubrir nuevos yacimientos de hidrocarburos, la no aplicación de parte de los entes gubernamentales a cargo (ANLA, MADS), de adecuadas medidas de mitigación, corrección y restauración (Sentencia T-254 de 1993; Art. 333 Constitución Política), ante los impactos potenciales que puedan generar tales actividades.

Como lo describió la Corte constitucional, en la sentencia T-215/93 “el crecimiento económico, fruto de la dinámica de la libertad económica, puede tener un alto costo ecológico y proyectarse en una desenfrenada e irreversible destrucción del medio ambiente, con las secuelas negativas que ello puede aparejar para la vida social”...”debe haber una síntesis equilibradora, que subyace a la idea de desarrollo económico sostenible”. El objeto no es dejar de realizar actividades en los ecosistemas marinos offshore, que pueden proveer servicios o productos necesarios para el desarrollo y avance de la sociedad, si no tener conocimiento preciso de los posibles impactos que esto genere para tomar las medidas de compensación adecuadas, que garanticen que el ecosistema marino se mantenga para las generaciones futuras. La Constitución política (Art. 333) hace referencia a que la actividad económica y la iniciativa privada son libres, pero “dentro de los límites del bien común”.



### **3. Preguntas de investigación**

¿Cuál es la estructura de la comunidad macroinfaunal asociada a fondos blandos durante las fases de la actividad de perforación exploratoria de hidrocarburos costa afuera en las inmediaciones del Pozo Orca 1 (La Guajira, Caribe colombiano)?

¿Existen variaciones en la estructura de la comunidad macroinfaunal entre las fases antes, durante y después de la perforación exploratoria de hidrocarburos costa afuera en las inmediaciones del Pozo Orca 1 (La Guajira, Caribe colombiano)?

## **4. Objetivos**

### **4.1 General**

Determinar la estructura de las comunidades macroinfaunales asociadas a fondos blandos durante las fases que involucran las actividades de perforación exploración de hidrocarburos costa afuera en las inmediaciones del Pozo Orca 1 (La Guajira, Caribe colombiano).

### **4.2 Específicos**

Caracterizar las comunidades macroinfaunales, en las fases antes, durante y después de la perforación exploratoria de hidrocarburos costa afuera en las inmediaciones del Pozo Orca 1 (La Guajira, Caribe colombiano).

Evaluar cambios en la estructura de la comunidad en relación a las actividades de perforación exploratoria de hidrocarburos costa afuera en las inmediaciones del Pozo Orca 1 (La Guajira, Caribe colombiano).

## **5. Hipótesis de investigación**

H1: Existen diferencias en la estructura de la macroinfauna entre las fases antes, durante y después de la perforación exploratoria de hidrocarburos costa afuera, en las inmediaciones del Pozo Orca 1 (La Guajira, Caribe colombiano), como efecto de estas actividades.

## 6. Marco teórico

### 6.1 Marco contextual

Los fondos blandos conforman el ecosistema marino más extenso del mundo, y se encuentran constituidos por la acumulación de partículas sedimentarias como arenas, arcillas, cienos y limos que lo hace un sustrato inestable y de baja complejidad topográfica. Se distribuye desde la zona infralitoral hasta las zonas abisales, sin incluir la zona intermareal que corresponde a las playas, ni los fondos con vegetación (Mckee *et al.*, 2004). Los fondos blandos sedimentarios ofrecen alimento y protección a una gran cantidad de organismos, los cuales pueden vivir dentro o sobre el sedimento. Dichas comunidades bentónicas, como se les denomina, están compuestas por casi todos los phyla del reino animal, dentro de los que se destacan grupos como los poliquetos, crustáceos, moluscos, equinodermos y esponjas, por su diversidad y abundancia (Aller, *et al.*, 2001).

Los organismos bentónicos asociados a fondos blandos son clasificados según el tamaño en: Megafauna, organismos de tamaños superiores a 1 cm; Macrofauna con tamaños entre 1 mm y 500  $\mu\text{m}$ ; Meiofauna a aquellos de tamaños entre 500 y 63  $\mu\text{m}$ , y Microfauna, a organismos con tamaños menores de 63  $\mu\text{m}$  (MacDonald *et al.*, 2010). Esta clasificación asocia el valor ecológico de representar el tamaño corporal adecuado para aprovechar o explotar diferentes recursos, nichos y biomas en el ambiente bentónico (Duplisea & Hargrave, 1996). Asimismo, son clasificados según su estilo de vida como: sésiles, los que viven unidos al sustrato sin moverse, o móviles, los que viven desplazándose pero manteniendo contacto directo con el fondo. De acuerdo a la distribución que tengan en el sedimento se denomina: Hiperbentos a la asociación de organismos dependientes del fondo marino que tienen buena habilidad natatoria y realizan con diversa amplitud, intensidad y regularidad, migraciones verticales diarias y estacionales por encima del fondo marino. Epifauna a los organismos sésiles o móviles que se asientan sobre el lecho marino en sustratos duros o blandos; e Infauna, a los organismos que ubicados en la interfase

agua-sedimento viven cavando y perforando el sustrato (Duplisea & Hargrave, 1996; Herring, 2002; Aller *et al.*, 2001).

En lo que al se refiere a la macrofauna del bentos profundo, se han estimado a escala global, entre 50.000 y 5 millones de especies (Smith *et al.*, 1998). Prácticamente todos los grupos taxonómicos tienen representantes en zonas marinas a grandes profundidades, siendo los taxones más abundantes la Clase Polychaeta del Phylum Annelida y el Subphylum Crustacea del Phylum Arthropoda; también es destacada la presencia de los Phylum Echinodermata, Mollusca, Sipuncula, Nemertea y Nematoda. El común denominador dentro de estas comunidades, es el pequeño tamaño y la fragilidad de los especímenes (Trujillo *et al.*, 2009).

La estructura de las comunidades bentónicas marinas es utilizada a menudo para realizar valoraciones de impactos ambientales ya que los organismos pertenecientes a dichas comunidades presentan ciclos de vida largos, son relativamente sedentarios y exhiben diferentes grados de tolerancia al estrés (Philippi *et al.*, 1998). Además, muchas especies residen en la interface agua-sedimento donde se concentran muchos contaminantes y exhiben diferentes grados de tolerancia al estrés, lo que les permite responder a las perturbaciones generadas en el sedimento, bien sea por parte de agentes biológicos o antropogénicos. Entre estos últimos se cuentan el depósito de materia orgánica o sustancias contaminantes que tienden a precipitarse hasta el fondo y se mezclan con los sedimentos en los que habitan (Gray, 1980; Phillips & Segar, 1986; Gray *et al.*, 1988; Weston, 1990; Gray & Elliott, 2009). Debido a que la respuesta a los factores estresantes es específica para cada taxón, el análisis de la comunidad puede integrar en conjunto respuestas a múltiples condiciones de estrés ambiental. Además, esta comunidad tiene un papel importante en el ciclo de los nutrientes y otros productos químicos entre los sedimentos y la columna de agua (Díaz *et al.*, 2004; Currie & Isaacs, 2005; Blanchet *et al.*, 2008). Es así, como los atributos de la estructura de estas comunidades como composición de especies, variables cuantitativas, grupos tróficos y la identificación de una serie de especies indicadoras, pueden reflejar la calidad del ambiente y permiten la comprensión del

funcionamiento de los ecosistemas marinos (Carrasco y Gallardo, 1989; Soto & Leighton, 1999; Guzmán-Álvis & Ardila, 2004; Guzmán-Álvis *et al.*, 2001).

Teniendo en cuenta su importancia como indicadores de perturbación en los fondos blandos marinos, la caracterización de estas comunidades se incluye en los Términos de referencia de la Agencia Nacional de Licencias ambientales (ANLA) para la expedición de licencias ambientales en Colombia (Título VIII de la Ley 99 de 1993; Decreto 3266 de 2004) a las empresas que las requieren para la perforación exploratoria costa afuera (offshore). La perforación exploratoria, desarrollo y producción de petróleo y gas costa afuera (offshore), es una actividad de gran envergadura, que puede causar a largo plazo perturbaciones físicas, químicas y biológicas al medio ambiente marino local (Neff, 2005).

Después de más de cuarenta años del descubrimiento de Chuchupa, principal fuente de gas y único campo productor costa afuera del país, el interés de los inversionistas se ha vuelto a volcar hacia las profundidades de los mares colombianos en búsqueda de fuentes adicionales de hidrocarburos. En la actualidad, seis de las principales empresas del mercado offshore, como Repsol y Shell, están trabajando en catorce bloques exploratorios y cinco áreas de evaluación técnica en un nuevo intento por romper las fronteras exploratorias de las cuencas marítimas del país, tras los más recientes esfuerzos en el mercado, reflejados en los pozos perforados por Petrobras en 2007 (Arazá) y Equión Energía en 2012 (Mapalé-1) (Belalcázar, 2014).

Bajo este panorama y en previsión del impacto que podrían generar a futuro las actividades de perforación exploratoria sobre los ecosistemas marinos offshore, a nivel de país, en cabeza del MADS, debió realizarse la caracterización fisicoquímica y biológica de tales ambientes. Sin embargo, en el Caribe Colombiano, son escasas las investigaciones tendientes al conocimiento de los atributos ecológicos de las comunidades asociadas a

ambientes de fondos blandos offshore, en este caso específico de la macroinfauna bentónica.

El conocimiento que recientemente se está obteniendo, es debido a la inclusión de la caracterización de estas comunidades en los Términos de referencia de la Agencia Nacional de Licencias ambientales (ANLA) para la expedición de licencias, a empresas de sector hidrocarburos entre las que se incluyen PETROBRAS INTERNACIONAL BRASPETRO B.V. SUCURSAL COLOMBIA, SHELL Exploration and Production Colombia, EQUION ENERGIA LTD., REPSOL, ECOPETROL y ANADARKO para la ejecución de actividades de perforación exploratoria. Sin embargo, la mayoría de estas caracterizaciones son puntuales, en una época climática determinada según las necesidades e interés de las empresas, existiendo vacíos de información acerca de las variaciones naturales en éstas que permitan discernir si los cambios en la estructura de la comunidad, sean debidos a éstas o a los efectos de la perforación exploratoria. En la actualidad ECOPETROL está ejecutando la caracterización de la fase después de la perforación exploratoria, en las inmediaciones del pozo Molusco y REPSOL en las inmediaciones del pozo Siluro.

Entre los estudios referidos sobre estas comunidades en el Caribe colombiano, específicamente para el sector de La Guajira donde se ha concentrado la perforación exploratoria costa afuera de hidrocarburos, se encuentra el realizado por Cortés *et al.*, (2014), quienes caracterizaron la estructura de la comunidad macroinfaunal asentada en el área de interés de perforación exploratoria marina (APEM) en la fase antes de las actividades de perforación. En este estudio se registró una comunidad estructuralmente homogénea, atribuyendo este resultado a las pocas diferencias de profundidad entre las estaciones de muestreo y a la homogeneidad en la composición del sedimento. Por el contrario, Sánchez-Ramírez *et al.*, (2012), encontraron comunidades significativamente diferentes en el estudio de caracterizaron de la macroinfauna en el AMI Jarara (La Guajira). Esto debido a que el área de estudio, cubrió un amplio gradiente de profundidad (400 m a 1200 m). Cortés *et al.* (2011), en el área de influencia del Pozo Uchuva I (Bloque Tayrona),

a una profundidad aproximada de 850 m, registraron una comunidad macroinfaunal que presentó características similares a nivel espacial horizontal, en términos de composición y abundancia, dominada por los anélidos y artrópodos.

Estudios de zonas menos profundas en el área de La Guajira como el de Cortés *et al.*, (2012), bloque RC9 en La Guajira, hacen reportes, entre 60 y 200 m, de una comunidad definida por la profundidad, siendo las estaciones someras más diversas y con los mayores números de familias exclusivas que las estaciones a mayor profundidad. Márquez *et al.*, (2013), en el bloque RC11 en La Guajira, con estaciones entre 70 y 230 m de profundidad, encontraron que la comunidad macroinfaunal estuvo conformada por dos ensamblajes de organismos (A y B), que obedecen a un patrón de distribución espacial horizontal, relacionado con las características del sedimento en el área estudiada, siendo más diverso el ensamblaje A, donde los sedimentos fueron más finos. Finalmente, INVEMAR (2014) realizó la caracterización ambiental incluyendo la macroinfauna, del área de interés del bloque Guajira offshore 3 ubicado entre los departamentos de Magdalena y Guajira entre los 1700 a 3000 m. En este estudio sobresalieron los phyla Annelida, Arthropoda y Mollusca en los atributos comunitarios. Se registró una comunidad sin perturbación y su composición y abundancia estuvo definida por la profundidad.

Bolaño *et al.* (2015), caracterizaron la macroinfauna asociada a los fondos blandos en el área de influencia del pozo Molusco 1 (Bloque RC9), a profundidades entre 50 y 60 m. Por su parte, Ramos *et al.* (2015), evaluaron ambientalmente el área próxima al pozo exploratorio Siluro en el APEM RC11, antes de las actividades de perforación, con profundidades entre 80 y 100 m, la cual incluyó la caracterización de la macroinfauna. En ambos estudios se registró una comunidad homogénea que siguió el patrón de distribución descrito en otros estudios para comunidades bentónicas en el sector de La Guajira, en los cuales se indica a las zonas someras con presencia de sedimentos constituidos principalmente por arenas, con altas densidades y mayor diversidad, respecto a estudios realizados en zonas más profundas. Martínez *et al.* (2016) realizaron el monitoreo de



aguas, sedimentos y comunidades marinas, durante la perforación exploratoria en las inmediaciones del pozo Orca-1 (La Guajira). Este monitoreo incluyó la caracterización de la macroinfauna, de donde se desprende el presente trabajo.

En otras áreas del Caribe colombiano los estudios son aún más escasos. Específicamente, en el sector occidental del golfo de Salamanca, Solano *et al.*, (2008) aportan información de línea base de estas comunidades a profundidades entre los 500 y 600 m. Registraron ambientes no perturbados y comunidades similares a nivel espacial, como resultado de la homogeneidad en términos de la composición del sedimento. Sáenz *et al.*, (2013) caracterizaron la comunidad macroinfaunal en el bloque RC5 (entre Bolívar y Atlántico) en las fases antes, durante y después de la perforación exploratoria, a profundidades entre 30 y 40 m. Se describe una comunidad estructuralmente típica de fondos blandos marinos, destacándose los artrópodos y anélidos en su contribución a los atributos comunitarios.

Márquez *et al.* (2015), realizaron la caracterización ambiental del área de interés del bloque, durante las épocas lluvias y seca, incluyendo la macroinfauna, encontrando una comunidad dominada por los phyla Annelida y Nematoda, la cual presentó diferencias a nivel temporal. Márquez *et al.* (2016a y b), realizaron la caracterización ambiental de los bloques SIN OFF 7 (frente al departamento de Bolívar; entre 1200 y 220 m) y Colombia Offshore #3 (entre los departamentos del Magdalena y Atlántico; entre los 1200 y 3000 m), durante las épocas lluvias y seca; estas caracterizaciones incluyeron la comunidad macroinfaunal. En el bloque SIN OFF 7, se registró una comunidad dominada por los phyla Annelida y Nematoda, la cual presentó diferencias a nivel temporal. Por su parte, en el bloque Colombia Offshore #3, los phyla Annelida y Arthropoda presentaron los mayores aportes; se registró una comunidad heterogénea con una alta riqueza, diversidad y equitatividad, sin tendencias a la agrupación por años ni por épocas.

En la actualidad, las empresas PETROBRAS INTERNACIONAL BRASPETRO B.V. SUCURSAL COLOMBIA y REPSOL, se encuentra finalizando el monitoreo de las fases de

perforación exploratoria en las inmediaciones del pozo Brama 01 y del pozo Siluro (ambos en La Guajira), respectivamente. Por su parte, SHELL Exploration and Production Colombia, está iniciando el monitoreo de la fase antes, en cuatro pozos ubicados en el bloque Colombia offshore #3.

La perforación exploratoria implica la perforación de pozos para determinar si hay presencia de combustibles fósiles (petróleo y gas) (OGP, 2003). Si los combustibles fósiles se descubren durante esta fase, pueden ser perforados pozos de evaluación y delineación adicionales, para determinar el tamaño y el potencial económico del depósito de combustible fósil. La mayoría de actividades de perforación exploratoria se realizan desde plataformas autoelevadoras (a unos 150 m de profundidad) o plataformas semi sumergibles ancladas o posicionadas dinámicamente (a más de 3.500 m de profundidad). La perforación y producción como tal, por lo general se realizan a partir de grandes plataformas fijas o flotantes. Se pueden perforar desde cada plataforma, entre 10 a 50 pozos y en ocasiones hasta 100 pozos; cada pozo puede requerir unas pocas semanas a seis meses para perforar (Neff, 2005). Igualmente, es cada vez más común el empleo de terminaciones submarinas, especialmente en aguas profundas. Estas diferencias afectan a las opciones disponibles para la disposición de los lodos y bloques de perforación (CAPP, 2001; OGP, 2003).

Se han empleado una amplia variedad de fluidos para la perforación exploratoria, incluyendo el agua, o una suspensión de lodo en agua, aceite, fluidos orgánicos sintéticos, salmuera-en-aceite o emulsiones sintéticas, nieblas y espumas (Whittaker, 1985; OGP, 2003). La mayoría de los lodos de perforación modernos son mezclas de sólidos de grano fino, sales inorgánicas y compuestos orgánicos en agua o un líquido orgánico. Hay dos tipos principales de lodos de perforación (también llamados fluidos de perforación) en uso hoy en día: lodos de perforación a base de agua (WBM por sus siglas en inglés: Water Base Drilling Mud), y los lodos de perforación no acuosos (NADM: Non-Aqueous Drilling Muds) (Neff *et al.*, 2000; OGP, 2003). El WBM, que se utiliza en la mayoría de las

operaciones de perforación en alta mar, consiste en agua dulce o salada que contiene sales de bario, arcilla o un polímero orgánico, varias sales inorgánicas y aditivos orgánicos para modificar las propiedades físicas del lodo. En NADM, la fase continua es un aceite mineral o hidrocarburo sintético, por lo general emulsionado con una salmuera, y contienen sales de bario, arcillas o polímeros organofílicos y varios aditivos.

Desde la década de 1970, se han realizado muchos estudios de supervisión sobre el terreno, sobre todo en el Golfo de México, EE.UU. y el Mar del Norte, para determinar los efectos a corto y largo plazo de los vertidos de la perforación en el medio ambiente marino. Como regla general, los efectos de la WBM y recortes de los vertidos en el medio ambiente inferior están relacionados con la masa total de sólidos de perforación liberados, la energía relativa de la columna de agua y la capa límite bentónica en el sitio de descarga. En ambientes de alta energía, se acumulan pocos residuos de perforación en el fondo del mar y los efectos negativos de los vertidos no se pueden detectar. En entornos de bajo consumo energético, donde el lodo de perforación y los recortes son desviados cerca del fondo marino, éstos pueden acumularse en grandes cantidades en el fondo del mar y afectar negativamente a las comunidades de fondo dentro de unos pocos cientos de metros de la descarga (Neff, 2005).

Estos efectos sobre las comunidades bentónicas incluida la macroinfauna son causados principalmente por el enterramiento de los organismos y las bajas concentraciones de oxígeno causadas por enriquecimiento orgánico. Los efectos tóxicos, cuando se producen, probablemente son causados por sulfuro y amoníaco subproductos de enriquecimiento orgánico. La recuperación de las comunidades bentónicas se realiza mediante la recolonización de larvas planctónicas y la migración de organismos de los sedimentos adyacentes no perturbados. La recuperación ecológica por lo general comienza poco después de la finalización de la perforación y, a menudo está muy avanzada dentro de un año. La recuperación completa se puede retrasar hasta que las concentraciones de materia orgánica biodegradable disminuyen debido a la biodegradación microbiana, hasta el punto donde las capas superficiales del sedimento se hayan oxigenado (Neff, 2005).

## 6.2 Marco conceptual

Se entiende por “mar profundo” aquel que se encuentra a profundidades por debajo de la plataforma continental (200-300 m), más allá de la zona de penetración efectiva de luz solar. Desde los inicios de su exploración a mediados del siglo diecinueve, hasta su exploración actual con modernas tecnologías, ha quedado en evidencia que la topografía del fondo marino es tan compleja como la terrestre. En términos generales, la plataforma continental da paso a una pendiente mucho más inclinada llamada talud continental, el cual desciende hasta los 4000-6000 metros de profundidad, donde se encuentran las extensas llanuras abisales que cubren la mitad de la superficie del planeta (Tyler, 2003), las que a su vez se hallan fragmentadas por una continua red de dorsales oceánicas de 75.000 km de largo que surcan y originan el fondo oceánico (Garrison, 2015).

Hasta hace relativamente poco se pensó que el mar profundo era un “desierto” carente de formas de vida. Luego de 150 años de exploración, y particularmente a partir de los años 60's (Sanders *et al.*, 1965; Hessler & Sanders, 1967; Sanders & Hessler, 1969), hoy sabemos que es en realidad la más grande red de ecosistemas y hábitats del planeta, hogar de la mayor diversidad taxonómica de especies animales, el mayor número de organismos vivos y el mayor reservorio de biomasa del mundo vivo (Ramirez-Llodra *et al.*, 2010; Schiaparelli *et al.*, 2016).

La gran diversidad de hábitats que conforman el fondo marino profundo (cañones submarinos, zonas de mínimo oxígeno, arrecifes de profundidad, emanaciones frías, fumarolas hidrotermales, volcanes de lodo, etc.), constituyen un mosaico a distintas escalas espaciales, distribuido parchosamente sobre una extensa matriz de sedimentos finos, conocida comúnmente como “fondos blandos”, la cual cubre casi la totalidad de la superficie del fondo oceánico (Danovaro, 2009; Tyler *et al.*, 2016). A todos aquellos

organismos que viven asociados al fondo marino se les conoce en su conjunto como bentos u organismos bentónicos.

Al carecer de producción fotosintética, el bentos de los fondos blandos profundos depende de la “lluvia” o “nieve” de materia orgánica que cae lentamente desde la superficie marina, y no ha sido reciclada por otros organismos en su camino hacia el fondo (Gage & Tyler, 1992). Variaciones en la topografía e hidrología redistribuyen ésta “lluvia” de partículas orgánicas (principalmente fitodetritos), generando discontinuidades en su ocurrencia y abundancia en el fondo (Schiaparelli *et al.*, 2016). Ésta alta variabilidad en la cantidad y calidad de materia orgánica disponible, es a su vez responsable de las diferencias observadas en la distribución espacial de las comunidades bentónicas de fondos blandos (Johnson *et al.*, 2007). En consecuencia, puede considerarse que la limitación de alimento es uno de los principales factores que determinan la distribución espacial y temporal de las comunidades bentónicas, siendo igualmente, un factor determinante de las adaptaciones evolutivas de estos organismos (Levin *et al.*, 2001; Stuart *et al.*, 2003; Rex *et al.*, 2005; Rex & Etter, 2010).

El bentos profundo está constituido esencialmente por microorganismos y animales. La fauna bentónica puede clasificarse de acuerdo a sus diversas formas de vida (móviles o sésiles; detritívoros, suspensívoros o carnívoros; entre otros), el lugar particular que habitan (“epifauna” si viven sobre la superficie del fondo, “infauna” si viven inmersos dentro del sustrato), o su tamaño (“meiofauna” es aquella entre 63  $\mu\text{m}$  y 500  $\mu\text{m}$ , “macrofauna” aquella entre 500  $\mu\text{m}$  y ~3 cm, y “megafauna” aquella superior a ~3 cm (Eleftheriou, 2013; Giere, 2009).

La macrofauna del mar profundo juega un papel fundamental en el almacenamiento y reciclaje del carbono a escala planetaria, por lo que recientemente se ha puesto en evidencia la importancia de incluir su actividad biológica en la modelación del ciclo del carbono, permitiendo hacer mejores proyecciones del cambio climático (Snelgrove *et al.*,

2017). Estudios recientes demuestran que la diversidad de grupos funcionales de la macrofauna (ej. bioturbadores) tiene una influencia directa en la tasa de procesamiento de la materia orgánica, en la oxigenación del sedimento y en la remineralización y exportación de nutrientes de regreso a la columna de agua (Lohrer *et al.*, 2004; Waldbusser *et al.*, 2004; Laverock *et al.*, 2011; Gilbertson *et al.*, 2012; Thurber *et al.*, 2014). En este sentido, reconocer y estudiar las variabilidad espacial y temporal de la diversidad biológica macrofaunal, se hace necesario para entender la correspondiente variabilidad en las funciones ecosistémicas señaladas. De esta manera, se pueden generar modelos más precisos de los ciclos biogeoquímicos en el contexto del cambio climático (Snelgrove *et al.*, 2017), teniendo también presente que, la biodiversidad del fondo marino y su funcionamiento, influyen íntimamente la productividad de los océanos (Snelgrove *et al.*, 2014).

Estos servicios ecosistémicos del bentos cobran aún mayor relevancia en el escenario actual y futuro de actividades económicas en el mar profundo, como la extracción de recursos pesqueros (Hall-Spencer *et al.*, 2002; Wheeler *et al.*, 2005), mineros (Halfar & Fujita, 2008; Miller *et al.*, 2018) y energéticos (Currie & Isaac, 2005; Jones *et al.*, 2007; Santos *et al.*, 2009); poniendo de manifiesto la importancia de la protección y aprovechamiento sostenible de este ecosistema (Glover & Smith, 2003; Davies *et al.*, 2007).

### **6.2.1 Índices ecológicos**

La diversidad ecológica se refiere a la riqueza de la comunidad y las abundancias relativas de las especies. La diversidad es frecuentemente utilizada como un importante indicador del funcionamiento del ecosistema, dado que la riqueza es sensible a las condiciones físicas de los ecosistemas, la heterogeneidad de hábitats y otros factores basados en interacciones bióticas (Rickelfs & Miller, 1999). Para evaluar la diversidad en sus diferentes componentes y niveles o escalas, se pueden utilizar índices que finalmente ayudan a

resumir información en un solo valor y permiten unificar cantidades para realizar comparaciones (Villarreal *et al*, 2006; Magurran, 2013). Se describen a continuación los índices empleados en el marco del presente documento.

- La riqueza específica (S) es la forma más sencilla de describir la biodiversidad ya que se basa únicamente en el número de especies (en este caso, familias) presentes, sin tomar en cuenta el valor de importancia de las mismas (Villarreal *et al*, 2006; Magurran, 2013).
- El índice de Shannon, de Shannon-Weaver o de Shannon-Wiener: se usa en ecología u otras ciencias similares para medir la biodiversidad específica. Este índice se representa normalmente como H' y se expresa con un número positivo, que en la mayoría de los ecosistemas naturales varía entre 0,5 y 5, aunque su valor normal está entre 2 y 3; valores inferiores a 2 se consideran bajos en diversidad y superiores a 3 son altos en diversidad de especies. No tiene límite superior o en todo caso lo da la base del logaritmo que se utilice. La ventaja de un índice de este tipo es que no es necesario identificar las especies presentes; basta con poder distinguir unas de otras para realizar el recuento de individuos de cada una de ellas y el recuento total (Villarreal *et al*, 2006; Magurran, 2013).

Tiene la siguiente expresión:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$$

donde:

S: número de especies (la riqueza de especies)

$p_i$ : proporción de individuos de la especie  $i$  respecto al total de individuos (es decir la

abundancia relativa de la especie  $i$ ):  $\frac{n_i}{N}$

$n_i$ : número de individuos de la especie  $i$

$N$ : número de todos los individuos de todas las especies

De esta forma, el índice contempla la cantidad de especies presentes en el área de estudio (riqueza de especies), y la cantidad relativa de individuos de cada una de esas especies (abundancia).

- El Índice de Margalef, es una medida utilizada en ecología para estimar la biodiversidad de una comunidad con base a la distribución numérica de los individuos de las diferentes especies en función del número de individuos existentes en la muestra analizada (Villarreal et al, 2006; Magurran, 2013). Tiene la siguiente expresión:

$$I = \frac{s - 1}{\ln N}$$

donde:

$I$ : es la biodiversidad

$s$ : es el número de especies presentes

$N$ : es el número total de individuos encontrados (pertenecientes a todas las especies). El mínimo valor que puede adoptar es cero, y ocurre cuando sólo existe una especie en la muestra ( $s=1$ , por lo que  $s-1=0$ ).

- El Índice de equitatividad o uniformidad de Pielou mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Su valor va de 0 a 1, de forma que 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes (Villarreal et al, 2006; Magurran, 2013). Tiene la siguiente expresión:

$$J' = \frac{H'}{\log_2 S}$$



donde,

$H'$ : índice de Shannon-Wiener

$\text{Log}_2 S$ : es la diversidad máxima ( $H'_{max}$ ) que se obtendría si la distribución de las abundancias de las especies en la comunidad fuesen perfectamente equitativas.

### 6.3 Marco normativo

Ante el creciente interés por la expansión de la industria de hidrocarburos más allá de los suelos firmes introduciéndose al ecosistema marino, las organizaciones internacionales y los países desarrollados y en vía de desarrollo han establecido una serie de normativas y reglamentaciones que establecen con claridad la pertenencia de estas riquezas para su explotación (Moreno, 2017).

En lo que hace referencia a la legislación marítima relativa a los territorios marítimos en Colombia, para regular la soberanía de sus mares, el Gobierno nacional ha incorporado algunos instrumentos jurídicos consecuentes con principios y conceptos de convenios y acuerdos internacionales, los cuales se indican a continuación:

- El Decreto con fuerza de Ley 2811 de 1974, en sus artículos 164 a 166, involucran los conceptos sobre mar territorial, zona económica exclusiva y plataforma continental.
- Ley 10 de 1978: por medio del cual se dictan las normas sobre mar territorial, zona económica exclusiva, plataforma continental, y se dictan otras disposiciones. En esta ley se establecen los espacios que estas zonas determinan y trata el derecho de paso inocente de los buques de otros Estados, los derechos con que cuenta el Estado (exploración, explotación, conservación y administración de los recursos naturales vivos y no vivos, jurisdicción exclusiva para la investigación científica marina y la preservación del medio marino en la Zona económica Exclusiva, y de explotación y exploración en su Plataforma continental), y las líneas de base rectas y normales.

- Ley 12 de 1981: Aprobó la “Convención internacional para la Prevención de la Contaminación por Buques” y el Protocolo de 1978 relativo al “Convenio internacional para prevenir la contaminación por Buques”. Este Convenio de 1973 y el Protocolo lo modificó ulteriormente en 1973, se conoce también de manera abreviada como “MARPOL 73/78” y cubre todos los aspectos de orden técnico referidos a la contaminación por buques petroleros y demás buques en general que cuenten con ciertas características de tonelaje.
- Decreto 1436 de 1984: por el cual se reglamenta el Artículo Noveno de la Ley 10 de 1978. En este decreto encontramos las coordenadas de los puntos que determinan las líneas de base recta para la Costa Atlántica y la Costa Pacífica.
- Decreto 2324 de 1984: mediante este Decreto, se establece a la Dirección General Marítima y Portuaria DIMAR, como ente encargado de ejecutar la política del Gobierno en materia marítima y tiene por objeto la regulación, dirección, coordinación y control de las actividades marítimas en los términos señalados en el mismo. Entre otras, define como actividad marítima en su artículo tercero “los sistemas de exploración, explotación, prospección de los Recursos Naturales del medio marino”...”colocación de cualquier tipo estructuras, obras fijas o semifijas en el suelo o subsuelos marinos”.
- Constitución Política de 1991, Artículo 101: En el Capítulo 4 “Del territorio”, se encuentra que “también son parte de Colombia el Subsuelo, el Mar territorial, la Zona contigua, la Plataforma continental, la Zona Económica exclusiva”. Lo importante de este artículo es que hace referencia a la Zona contigua que no es tomada en cuenta en la Ley 10 de 1978.

Por su parte, en relación a la protección al medio marino y costero:

- Ley 56 de 1987: mediante esta Ley el Gobierno nacional aprobó el Convenio para la Protección y el Desarrollo del Medio marino de la Región del Gran Caribe. Dicho convenio establece que las partes contratantes deben adoptar medidas adecuadas para el logro de dicho fin, especialmente en la relación con la contaminación causada por descargas desde buques; por vertimientos de desechos y otras materias, desde buques, aeronaves o estructuras artificiales en el mar; por

desechos y descargas originadas por fuentes terrestres; por la explotación y exploración de los fondos marinos y del subsuelo y por descargas en la atmósfera generadas por actividades realizadas en su territorio. Por esta misma Ley, se aprobó el Protocolo de Cooperación para combatir los derrames de hidrocarburos en la Región del Gran Caribe. Dicho protocolo tiene como fundamento el desarrollo e implementación particular de las disposiciones para el Convenio para la Protección y el Desarrollo del Medio Marino de la Región del Gran Caribe. Reconoce la amenaza que representa para el medio marino y costero de la región del Gran Caribe todas las actividades relacionadas con la exploración, producción, refinación y transporte de hidrocarburos que pueden generar derrames de éstos.

- Ley 356 de 1997: Por esta Ley el Gobierno nacional adoptó el Protocolo relativo a las áreas y a la Flora y la Fauna silvestres, especialmente protegidas del Convenio para la Protección y el Desarrollo del medio Marino en la Región del Gran Caribe. El objetivo del mismo es garantizar la protección, preservación y manejo sostenible de las áreas que requieran especial salvaguarda y las especies de flora y fauna amenazadas o en peligro de extinción. Dispone que se deben establecer áreas protegidas que cumplan con determinados requisitos de representatividad ecosistémica y valor en biodiversidad.
- Ley 165 de 1994: Por medio de esta Ley se acogió el Convenio sobre la Diversidad Biológica, el cual dentro de sus aspectos relevantes está el velar por la conservación de la biodiversidad, para lo cual las partes tienen obligaciones de conservación *in situ* y *ex situ*, fomentando el uso sostenible de los componentes de la biodiversidad.

El denominado principio de Desarrollo sostenible, acogido por la Declaración de Río de Janeiro de 1992, implica el sometimiento de la actividad económica a las limitaciones y condicionamientos de las autoridades ambientales y la normativa en esta materia imponen a su ejercicio, de tal manera que el derecho a la libertad económica sea compatible con el derecho a un ambiente sano. La política ambiental adoptada por el Estado colombiano, está sustentada en el principio de Desarrollo sostenible, el cual implica la obligación de las autoridades públicas de restablecer un equilibrio entre la actividad económica y la

protección del ambiente y los recursos naturales, a fin de garantizar el desarrollo social y la conservación de los sistemas naturales.

En este sentido, se han generado nuevas herramientas jurídicas de manera que se garantice que la explotación de los recursos renovables y no renovables se haga dentro del cumplimiento de las normas ambientales sin perjuicio de las comunidades y el medio ambiente. Es así, que en la Constitución Política de Colombia, se establece en su Capítulo 3 “De los derechos colectivos y del Ambiente”, en su artículo 79 el goce a un ambiente sano, al que tienen derecho todos los ciudadanos del territorio nacional, sometiendo a la participación de las comunidades sobre las decisiones que se tomen sobre la afectación al ambiente, además de vincular al Estado en la protección de los recursos naturales. En relación con la responsabilidad en la conservación y defensa del ambiente, en el artículo 333 de la Constitución Política, se establece que la actividad económica y la iniciativa privada son libres pero “dentro de los límites del bien común”.

Considerando que la protección al medio ambiente corresponde a uno de los más importantes cometidos estatales, es deber del Estado garantizar a las generaciones futuras la conservación del ambiente y la preservación de los recursos naturales. Por tal razón, para fortalecer la estructura ambiental creada en la Constitución Política, el Estado sanciona la Ley 99 de 1993, por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) (Artículo 12 de la Ley 1444 de 2011) y se determinan otras disposiciones, entre las cuales se encuentra la reglamentación del Licenciamiento Ambiental para la ejecución de proyectos que afecten al ambiente y/o utilicen el aprovechamiento de recursos naturales, reglamentación basada en el principio de precaución.

El título VIII de la citada Ley establece con claridad el alcance de la obligatoriedad de la licencia, la competencia del otorgamiento de las licencias ambientales, así como los casos

puntuales en que el MADS otorga dichas licencias, entre las cuales se menciona todo lo referente a la exploración, explotación, transporte, conducción, almacenamiento y refinación de hidrocarburos en el territorio nacional y, por tanto abarcaría también los hidrocarburos contenidos y sujetos de exploración y explotación en las áreas marinas de conformidad a la legislación vigente para Colombia en dicha materia.

Dentro del refuerzo a la legislación ambiental para aplicación en el territorio colombiano, el MADS ha venido generando una serie de decretos para reglamentar el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales, partiendo del Decreto 1753 de 1994, Decreto 2820 de 2010, que reglamenta entre otras cosas y de forma más precisa, lo requerido para obtener una licencia ambiental para las actividades del sector hidrocarburos sobre el territorio nacional. Adicionalmente, mediante el Decreto 3573 de 2011, se creó la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA, la cual es la entidad encargada de que los proyectos, obras o actividades sujetos de licenciamiento, permiso o trámite ambiental cumplan con la normativa ambiental, de tal manera que contribuyan al desarrollo sostenible ambiental del país. Por tal razón le corresponde otorgar o negar las licencias, permiso y trámites ambientales de su competencia, de conformidad con la ley y los reglamentos.

Por su parte, el artículo 57 de la Ley 99 de 1993 establece lo relacionado con el Estudio de Impacto Ambiental, definiéndolo como “el conjunto de la información que deberá presentar ante la autoridad ambiental competente, el peticionario de una Licencia ambiental...” contendrá información sobre la localización del proyecto y los elementos abióticos, bióticos y socioeconómicos del medio que puedan sufrir deterioro por la respectiva obra o actividad, para cuya ejecución se pide la licencia y la evaluación de los impactos que puedan producirse. Además, incluirá el diseño de los planes de prevención, mitigación, corrección y compensación de impactos y el plan de manejo ambiental de la obra o actividad...”

En cuanto a la definición de políticas nacionales ambientales para los proyectos de perforación exploratoria costa afuera, en la actualidad el MADS, por medio de la Dirección de Asuntos Marinos y Costeros (DAMCRA), avanza en el desarrollo de los términos de referencia para la presentación de estudios de impacto ambiental para proyectos costa afuera.

Si bien la construcción de este marco de referencia aún está en proceso, el Ministerio ya ha otorgado licencias ambientales para áreas de perforación exploratoria marina de hidrocarburos, para lo cual se han expedido los términos específicos para cada caso. A su vez, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) está fortaleciendo equipos de trabajo con perfiles específicos para atender los procesos de evaluación y seguimiento de los proyectos costa afuera.

## **7. Materiales y métodos**

### **7.1 Tipo de investigación**

La investigación realizada se refiere a una investigación aplicada de carácter descriptivo. En esta clase de estudio se miden o evalúan diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar (Hernández *et al.*, 2006). En el caso de este estudio específicamente, se realizó un análisis cuantitativo de la estructura de la macroinfauna de fondos blandos en las inmediaciones del pozo Orca-1, antes, durante y después de las actividades de perforación exploratoria de hidrocarburos costa afuera, con el fin de determinar el efecto de éstas sobre la macroinfauna.

### **7.2 Autorizaciones**

La información a emplear para la realización del proyecto, fue obtenida en cruceros ejecutados por investigadores de la Oficina de Coordinación de Servicios Científicos – CSC, del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – INVEMAR, en el marco de un proyecto de consultoría con la empresa PETROBRAS INTERNACIONAL BRASPETRO B.V. SUCURSAL COLOMBIA (en adelante PETROBRAS).

El INVEMAR cuenta con los permisos requeridos por parte de la autoridad ambiental, para la toma de muestras con fines de investigación (Anexo A). Adicionalmente, considerando que la información es de carácter privado por ser producto de consultoría, se solicitó la autorización a la PETROBRAS, para el uso de la misma con fines académicos (Anexo B).

### **7.3 Ubicación sitio de muestreo**

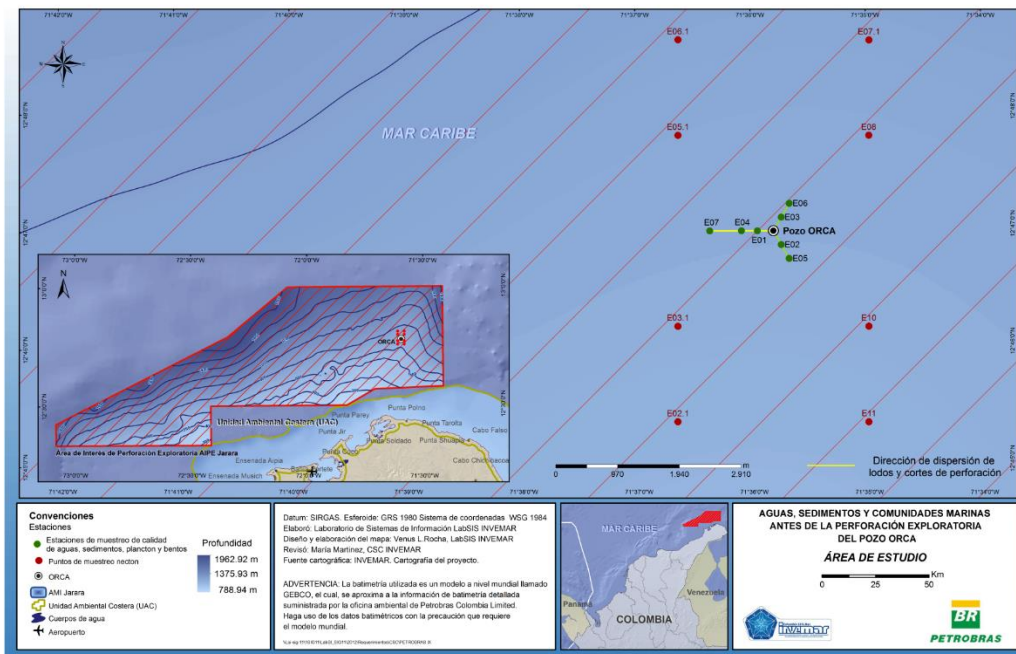
El área de estudio corresponde a la zona geográfica del Mar Caribe, bajo jurisdicción colombiana, específicamente en un sector de La Guajira. Se analizó la estructura de la macroinfauna asociada a los fondos blandos de las inmediaciones del pozo Orca-1, el cual se encuentra localizado al norte del departamento de La Guajira a una distancia de 40 kilómetros de la línea costera, sobre la isobata de 670 m y dentro del área de mayor interés

de perforación exploratoria Jarara (AMI). El AMI cubre un área de 1.495,5 km<sup>2</sup>, un perímetro de 152,5 km e incluye profundidades que van de los 400 a los 1.200 m en el talud continental y se localiza en la sección norte del bloque Tayrona, que fue otorgado a PETROBRAS COLOMBIA LTD. por la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) en el 2004 para su exploración.

## 7.4 Población y muestra

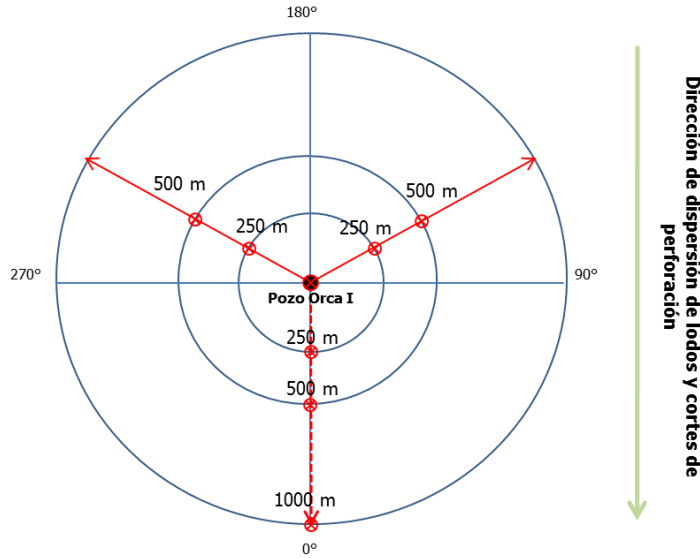
Se analizaron los datos de la macroinfauna de fondos blandos en siete estaciones, en ubicación radial alrededor del pozo Orca-1. Las estaciones E1, E2 y E3 en el primer radial a 250 m; E4, E5 y E6 en el segundo radial a 500 m y la estación E7, en el tercer radial a 1000 m (Figura 7-1; Figura 7-2). La profundidad de las estaciones osciló entre 650 y 670 m.

**Figura 7-1:** Ubicación de las estaciones de muestreo en las inmediaciones del pozo de perforación exploratoria Orca-1 (La Guajira). Fuente: Archivos CSC-INVEMAR (2016).





**Figura 7-2:** Diseño radial y dirección de dispersión de lodos y cortes de perforación.  
Fuente: Archivos CSC-INVEMAR (2016).



## 7.5 Salida de campo

En cada una de las estaciones ubicadas en los tres pozos de perforación exploratoria a analizar, se cubrió un área de 0,1 m<sup>2</sup>, que es el área mínima representativa para el estudio de la macroinfauna (Holme & Mc Intyre, 1971; Eleftheriou & Moore, 2005). La ubicación de las estaciones en cada pozo, obedeció a los lineamientos establecidos para el diseño muestral, en los Términos de referencia emitidos por la Agencia Nacional de Licencias Ambientales – ANLA, para otorgar la Licencia de perforación exploratoria.

La toma de muestras se llevó a cabo en muestreos diurnos, en siete (7) estaciones ubicadas en el área de influencia directa del pozo (E01, E02, E03, E04, E05, E06 y E07). El muestreo de la fase antes se realizó a bordo del remolcador “Maria José”, el 6 de diciembre de 2013. El muestreo de la fase durante y después se realizaron a bordo del remolcador “Don Rodrigo”, en campañas realizadas el 22 y 23 de marzo de 2015 y 29 de septiembre de 2015, respectivamente.

## 7.6 Recolección de la muestra

La recolección de las muestras se realizó empleando un Box corer que cubre un área total de recolección de 0,250 m<sup>2</sup> (Fotografía 7-1). Este equipo es ampliamente utilizado para estudios cualitativos y cuantitativos de las comunidades bentónicas infaunales en Colombia y en el mundo, presentando alta efectividad y excelente calidad de muestra en sedimentos tipo cieno como los encontrados en el área de muestreo (Eleftheriou & Moore, 2005).

**Fotografía 7-1:** Equipo tipo Box core, empleado para la toma de muestras de macroinfauna en las inmediaciones del pozo Orca-1 (La Guajira, Caribe colombiano). Fuente: Archivos CSC-INVEMAR (2016).



Posterior a la toma del sedimento se verificó que la muestra presentara el mínimo de perturbación en su superficie, teniendo en cuenta como criterio de aceptación que el sedimento no estuviera lavado ni deformado por posibles volcamientos o choques del equipo durante el ascenso. Una vez en cubierta se separó una sub-muestra con un marco aislador de 0,1 m<sup>2</sup> (Fotografía 7-2), el cual se introdujo 10 cm en el sedimento.

**Fotografía 7-2:** Marco metálico empleado para delimitar el área mínima representativa (0,1 m<sup>2</sup>) para el estudio de la macroinfauna. Fuente: Archivos CSC-INVEMAR (2016).



El tamizaje de la muestra en campo en cada una de las estaciones, se realizó con agua de mar filtrada (150  $\mu\text{m}$ ) sobre un tamiz con un poro de malla de 500  $\mu\text{m}$  (Fotografía 7-3a) (Eleftheriou & Moore, 2005). Cada muestra resultante se almacenó en bolsas plásticas debidamente etiquetadas con la fecha y código de la estación. Con el fin de facilitar la identificación de los organismos en el laboratorio, se adicionaron 0,5 L de solución narcotizante de Cloruro de magnesio (70  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ) para mantenerlos relajados durante su muerte (Baguley *et al.*, 2006). Transcurridos 10 minutos se adicionó una solución de formalina al 10 %, la cual sirvió como agente fijador y colorante, pues previamente se había añadido rosa de bengala (1 %) (Fotografía 7-3b). Este tinte se adhiere a los epitelios de los organismos facilitando su posterior separación en el laboratorio (Mason & Yevich, 1967). Se agitó el contenido de cada bolsa para homogenizar la muestra de sedimento con los reactivos adicionados.

**Fotografía 7-3:** a) Tamizaje de la muestra. b) Almacenamiento, narcotización y fijación.  
Fuente: Archivos CSC-INVEMAR (2016).



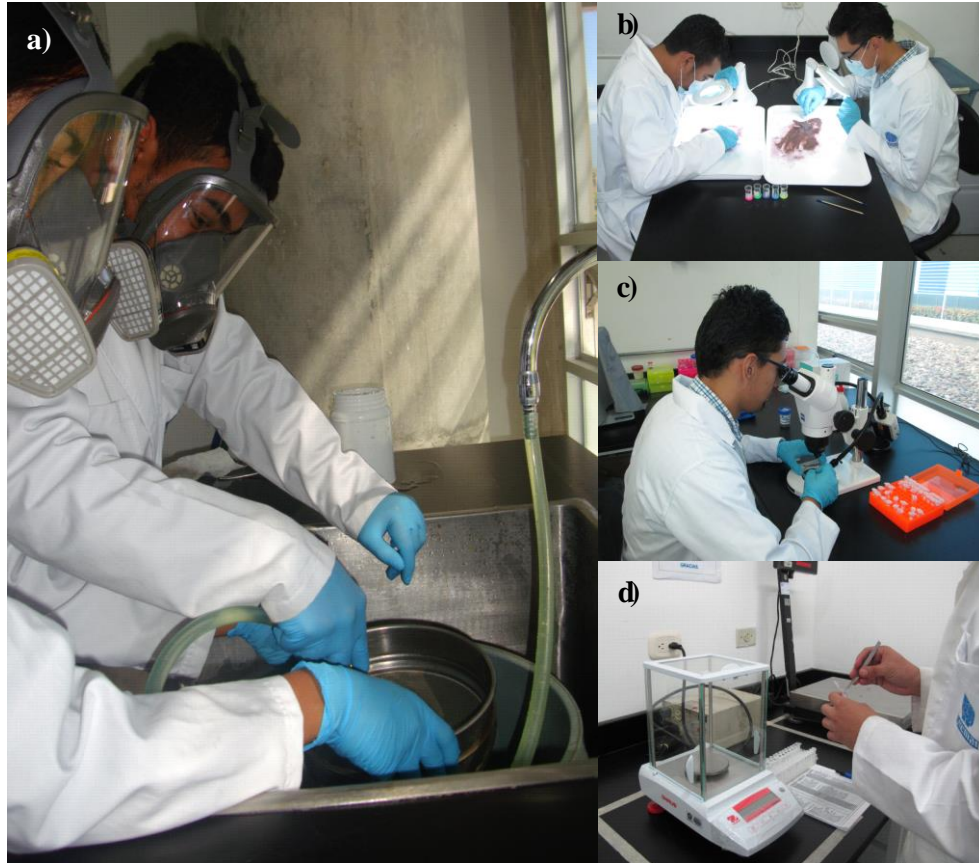
Los métodos aquí descritos se realizaron de igual manera en las siete estaciones de muestreo para cada una de las fases muestreadas (antes, durante y después).

## 7.7 Análisis de laboratorio

Una vez en laboratorio, las muestras de sedimento fueron lavadas, sirviéndolas sobre un tamiz con un poro de malla de 500  $\mu\text{m}$ , con el fin de eliminar residuos del fijador y las fracciones más finas del sedimento (Fotografía 7-4a). Posteriormente, se llevó a cabo el proceso de separación de organismos contenidos en la muestra, empleando para esto bandejas blancas que hacen contraste con los organismos teñidos de rosa. Se hizo uso además de lámparas con lupa que permiten una adecuada separación de los organismos en grupos mayores (anélidos, crustáceos, moluscos, equinodermos y en la categoría de “otros” a los nematodos, nemertinos, sipuncúlidos, entre otros) (Fotografía 7-4b). Los organismos separados, fueron preservados en alcohol al 70 %. Después de la separación, los organismos se cuantificaron e identificaron al nivel taxonómico de familia, siendo este nivel recomendado para estudios ambientales, porque es pequeña la pérdida de información comparada a una identificación a nivel de género o especie (Clarke & Warwick, 2001). La identificación se llevó a cabo con la ayuda de estereoscopio y microscopio (Fotografía 7-4c).



**Fotografía 7-4:** Análisis de laboratorio. a) Lavado de muestras sobre tamiz de 500  $\mu\text{m}$ . b) Separación de organismos en grupos mayores. c) Identificación y cuantificación de la macroinfauna a nivel de familia por estación y d) biomasa húmeda por familias por estación. Fuente: Archivos CSC-INVEMAR (2016).



Para la identificación de los diferentes phyla encontrados en la macroinfauna se utilizó la siguiente bibliografía especializada. Anélidos: Blake *et al.*, (1996a, 1996b; 1997); Paxton *et al.* (2000); Rouse & Pleijel (2001); Uebelacker & Johnson (1984). Artrópodos: Bousfield (1973); Boxshall & Halsey (2004); Breedy & Murillo (1995); Brinton (1955); Campos *et al.* (2005); Heard *et al.* (2003); Kensley & Schotte (1989; 1994); Lázaro & Zárraga (1992); Lecroy *et al.* (2011); Mclaughlin (2003); Namiotko *et al.* (2012); Ortiz (1994); Ortiz *et al.* (2012a; 2012b); Ozawa (2003); Reyes & Acosta (1995); Muñoz & Delgado (1990). Bryozoa: Flórez-Romero & Montoya-Cadavid (2004); Soule *et al.* (1995). Cnidaria: Fraser (1944); Van Gernerden-Hoogeveen (1965); Equinodermos: Benavides-Serrato *et al.* (2011); Figueras (2009). Foraminíferos: Hayward *et al.* (2015); Figueroa *et al.* (2005); Moluscos: Barwick & Cadien (2005); Díaz & Puyana (1994); Coan *et al.* (2000); Caetano (2007); Yidi

& Sarmiento (2011). Nemátodos: Nematology (2015); Steyaert *et al.* (2015); Keppner & Tarjan (1989); Nemertinos: Smith (1964); Gibson (2002); Chernyshev (2003); Roe *et al.* (2006); Platth & Warwick (1983; 1988). Sipuncúlidos: Cutler (1994). La clasificación fue actualizada bajo las categorías del Registro Mundial de Especies Marinas (WoRMS) (ANEXO C).

Adicionalmente, se determinó la biomasa húmeda (Birkett & McIntyre, 1971), utilizando una balanza analítica de precisión 0,0001 g (Fotografía 7-4d). Los organismos fueron pesados por familia, estación y época, dejándose primero escurrir sobre papel absorbente para eliminar el exceso de conservante. Los ejemplares de anélidos encontrados en tubos fueron extraídos al igual que los moluscos de sus conchas, para pesar solamente el cuerpo blando, con el fin de evitar una sobreestimación de sus biomásas.

## **7.8 Análisis de la información**

### **7.8.1 Análisis univariados**

Inicialmente, se construyeron matrices en Excel con la información de abundancia y biomasa de los organismos por familia, para cada una de las estaciones de muestreo, durante las fases muestreadas (antes, durante y después de la perforación).

La macroinfauna se describió en términos de composición, abundancia y biomasa por phyla para las tres fases muestreadas. La abundancia indica el número de individuos, la biomasa el peso húmedo de dichos organismos y el número de familias determina la riqueza específica por sitio de muestreo. Se construyeron gráficos tipo torta y columna para representar la contribución por phylum a los atributos comunitarios de composición (riqueza específica), densidad y biomasa húmeda y visualizar su comportamiento entre las estaciones.

Se utilizaron los siguientes descriptores comunitarios: riqueza, estimada con el índice de Margalef (Margalef, 1958); diversidad usando el índice de Shannon-Wiener (Shannon & Weaver, 1949), cuyo valor oscila entre 0 y 5 y será máximo cuando todas las especies, en este caso familias, estén representadas por el mismo número de individuos. Finalmente, se empleó la uniformidad o equitatividad de Pielou (Pielou, 1969); el valor de este índice es máximo (1), si todas las especies en una muestra presentan la misma abundancia y, decrece tendiendo a cero a medida que las abundancias relativas se hacen menos equitativas. En conjunto estos índices permiten evaluar el grado de complejidad de la comunidad y sus variaciones en las diferentes estaciones para cada una de las fases de muestreo (Villarreal *et al.*, 2006; González, 1999; Ludwig & Reynolds, 1988).

Para evaluar el nivel de perturbación en la comunidad, ya sea de origen natural o antropogénico, se graficó el valor del estadístico W, obtenido mediante la realización de las curvas ABC, que representa la diferencia en porcentaje acumulado entre la biomasa y la abundancia de individuos (Clarke & Warwick, 2001). En condiciones normales (ausencia de perturbación) este valor es positivo y cercano a 1 y, en situaciones perturbadas, es negativo y tiende a -1. El estadístico W se graficó para cada estación durante las fases muestreadas.

Se realizaron gráficos de cajas para examinar la variación entre las fases muestreadas en términos de la abundancia de individuos, biomasa húmeda, número de familias y de los índices ecológicos. Estos gráficos tienen por objeto reflejar la distribución de frecuencias de los valores dando en un mismo elemento de información acerca de la mediana, la media, los cuantiles 0,05; 0,25; 0,75 y 0,95 y mostrando la presencia, si los hubiese, de valores extremos (Villarreal *et al.*, 2006). Para determinar la existencia de diferencias significativas en los valores promedio de los atributos comunitarios entre fases, se llevaron a cabo pruebas univariadas paramétricas o no paramétricas, dependiendo si éstos atributos cumplen con los supuestos requeridos para la realización de las mismas. Lo correspondiente a los análisis univariados y gráficos de cajas y bigotes se realizaron en el programa Infostat v 2008 (Balzarini *et al.*, 2008; Di Rienzo *et al.*, 2008).

### 7.8.2 Análisis multivariados

Se aplicaron técnicas multivariadas con el propósito de detectar las variaciones espacio-temporales de la estructura de la comunidad según sus atributos faunísticos para todas las estaciones de muestreo. Integrando las muestras por estación, se realizó un análisis de clasificación cuantitativo, mediante el índice de similaridad de Bray-Curtis, usando como técnica de agrupamiento el ligamiento promedio no ponderado (UPGMA) (Field, *et al.*, 1982). Esta clasificación aproxima al conocimiento de la estructura de la comunidad, logrando una percepción de la respuesta biológica al entorno y a través del tiempo, ayuda a definir cambios ante sensores, cambios cíclicos, estacionales o fluctuaciones (González, 1999).

Conjuntamente, se realizó un análisis de ordenación por el método de escalamiento multidimensional no métrico (nMDS), basado en una relación no lineal entre las similaridades y las distancias en el plano cartesiano (Field *et al.*, 1982; González, 1999); el cual logra dar una mayor lucidez de los resultados y un uso eficiente de los datos con relación a la clasificación de una comunidad (Ludwig & Reynolds, 1988). Los resultados de esta técnica se graficaron sobre un mapa de puntos que delimita el espacio bidimensional donde los componentes se sitúan, obteniendo la configuración final que presente el menor nivel de estrés entre 9999 reiteraciones (Clarke & Ainsworth, 1993; Clarke & Warwick, 2001). Este es un método flexible que no se ve afectado por el tipo de distribución de los datos y puede representar en un espacio de pocas dimensiones, las relaciones complejas que existen entre las estaciones, debidas a la variación en abundancia y composición de los taxa en cada estación.

Para observar si existen diferencias significativas entre los muestreos realizados antes, durante y después, en términos de la composición y abundancia de individuos de la comunidad, se empleó el análisis matemático multivariado denominado ANOSIM (análisis de similaridad). Este presenta ventajas sobre las pruebas comúnmente usadas como las ANOVAS, empleándose en matrices con muchas familias y un menor número de



estaciones (matrices asimétricas); igualmente se puede usar en situaciones de distribuciones no normales, como es corriente en matrices biológicas que tienen una gran cantidad de ceros (más del 50% de la matriz). El ANOSIM parte de matrices de rangos de similitud obtenidas a partir de los datos de abundancia o biomasa (Clarke & Warwick, 2001). Se empleó la técnica SIMPER para calcular la contribución de las familias a la disimilitud promedio entre fases y examinar cuáles de estas fueron consistentemente indicadoras de discriminación, evaluando el cociente entre la disimilitud promedio y la desviación estándar (Clarke & Warwick, 2001).

Mediante el procedimiento de correlación Bio-Env, se pretende definir los patrones ambientales multivariados que mejor pudieran explicar la estructura biótica observada (Clarke & Ainsworth, 1993; Clarke & Warwick, 2001). Este análisis se fundamenta en maximizar la correlación de los elementos de las matrices triangulares de similitud biótica (Bray-Curtis) y abiótica (Distancia Euclidiana sobre las variables ambientales normalizadas). El proceso se repite con grupos crecientes de k-variables ambientales, dando como resultado una serie de coeficientes de correlación. El coeficiente máximo obtenido de todas las posibles combinaciones de las k-variables, indica que esa combinación es la que 'mejor explica' el patrón biológico obtenido en la ordenación y clasificación (Clarke & Ainsworth, 1993; Clarke & Warwick, 2001). Se empleó para este propósito, el coeficiente armónico por rangos de Spearman, debido a las diferentes unidades y modos de construcción de las dos matrices (Ludwig & Reynolds, 1988; Clarke & Ainsworth, 1993).

Estos análisis se realizaron en el programa estadístico PRIMER v 6.0 (Clarke & Gorley, 2001; Anderson *et al.*, 2008).

## 8. Resultados y discusión

### 8.1 Estructura de la comunidad

#### 8.1.1 Composición y densidad

Se identificaron 146 taxones, pertenecientes a 10 phyla: Annelida, Arthropoda y Mollusca, y dentro de la categoría “otros”: Brachiopoda, Cnidaria, Echinodermata, Foraminifera, Nematoda, Nemertea, y Sipuncula (Anexo D). Se destacaron los anélidos y artrópodos por presentar el mayor número de familias en las tres fases muestreadas (Figura 8-1). Este resultado coincide con lo indicado por Gray & Elliott (2009), quienes afirman que estos son los grupos de organismos más frecuentes y abundantes de la macroinfauna; la clase Polychaeta en el caso de Annelida y el subphylum Crustacea de Arthropoda.

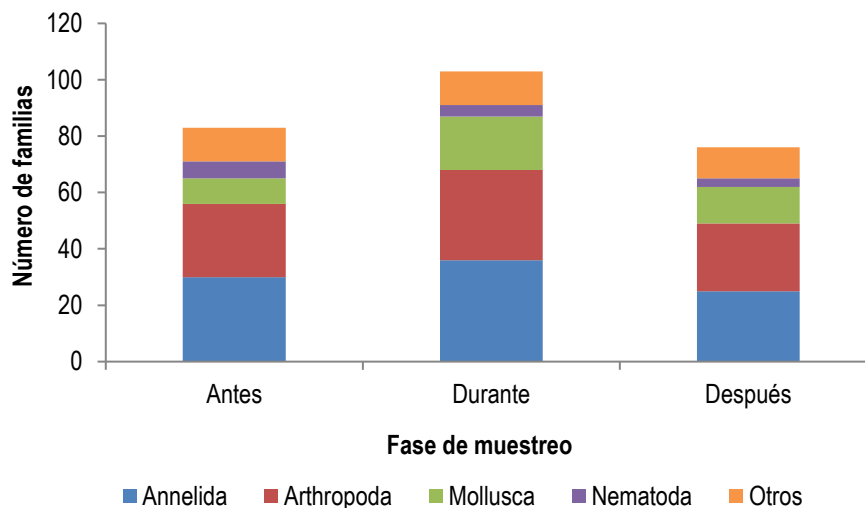
La dominancia de los phyla Annelida y Arthropoda en los aportes de composición, es atribuida a su éxito en la colonización de los sedimentos marinos, principalmente por características ecológicas de cada grupo, como son la talla corporal, apéndices especializados para la alimentación y desplazamiento en el sedimento, realización de estructuras como tubos o cuevas para su protección. Asimismo, la variedad en sus fuentes alimenticias es otro factor que ha permitido a estos phyla dominar en las comunidades de fondos blandos (Blake & Valentich-Scott, 1997; Rouse & Pleijel, 2001; Fauchald & Jumars, 1979).

Los grupos taxonómicos encontrados, coinciden con los registrados para estudios de bentos de aguas profundas en el otros sectores de La Guajira, como los realizados por Cortés *et al.* (2011) en el área de influencia del Pozo Uchuva I en el bloque Tayrona (Magdalena-La Guajira), a una profundidad aproximada de 850 m, Sánchez *et al.* (2012) en el AMI Jarara (La Guajira) cubriendo desde la isóbata de 400 m hasta la de 1200 m y por Cortés *et al.*, 2014 en el bloque Guaoff 1, a profundidades entre los 1 700 y 3 000 m.

En estos estudios, se destaca igualmente a los anélidos y artrópodos como los grupos que realizan los mayores aportes a la riqueza de familias.

Se registró un incremento del número de familias de la fase antes (83) a la fase durante (107). Por su parte en la fase después se registró el menor número (76) (Figura 8-1).

**Figura 8-1:** Número de familias por phyla de la macroinfauna registrada en las inmediaciones del pozo Orca-1 (Caribe colombiano), en las fases antes, durante y después de la perforación exploratoria. La categoría “Otros” incluye: Brachiopoda, Cnidaria, Echinodermata, Nemertea y Sipuncula.

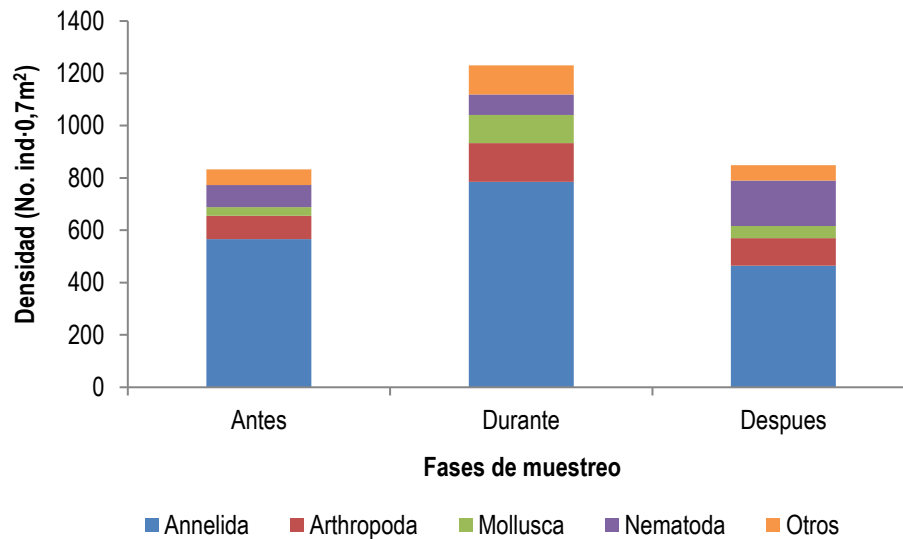


Se registraron en total 2.912 individuos para las tres fases muestreadas. La densidad aumentó entre el muestreo de la fase antes (833 ind·0,7 m<sup>2</sup>) al de la fase durante (1.230 ind·0,7 m<sup>2</sup>). En la fase después de las operaciones de perforación, disminuyó la densidad (849 ind·0,7 m<sup>2</sup>) (Figura 8-2; Anexo D).

Los anélidos principalmente poliquetos, fueron el grupo dominante en cuanto a la abundancia para las tres fases (Figura 8-2). Sanders & Hessler (1969) y Grassle & Maciolek (1992) señalan a este grupo como el más común en fondos blandos profundos, conformando entre el 40-80 % de la fauna colectada en el Atlántico, porcentaje similar al observado en el presente estudio. La clase Polychaeta es uno de los principales grupos

de invertebrados bentónicos marinos a nivel mundial, constituyendo el grupo dominante en diversidad y abundancia de la fauna béntica (Lara-Lara *et al.*, 2008), pudiendo constituir hasta el 70 % de todas las especies e individuos en un espacio y tiempo determinado (Blake *et al.*, 1997; Knox, 1977).

**Figura 8-2:** Densidad por phyla de la macroinfauna en las inmediaciones del pozo Orca-1 (Caribe colombiano), registrada en las fases antes, durante y después de la perforación exploratoria. La categoría “Otros” incluye: Brachiopoda, Cnidaria, Echinodermata, Nemertea y Sipuncula.



La dominancia de los anélidos en este atributo comunitario coincide con otros trabajos realizados en fondos blandos profundos de La Guajira (Sánchez-Ramírez *et al.*, 2012; Cortés *et al.*, 2014). Los resultados promedio registrados fueron muy similares entre las fases antes y después en las inmediaciones del pozo Orca-1 (Tabla 8-1).

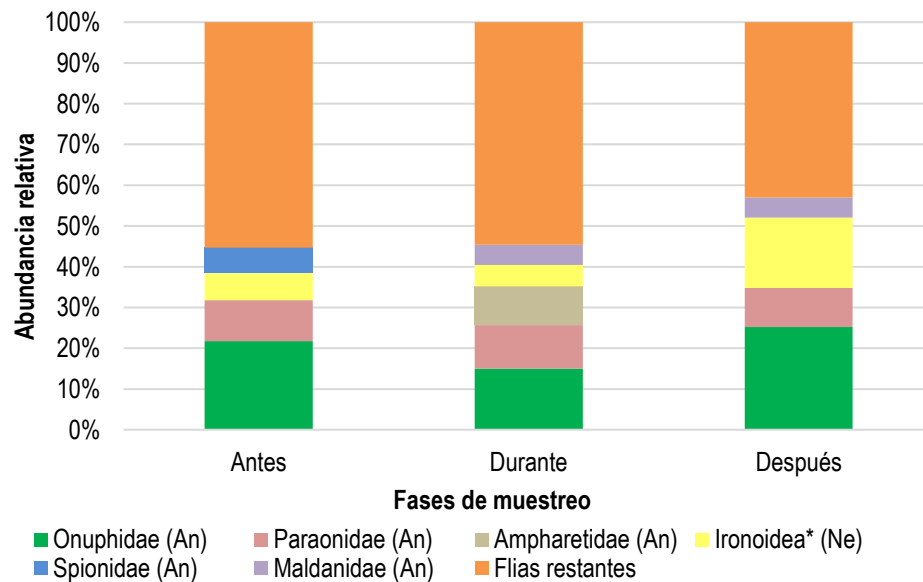
**Tabla 8-1:** Atributos comunitarios registrados en las inmediaciones del pozo Orca-1 (Caribe colombiano), registrados en las fases antes, durante y después de la perforación exploratoria.

Localidad	Fase	No. Fam.	Abundancia	Biomasa húmeda (g)
Inmediaciones pozo Orca-1	Antes	33 ± 6	117 ± 38	0,63 ± 0,6
	Durante	44 ± 8,8	176 ± 42	0,90 ± 0,7

Localidad	Fase	No. Fam.	Abundancia	Biomasa húmeda (g)
	Después	32 ± 9	121 ± 40	0,62 ± 0,55

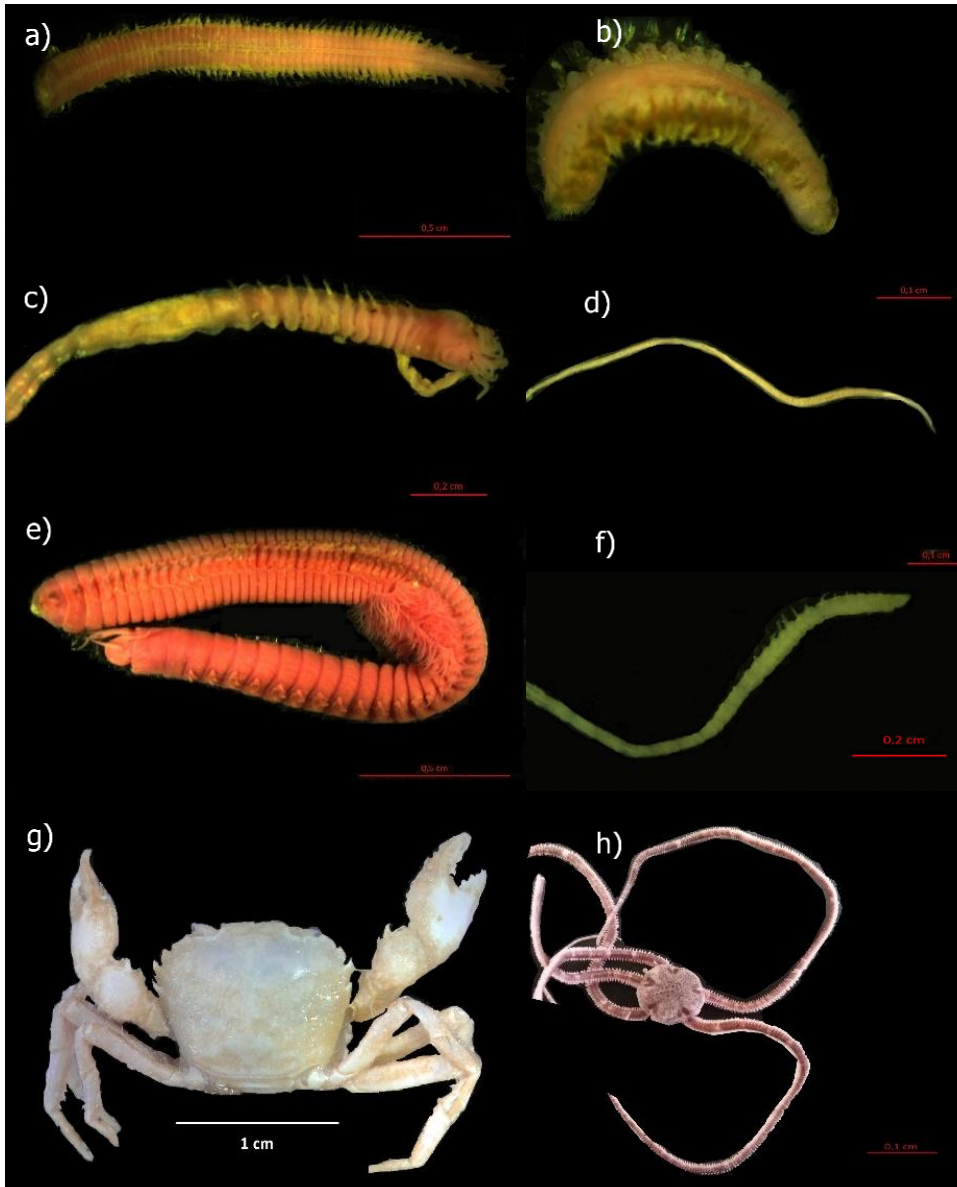
Las familias que realizaron la mayor contribución a la abundancia con porcentajes superiores al 5 % se muestran en la Figura 8-3; éstas aportaron el 45 % del total en las fases antes y durante y el 57 % en la fase después. De estas seis familias, cinco fueron de anélidos (Onuphidae, Paraonidae, Spionidae, Maldanidae y Ampharetidae) y una pertenece a los nemátodos (Superfamilia Ironoidea) (Fotografía 8-1).

**Figura 8-3:** Distribución porcentual de la abundancia de las principales familias de la macroinfauna con porcentajes  $\geq 5\%$ , en las inmediaciones del Pozo Orca-1 (Caribe colombiano). An: Annelida; Ne: Nematoda. \*Superfamilia. Flías: Familias.



En las zonas profundas, donde se presentan condiciones hipóxicas, se presenta una disminución relativa de la densidad de moluscos y artrópodos y una prevalencia de anélidos (oligoquetos, poliquetos) y otras formas de cuerpo blando en general, principalmente incluídas en la meiofauna como son los nemátodos (Gibson & Atkinson, 2003). Onuphidae realizó la mayor contribución a la abundancia durante las tres fases el estudio. Esta familia en conjunto con Paraonidae y la Superfamilia Ironoidea, la cual registró un incremento para la fase después, se mantuvieron como las de mayor aporte a este atributo para las tres fases muestreadas (Figura 8-3).

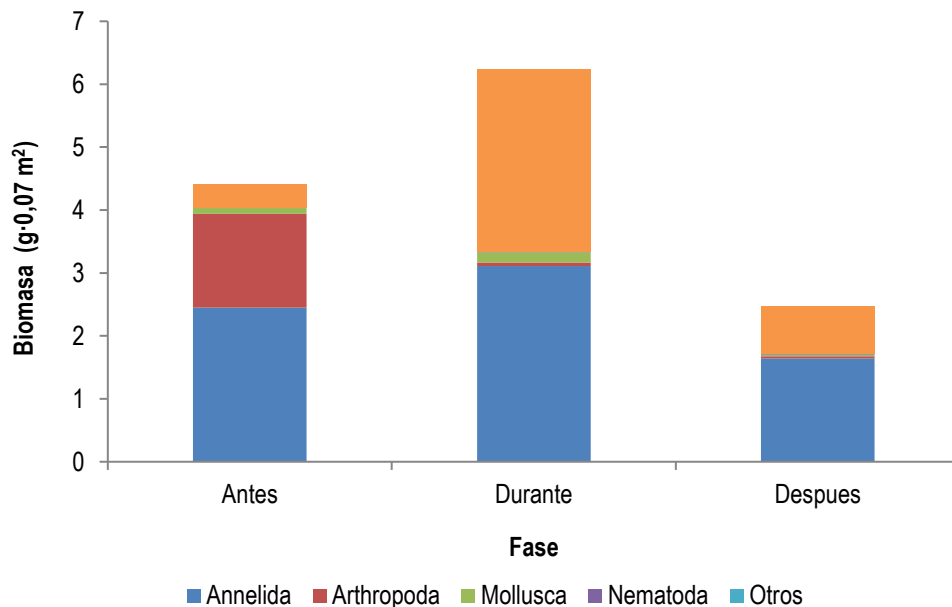
**Fotografía 8-1:** Algunas de las familias más representativas de la macroinfauna registrada en las inmediaciones del pozo Orca-1 (Caribe colombiano). a) Onuphidae; b) Spionidae; c) Ampharetidae; d) Ironoidea; e) Eunicidae; f) Paraonidae; g) Goneplacidae; h) Amphiuroidae.



### 8.1.2 Biomasa húmeda

La biomasa húmeda total registrada en este estudio fue de 13,12 gramos; en la fase antes 4,42 g, durante 6,24 g y después 2,47 g. Los anélidos realizaron la mayor contribución a este atributo durante las tres fases muestreadas (Figura 8-4; Anexo E), al igual que sucedió con la riqueza de familias y la densidad. Le siguieron en importancia para la fase antes el grupo de artrópodos, debido al aporte de la familia Goneplacidae, con un organismo que registró una talla muy superior con respecto al resto de la macrofauna encontrada. A diferencia, para las fases durante y después el segundo grupo en importancia fue la categoría “Otros”. En la fase durante debido al aporte de los equinodermos con la familia Amphiuiridae y en la fase después, al aporte de los sipuncúlidos con la familia Phascolosomatidae principalmente (Figura 8-4; Fotografía 8-1; Anexo E).

**Figura 8-4:** Biomasa húmeda por phyla de la macroinfauna en las inmediaciones del pozo Orca-1 (Caribe colombiano), registrada en las fases antes, durante y después de la perforación exploratoria. La categoría “Otros” incluye: Brachiopoda, Cnidaria, Echinodermata, Nemertea y Sipuncula.



La mayor contribución a la biomasa por parte de los anélidos coincide con lo registrado Cortés *et al.* (2011) en las inmediaciones del Pozo Uchuva I, sin embargo, fue la categoría “otros” y no los artrópodos el segundo grupo en importancia.

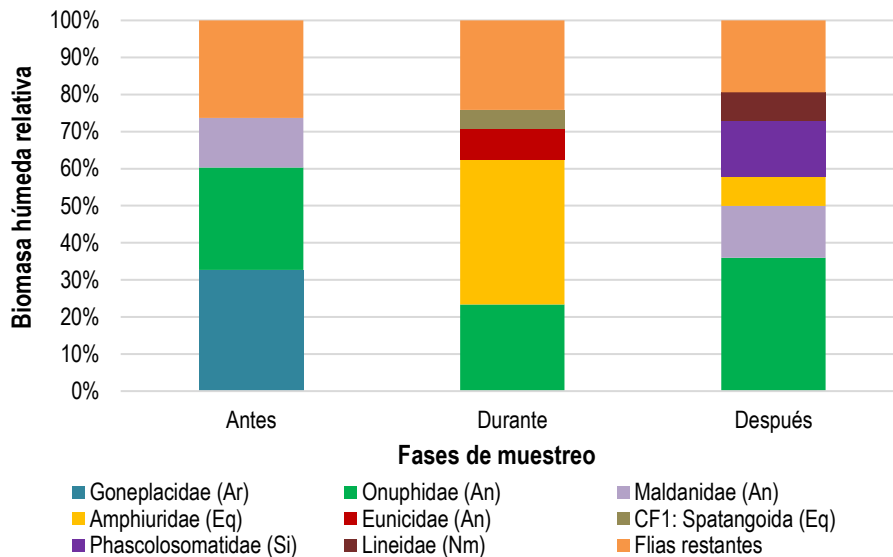
A diferencia, en el AMI Jarara, fue la categoría “otros” la que registró la mayor contribución a la biomasa, gracias al aporte de los nemertinos; los anélidos fueron el segundo grupo en importancia (Sánchez-Ramírez *et al.*, 2012). Cortes *et al.* (2014), registraron a los moluscos con el mayor aporte, debido a la contribución de las familias Nuculanidae y Limopsidae; le siguieron en importancia igualmente los anélidos.

Las familias que realizaron la mayor contribución a la biomasa con porcentajes superiores al 5 % se muestran en la Figura 8-5; estas familias conformaron el 74 % en la fase antes, el 76 % en la fase durante y el 81 % en la fase después, del total de la biomasa registrada. De estas, tres pertenecieron a los anélidos, dos a los equinodermos; los sipunculidos y artrópodos estuvieron representados por una familia. La familia Goneplacidae (crustáceo) realizó el mayor aporte para la fase antes, Amphiuridae (equinodermo) se destacó en la fase durante y Onuphidae (anélido) para la fase después.

Onuphidae, se mantuvo con altos aportes para las tres fases, relacionado esto con ser la familia más abundante y presentar organismos con tamaños considerables en relación a la mayoría de organismos presentes en las estaciones muestreadas (Figura 8-3). El resto de familias registraron bajas abundancias, sin embargo se destacan en su contribución a la biomasa húmeda por presentar organismos de mayores tamaños y más robustos, que el resto de macroinfauna registrada (Figura 8-5; Anexo E).



**Figura 8-5:** Distribución porcentual de la biomasa húmeda de las principales familias de la macroinfauna con porcentajes  $\geq 5\%$ , en las inmediaciones del Pozo Orca-1 (Caribe colombiano). An: Annelida; Ar: Arthropoda; Eq: Echinodermata; Si: Sipuncula; Nm: Nemertino.

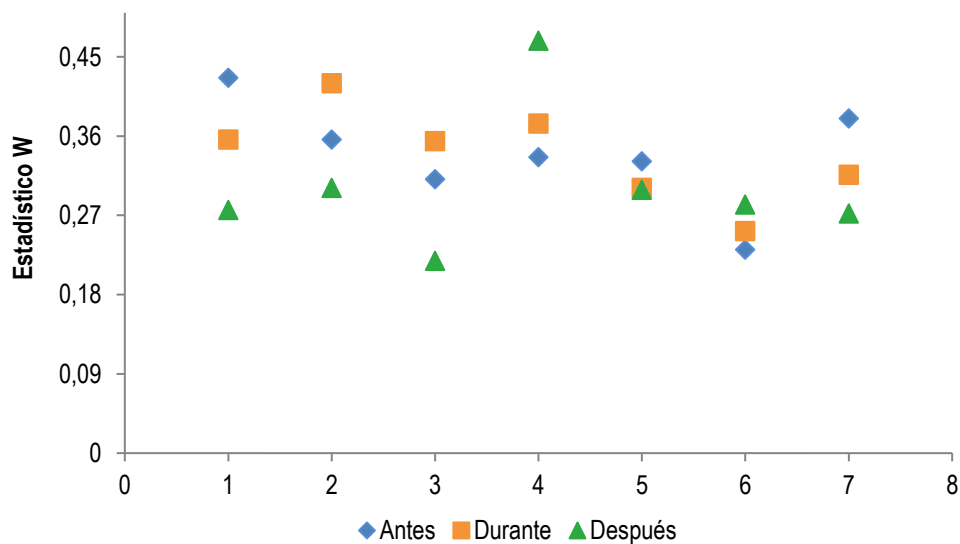


### 8.1.3 Perturbación

En la Figura 8-6 se muestra el comportamiento del estadístico  $W$  en las estaciones en las tres fases muestreadas. Los resultados obtenidos indican que no se registró perturbación en la comunidad macroinfaunal, en las fases de la perforación exploratoria monitoreadas, con valores para el estadístico  $W$  mayores a 0,2 (Clarke & Warwick, 2001). Es importante mencionar que bajo condiciones estables, la competencia interespecífica tiende hacia un relativo equilibrio donde los organismos dominantes competitivos son conocidos como  $k$ -seleccionados o conservativos, los cuales presentan como atributos el gran tamaño del cuerpo, largo ciclo de vida y tamaño de población constante, son raramente dominantes numéricamente pero si dominan en términos de biomasa, mientras que los organismos  $r$ -seleccionados (oportunistas) tienen ciclo de vida corto, tamaño de población variable, algunos dominan numéricamente y la biomasa es baja (Warwick & Clarke, 1993; Clarke & Warwick, 2001).

La estabilidad en la comunidad macroinfaunal asentada en los fondos blandos de las inmediaciones del pozo Orca-1, puede deberse a la estabilidad física característica de los sedimentos de profundidad (Rex, 1981). Igualmente fue registrado por Cortés *et al.* (2011), Sánchez-Ramírez *et al.* (2012) y Cortés *et al.* (2014) en las inmediaciones de otras áreas de perforación exploratoria ubicadas en zonas profundas de La Guajira.

**Figura 8-6:** Representación gráfica de los valores del estadístico W, resultado de la comparación entre abundancia y biomasa, en las inmediaciones del Pozo Orca-1 (Caribe colombiano).



#### 8.1.4 Índices ecológicos

Los índices ecológicos de riqueza, diversidad y equitatividad indican en general una comunidad diversa y con una alta equitatividad entre las familias que la integran. En términos generales, se denota un aumento de los valores de los índices ecológicos en la fase durante (Tabla 8-2). El promedio de riqueza de Margalef para la fase antes fue de  $6,64 \pm 1,05$ ,  $8,39 \pm 1,31$  en la fase durante y  $6,56 \pm 1,38$  en la fase después, considerándose como valores altos de acuerdo a lo señalado por Margalef (1995) quien indica que los valores superiores a 5 evidencian áreas con una alta representación de su biodiversidad.

La diversidad de Shannon-Wiener registró un promedio de  $4,21 \pm 0,30$  para la fase antes,  $4,61 \pm 0,21$  en la fase durante y  $3,82 \pm 0,33$ , considerándose valores altos, ya que los resultados del índice oscilan entre 0 y 5 (Shannon & Weaver, 1949), siendo máximo cuanto más cercanos a 5, a medida que las familias estén representadas por el mismo número de individuos. Sumado a esto, la equitatividad de la comunidad macroinfaunal en el área de estudio es alta, con promedios de  $0,84 \pm 0,04$  para la fase antes,  $0,85 \pm 0,02$  en la fase durante y en la fase después  $0,77 \pm 0,05$  indicando que hay una distribución altamente uniforme de la abundancia o número de individuos entre las familias que integran la comunidad de estudio (Hurlbert, 1971).

**Tabla 8-2:** Valores promedio de los índices ecológicos de la macroinfauna registrada en las inmediaciones del pozo Orca-1 (Caribe colombiano), en las fases antes, durante y después de la perforación exploratoria.

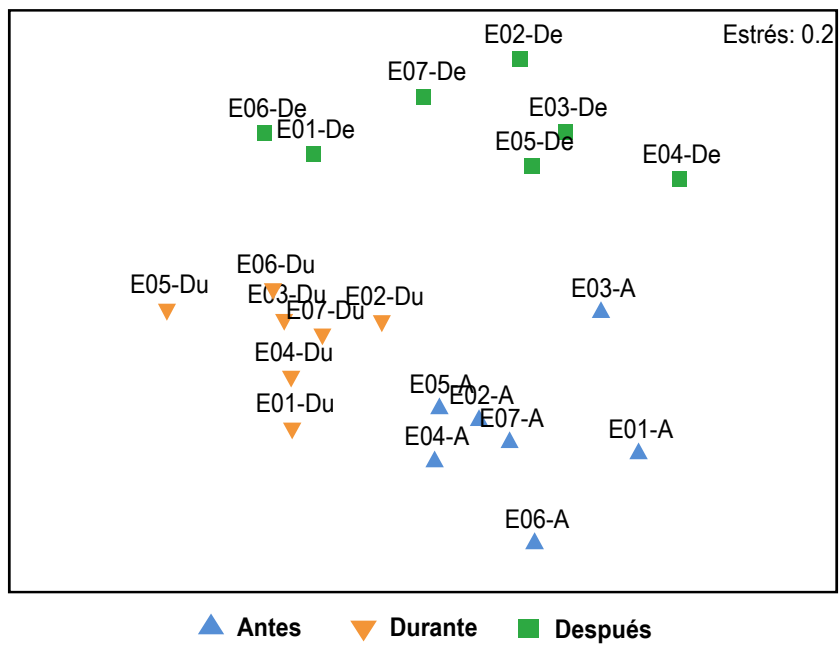
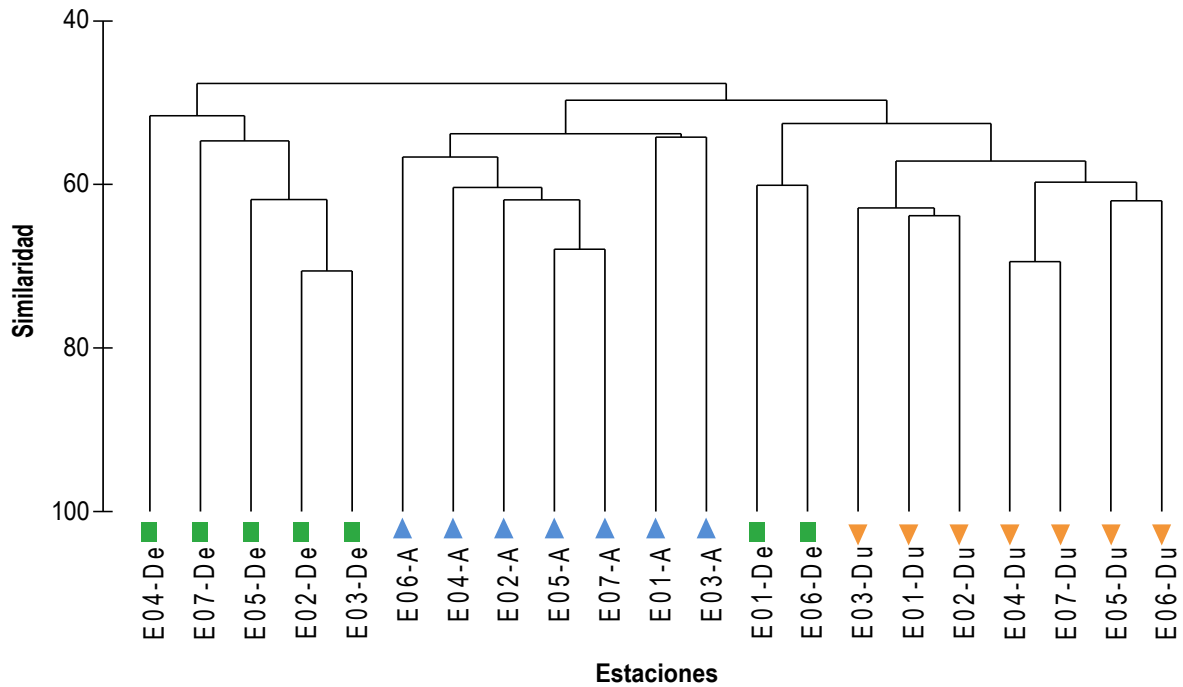
Localidad	Riqueza (d')	Equitatividad (J')	Diversidad (H')
Inmediaciones pozo Orca-1	$6,64 \pm 1,05$	$0,84 \pm 0,04$	$4,21 \pm 0,30$
	$8,39 \pm 1,31$	$0,85 \pm 0,02$	$4,61 \pm 0,21$
	$6,56 \pm 1,38$	$0,77 \pm 0,05$	$3,82 \pm 0,33$

## 8.2 Variación espacial y temporal

El análisis de clasificación mediante el índice de similaridad de Bray-Curtis, separa a las estaciones por fase, exceptuando las estaciones E01 y E06 de la fase durante, las cuales registraron mayor similaridad con la fase después. Sin embargo, el porcentaje de similaridad entre fases es casi del 50 %, posibilitando la presencia de distribuciones parchosas para el interior de grupos afines (Figura 8-7). Este resultado es corroborado por el análisis de ordenamiento realizado por medio del escalamiento multidimensional no métrico (NMDS), donde se observa la separación de estaciones por fase de muestreo (Figura 8-7). Espacialmente, no se registraron variaciones, considerando la ubicación de las estaciones respecto al pozo de perforación.

**Figura 8-7:** Resultado del análisis de clasificación y ordenación de la macroinfauna encontrada durante los muestreos realizados en las fases antes, durante y después de las

actividades de perforación, en las estaciones ubicadas en las inmediaciones del pozo Orca-1 (Caribe colombiano). A: antes; Du: durante; De: Después.



La prueba estadística ANOSIM a una vía, confirma que hay diferencias significativas entre las fases estudiadas (antes, durante y después), según el análisis multivariado de similitud:  $R = 0,703$ ;  $p = 0,01 \%$ . Estas diferencias se dieron entre las tres fases, como lo muestran los resultados de la Tabla 8-3.

**Tabla 8-3:** Resultados del ANOSIM a una vía para las diferentes fases: antes, durante y después de las actividades de perforación, en las estaciones ubicadas en las inmediaciones del pozo Orca-1 (Caribe colombiano).

Fases	R estadístico	Nivel de significancia %
Antes, durante	0,724	0,06
Antes, después	0,76	0,06
Durante y después	0,679	0,06

El análisis SIMPER muestra las familias responsables del 50 % de las diferencias entre las fases (Tabla 8-4; Tabla 8-5; Tabla 8-6). Según estos resultados, no hay un cambio considerable en la composición de familias entre las fases antes, durante y después. Sin embargo, sí hay una diferencia en los valores del número de familias y de individuos, aumentando hacia la fase durante; dicho aumento en el número de individuos ocurrió en la mayoría de las familias, con excepción de Caudofoveata (molusco), Oncholaimoidea (nematodo), Lineidae (nemertino), y los anélidos Nephtyidae, Terebellidae y Glyceridae, cuya abundancia promedio fue mayor en las estaciones en la fase antes. Estos atributos fueron decreciendo hacia la fase después, registrándose una disminución en el número de familias y la abundancia promedio para la mayoría de éstas, exceptuando Oncholaimoidea e Ironoidea (nemátodos), Lineidae (nemertino), Haustoriidae (artrópodo) y los anélidos Eunicidae, Ophellidae, Maldanidae y Cossuridae, las cuales registraron mayores abundancias para la fase después. Nucleidae (molusco), Oweniidae (anélido), Nodosariidae (foraminífero) y Caudofoveata (molusco), fueron las familias indicadoras que consistentemente contribuyeron a las diferencias entre las fases (Tabla 8-4; Tabla 8-5; Tabla 8-6), ya que poseen los mayores cocientes SIMPER (Clarke & Warwick, 2001).

**Tabla 8-4:** Resultados del análisis SIMPER. Se muestran las familias en orden decreciente de contribución a la disimilaridad promedio (Dis-Prom) hasta un acumulado del 50% de la disimilaridad total entre las estaciones entre las fases antes y durante las actividades de perforación en las inmediaciones del pozo Orca-1 (Caribe colombiano). Dis/SD, cociente

Simper entre disimilaridad promedio y desviación estándar; %Dis, porcentaje de disimilaridad.

Familias	Abundancia promedio		DIS-PROM 49,5	DIS/SD	% DIS	% ACU
	Antes	Durante				
Nuculidae (Mo)	0	1,38	1,44	5,95	2,9	2,9
Nodosariidae (Fm)	0	1,03	1,08	2,07	2,19	5,09
Opheliidae (An)	0	0,88	0,93	2,2	1,87	6,96
Caudofoveata (Mo)	1	0,17	0,92	1,74	1,86	8,82
Ampharetidae (An)	1,17	2,01	0,91	1,34	1,84	10,65
Arcidae (Mo)	0	0,87	0,88	1,49	1,78	12,44
Oncholaimoidea (Ne)	1,03	0,31	0,85	1,47	1,72	14,16
Vaginulinidae (Fm)	0,86	0,14	0,81	1,35	1,63	15,79
Lineidae (Nm)	0,85	0,62	0,79	1,25	1,59	17,38
Trichobranchidae (An)	0,46	0,92	0,78	1,2	1,57	18,95
Aspidosiphonidae (Si)	0,33	0,86	0,77	1,26	1,56	20,52
Amphiuridae (Eq)	0,17	0,83	0,77	1,37	1,56	22,07
Ampeliscidae (Ar)	0,37	0,8	0,75	1,32	1,51	23,59
Ungulinidae (Mo)	0	0,69	0,71	1,1	1,43	25,02
Limopsidae (Mo)	0,54	0,68	0,7	1,12	1,42	26,44
Orbiniidae (An)	0,43	0,84	0,69	1,15	1,39	27,83
Anoplostomatidae (Ne)	0,73	0,83	0,68	1,18	1,37	29,2
Nephtyidae (An)	0,95	0,89	0,68	1,12	1,37	30,57
Apseudidae (Ar)	0,47	0,82	0,67	1,23	1,35	31,92
Tanaellidae (Ar)	0	0,66	0,66	1,08	1,34	33,26
Chaetodermatidae (Mo)	0	0,64	0,66	1,1	1,33	34,6
Yoldiidae (Mo)	0	0,64	0,65	1,13	1,31	35,91
Lucinidae (Mo)	0,46	0,79	0,64	1,14	1,3	37,21
Dentaliidae (Mo)	0	0,63	0,63	1,1	1,28	38,49
Paralacydoniidae (An)	0,5	0,6	0,63	1,11	1,26	39,75
Lysianassidae (Ar)	0,5	0,6	0,62	1,09	1,24	40,99
Joeropsididae (Ar)	0,6	0	0,6	1,11	1,22	42,21
Terebellidae (An)	0,57	0,17	0,58	1,13	1,18	43,39
Cytherellidae (Ar)	0	0,55	0,58	0,84	1,16	44,55
Phascolosomatidae (Si)	1,24	1,41	0,57	1,28	1,15	45,7

Familias	Abundancia promedio		DIS-PROM	DIS/SD	% DIS	% ACU
Glyceridae (An)	0,5	0,31	0,56	0,96	1,13	46,84
Longosomatidae (An)	0,6	0,91	0,55	0,99	1,12	47,95
Haustoriidae (Ar)	0	0,55	0,55	0,83	1,1	49,06
Oweniidae (An)	0,57	1,07	0,54	0,95	1,09	50,15

An: anélidos; Ar: artrópodos; Eq: equinodermos; Fm: foraminíferos; Mo: moluscos; Ne: nemertinos; Nm: nematodos; Si: sipuncúlidos.

**Tabla 8-5:** Resultados del análisis SIMPER. Se muestran las familias en orden decreciente de contribución a la disimilaridad promedio (Dis-Prom) hasta un acumulado del 50% de la disimilaridad total entre las estaciones entre las fases durante y después de las actividades de perforación en las inmediaciones del pozo Orca-1 (Caribe colombiano). Dis/SD, cociente Simper entre disimilaridad promedio y desviación estándar; %Dis, porcentaje de disimilaridad.

Familias	Abundancia promedio		DIS-PROM	DIS/SD	% DIS	% ACU
	Durante	Después				
			<b>51,77</b>			
Oweniidae (An)	1,07	0	1,15	<b>5,08</b>	2,21	2,21
Nodosariidae (Fm)	1,03	0	1,11	<b>2,04</b>	2,15	4,36
Ampharetidae (An)	2,01	1,01	1,07	<b>2,21</b>	2,06	6,43
Nuculidae (Mo)	1,38	0,47	1,01	1,51	1,95	8,37
Spionidae (An)	1,56	0,7	0,98	1,38	1,89	10,26
Longosomatidae (An)	0,91	0	0,98	2,18	1,89	12,15
Trichobranchidae (An)	0,92	0	0,96	1,39	1,86	14,01
Oncholaimoidea (Ne)	0,31	1,11	0,96	1,51	1,86	15,87
Lumbrineridae (An)	1,29	0,46	0,93	1,43	1,8	17,67
Aspidosiphonidae (Si)	0,86	0	0,91	1,4	1,76	19,43
Phascalosomatidae (Si)	1,41	0,86	0,86	1,25	1,67	21,1
Lineidae (Nm)	0,62	1,02	0,85	1,37	1,64	22,74
Orbiniidae (An)	0,84	0,17	0,84	1,33	1,63	24,37
Golfingiidae (Si)	0	0,74	0,83	1,51	1,6	25,97
Amphiuridae (Eq)	0,83	0,14	0,79	1,37	1,53	27,5
Ampeliscidae (Ar)	0,8	0,38	0,77	1,33	1,48	28,98
Opheliidae (An)	0,88	0,31	0,75	1,4	1,45	30,43
Eunicidae (An)	0,86	0,43	0,74	1,19	1,43	31,86
Ungulinidae (Mo)	0,69	0,53	0,71	1,1	1,38	33,24
Haustoriidae (Ar)	0,55	0,67	0,71	1,15	1,38	34,62
Lucinidae (Mo)	0,79	0,31	0,71	1,25	1,37	35,99
Ironoidea (Ne)	1,5	2,05	0,7	1,1	1,36	37,35
Glyceridae (An)	0,31	0,74	0,69	1,25	1,33	38,68
Chaetodermatidae (Mo)	0,64	0,14	0,66	1,08	1,27	39,96

Familias	Abundancia promedio		DIS-PROM	DIS/SD	% DIS	% ACU
Limopsidae (Mo)	0,68	0,63	0,66	1,08	1,27	41,23
Tanaellidae (Ar)	0,66	0,48	0,66	1,08	1,27	42,49
Anoplostomatidae (Ne)	0,83	0,67	0,65	1,1	1,25	43,75
Dentaliidae (Mo)	0,63	0,29	0,62	1,06	1,2	44,94
Yoldiidae (Mo)	0,64	0,43	0,61	1,08	1,18	46,13
Maldanidae (An)	1,7	1,29	0,61	0,94	1,18	47,31
Cossuridae (An)	0,43	0,63	0,6	1,05	1,16	48,47
Cytherellidae (Ar)	0,55	0	0,59	0,84	1,14	49,61
Lysianassidae (Ar)	0,6	0,29	0,59	1,04	1,14	50,75

An: anélidos; Ar: artrópodos; Eq: equinodermos; Fm: foraminíferos; Mo: moluscos; Ne: nemertinos; Nm: nematodos; Si: sipuncúlidos.

**Tabla 8-6:** Resultados del análisis SIMPER. Se muestran las familias en orden decreciente de contribución a la disimilaridad promedio (Dis-Prom) hasta un acumulado del 50% de la disimilaridad total entre las estaciones entre las fases antes y después de las actividades de perforación en las inmediaciones del pozo Orca-1 (Caribe colombiano). Dis/SD, cociente Simper entre disimilaridad promedio y desviación estándar; %Dis, porcentaje de disimilaridad.

Familias	Abundancia promedio		DIS-PROM	DIS/SD	% DIS	% ACU
	Antes	Después				
			52,35			
Caudofoveata (Mo)	1	0	<b>1,22</b>	2,19	2,34	2,34
Spionidae (An)	1,53	0,7	1,17	1,41	2,23	4,57
Lumbrineridae (An)	1,32	0,46	1,12	1,48	2,14	6,7
Arcidae (Mo)	0	0,88	1,08	2,3	2,06	8,77
Vaginulinidae (Fm)	0,86	0	1,04	1,42	2	10,76
Golfingiidae (Si)	0	0,74	1	1,5	1,9	12,66
Eunicidae (An)	1,01	0,43	0,91	1,28	1,73	14,39
Anoplostomatidae (Ne)	0,73	0,67	0,85	1,11	1,62	16,01
Haustoriidae (Ar)	0	0,67	0,83	1,11	1,59	17,61
Paralacydoniidae (An)	0,5	0,8	0,82	1,15	1,57	19,17
Glyceridae (An)	0,5	0,74	0,8	1,21	1,53	20,7
Limopsidae (Mo)	0,54	0,63	0,8	1,13	1,52	22,22
Cossuridae (An)	0,47	0,63	0,75	1,06	1,43	23,65
Apseudidae (Ar)	0,47	0,74	0,74	1,18	1,42	25,07
Joeropsididae (Ar)	0,6	0	0,73	1,1	1,4	26,47
Syllidae (An)	1,31	0,89	0,73	1,02	1,39	27,86
Nephtyidae (An)	0,95	1	0,72	1,11	1,38	29,23



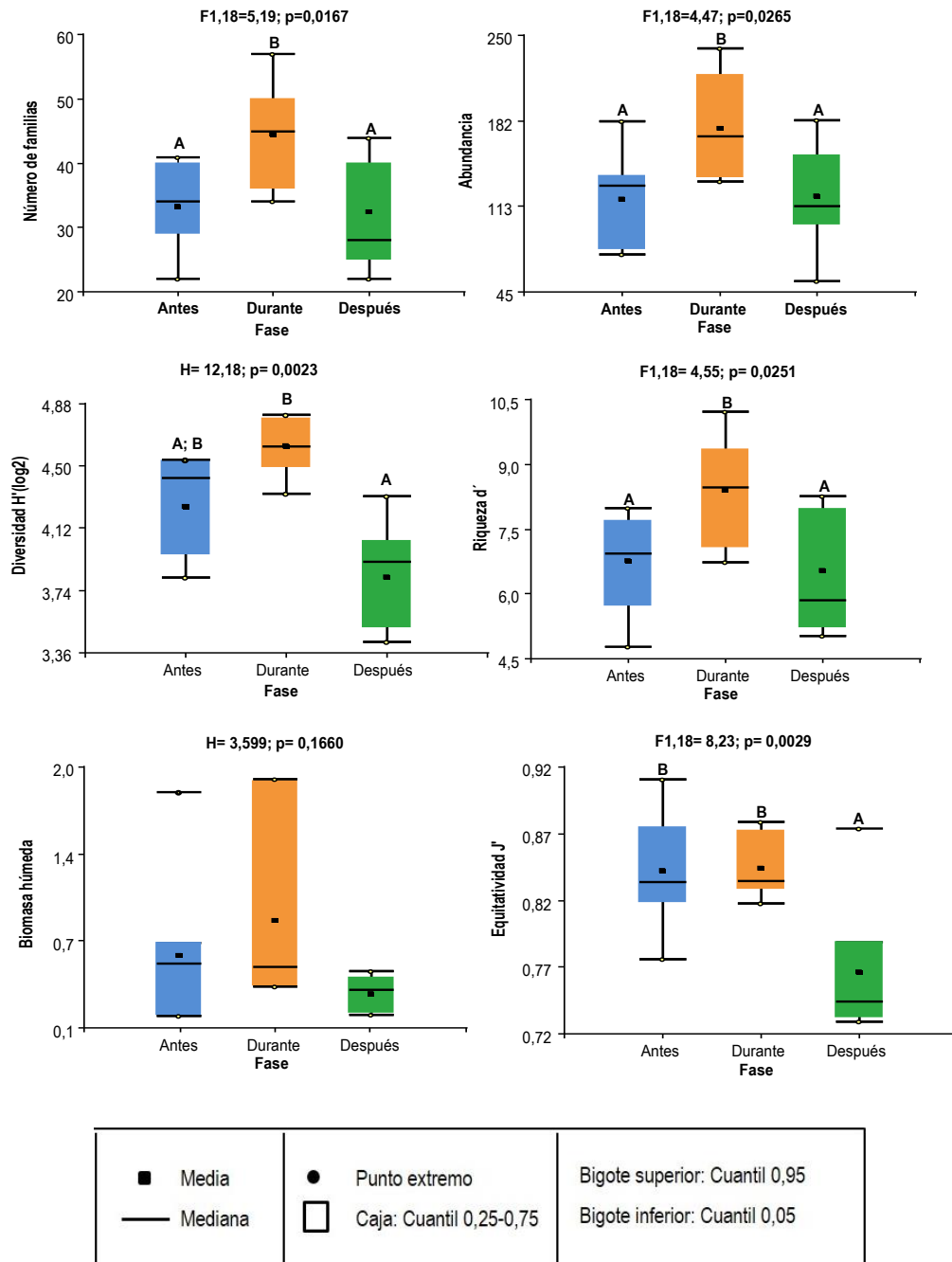
Familias	Abundancia promedio		DIS-PROM	DIS/SD	% DIS	% ACU
Phascolosomatidae (Si)	1,24	0,86	0,72	1,06	1,37	30,6
Longosomatidae (An)	0,6	0	0,72	1,12	1,37	31,97
Lysianassidae (Ar)	0,5	0,29	0,71	0,94	1,35	33,32
Ampeliscidae (Ar)	0,37	0,38	0,71	0,83	1,35	34,67
Oweniidae (An)	0,57	0	0,7	1,11	1,33	36,01
Terebellidae (An)	0,57	0,14	0,67	1,08	1,29	37,3
Ampharetidae (An)	1,17	1,01	0,67	1,1	1,28	38,58
Lineidae (Nm)	0,85	1,02	0,65	0,94	1,25	39,83
Ironoidea (Ne)	1,61	2,05	0,65	1,48	1,25	41,07
Oeonidae (An)	0,43	0,57	0,65	0,98	1,24	42,31
Cirratulidae (An)	1,16	0,99	0,62	1,06	1,19	43,5
Maldanidae (An)	1,48	1,29	0,62	0,86	1,19	44,69
Lucinidae (Mo)	0,46	0,31	0,62	0,95	1,19	45,88
Kalliapseudidae (Ar)	0,46	0	0,61	0,83	1,16	47,04
Oncholaimoidea (Ne)	1,03	1,11	0,61	0,84	1,16	48,2
Capitellidae (An)	1,46	1,08	0,59	0,99	1,12	49,33
Ungulinidae (Mo)	0	0,53	0,58	0,82	1,11	50,44

An: anélidos; Ar: artrópodos; Fm: foraminíferos; Mo: moluscos; Ne: nemertinos; Nm: nematodos; Si: sipuncúlidos.

Con el propósito de determinar en qué consistieron las diferencias entre fases y visualizar tales variaciones, se realizaron pruebas univariadas y gráficos de cajas con los resultados de los atributos comunitarios (Figura 8-8).

El número de familias, densidad y riqueza de Margalef ( $d'$ ), registraron diferencias significativas entre la fase durante y las fases antes y después; éstas últimas no fueron estadísticamente diferentes ( $p > 0,05$ ). La diversidad por su parte registró diferencias entre las fases durante y después. La uniformidad fue significativamente distinta para la fase después en relación al antes y el durante, las cuales no registraron diferencias ( $p > 0,05$ ). Finalmente, la biomasa húmeda, no registró diferencias significativas entre fases (Figura 8-8).

**Figura 8-8:** Gráfico de cajas y bigotes y resultado del ANOVA y la prueba Kruskal Wallis, para los atributos comunitarios e índices ecológicos de la macroinfauna registrada en las inmediaciones del pozo Orca-1 (Caribe colombiano), en los muestreos realizados en las fases antes, durante y después de las actividades de perforación exploratoria. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).



Las pruebas estadísticas univariadas y multivariadas indican diferencias entre las fases de muestreo. Dichas diferencias obedecen más que a un cambio en composición de familias, las cuales se mantienen en más de un 60 % para las tres fases según el análisis SIMPER (Tabla 8-4; Tabla 8-5; Tabla 8-6), a un aumento en su número y en los valores de abundancia para la fase durante. Es posible afirmar que la comunidad macroinfaunal es la misma a lo largo del monitoreo, con algunas variaciones en cuanto a estos atributos comunitarios. Lo anterior podría soportarse en el hecho de que el muestreo de la fase antes no muestra diferencias significativas con la fase después (exceptuando la uniformidad), donde al parecer se reestablecieron a niveles similares los valores de abundancia, riqueza y número de familias. Esto se evidencia igualmente al no registrarse perturbaciones en la comunidad macroinfaunal en las fases durante y después de la perturbación, según los resultados de las curvas de comparación entre abundancia y biomasa, manteniéndose una comunidad estable para las tres fases monitoreadas (Figura 8-6).

Estos resultados permiten aceptar la hipótesis de investigación planteada para este estudio en particular, confirmando que hay diferencias relacionadas con un aumento en el número de familias y la abundancia de la mayoría de éstas en la fase durante de la actividad de perforación exploratoria en las inmediaciones del pozo Orca 1 (La Guajira).

La remoción de sedimentos del fondo y deposición de cortes de perforación en la fase durante, pudo haber favorecido el aumento de la abundancia, la riqueza y diversidad respecto a la fase antes en todas las estaciones monitoreadas. Según Green (2003), los cambios en la diversidad y abundancia de la comunidad bentónica son detectables a 250 metros, raramente detectables a 500 metros y escasamente observados a los 1000 metros del sitio de descarga. Estos cambios conducen a una presión en la diversidad o un aumento de la misma cerca de la plataforma (Hurley y Ellis, 2004). No obstante, Olsgard & Gray (1995), mencionan que los impactos biológicos de la pluma de cortes se miden usualmente por los cambios en la diversidad y abundancia de especies de las comunidades bentónicas; estos impactos se han detectado a un radio mayor de 5 km en instalaciones del Mar del Norte.

Estudios canadienses de monitoreos de efectos ambientales (EEM) (Hurley & Ellis, 2004), sugieren que las comunidades bentónicas retornan a las condiciones de línea base dentro de los 12 meses después de terminar las descargas de perforación, tal como sucedió en el presente monitoreo, luego de ocho meses de terminadas las operaciones de perforación en el pozo Orca-1. No obstante, Currie & Isaacs (2005), observaron en Australia un decrecimiento en los valores del número de especies y de abundancia de aproximadamente el 36 y 66 % hasta cuatro meses después de terminadas las operaciones de perforación en el campo de gas Minerva, sobre las estaciones ubicadas en la periferia (entre 100 y 200 m de distancia del punto de perforación) y hasta 11 meses después, en las estaciones más cercanas. Teniendo en cuenta que los efectos potenciales producto de la dispersión de las descargas de perforación dependen entre otros factores de la profundidad (Korenaga & Blackwell, 2003), ésta pudo ser una variable determinante para que se mantuviera el efecto por más tiempo, ya que las estaciones en ese estudio se ubicaron entre los 65 – 71 m, en relación a las estaciones en las inmediaciones del pozo Orca 1, que superaron los 650 m. Las descargas de los fluidos de perforación generan efectos potenciales en el medio, los cuales se ven afectados por la cantidad de dispersión en el agua marina después de la descarga, ya que a mayor dispersión mayor reducción en las concentraciones de las descargas y por lo tanto, menor impacto potencial, siendo además esta dispersión dependiente de las propiedades de las descargas, de las aguas marinas receptoras, de la profundidad y la velocidad de las corrientes (Korenaga & Blackwell, 2003).

Por otro lado, hay que tener en cuenta los procesos de variación y/o perturbación naturales en la macroinfauna, tales como las variaciones multianuales en las condiciones oceanográficas, cambios en las corrientes, depositación de material orgánico, entre otros, ocasionados por épocas climáticas distintas, que podrían igualmente explicar el nuevo descenso en los valores de los atributos comunitarios encontrado en septiembre de 2016.

Al relacionar la información biótica con las variables ambientales, mediante la aplicación del análisis Bio-Env, se determinó que la combinación de variables sedimento tipo arena gruesa, materia orgánica y cromo, es la mejor correlacionada con la configuración de la comunidad debido a que presentó el mayor valor de correlación ( $\rho_w = 0,408$ ). La prueba estadística no dio resultados significativos para el valor de correlación ( $p = 0,01$ ); las tres primeras variables quedaron incluidas en las diez mejores combinaciones. La Tabla 8-7 muestra el resultado de las cinco mejores combinaciones.

**Tabla 8-7:** Resultado del análisis multivariado BIO-Env mediante el coeficiente de correlación armónico por rangos de Spearman (Pw). Mejores 5 combinaciones de las 13 variables ambientales medidas en sedimento, tenidas en cuenta para el análisis. El primer valor indica la máxima correlación encontrada.

$\rho_w$	pH	AG	MO	Cr	Hg	HAT
<b>0,408</b>		<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>		
0,404			X	X		
0,362	X	X	X	X		
0,357		X	X	X	X	
0,356		X	X	X		X

MO: materia orgánica Cr: cromo; Hg: mercurio; C-L: cieno limos; HAT: hidrocarburos aromáticos totales; Fn: fenantreno.

El contenido de arenas gruesas antes (diciembre de 2013) y después de la perforación (septiembre de 2015) registró valores muy bajos y se denota un incremento, aunque en pequeñas proporciones, de este tipo de sedimento para la fase durante (Anexo F). Si bien, el tipo de sedimento predominante en las estaciones muestreadas fueron los Limos-arcillas, estas variaciones en el contenido de arenas gruesas, aunque pequeñas, fueron influyentes en la configuración de la comunidad. Por su parte la materia orgánica registró los menores valores para la fase durante (Anexo F).

Estudios anteriores han reportado la importancia del tamaño de la partícula del sedimento y el contenido de materia orgánica dentro del mismo, como factores que determinan la abundancia y distribución del bentos. La diversidad en el tamaño de las partículas del sedimento, tienen un importante papel en el número de especies dentro de una comunidad (Etter & Grassle, 1992; Gray & Elliotts, 2009). El tipo de sedimento es determinante en la porosidad, compactación, absorción de materia orgánica y la actividad microbiana, que son

factores importantes en la abundancia y distribución de estas comunidades (Gray, 1981; De la Lanza, 1986; Calnan & Littelton, 1989). Sumado a esto, la calidad y cantidad de materia orgánica en el sedimento superficial, es una de las principales fuentes nutricionales que afectan la dinámica de la fauna bentónica, por lo que las variaciones que se puedan dar en ella van a determinar la distribución de muchas especies (Currie & Isaacs, 2005). La presencia de la variable materia orgánica como una de las de mayor efecto sobre la distribución espacial de los organismos en ecosistemas bentónicos de profundidad, se ajusta a estudios como los de Rex (1981) y Sanders & Hessler (1969), entre otros, los cuales dan como factor determinante en la distribución de estos organismos; la entrada de nutrientes, que como base trófica tienen las lluvias de pequeñas partículas orgánicas que se asientan lentamente a través de la columna de agua y son consumidas por organismos detritívoros que son la base de la cadena trófica en áreas afólicas.

Por otro lado, las descargas de los fluidos de perforación generan efectos potenciales en el medio, los cuales se ven afectados por la cantidad de dispersión en el agua marina después de la descarga, ya que a mayor dispersión mayor reducción en las concentraciones de las descargas y por lo tanto, menor impacto potencial, siendo además esta dispersión dependiente de las propiedades de las descargas, de las aguas marinas receptoras, de la profundidad y la velocidad de las corrientes (Korenaga & Blackwell, 2003). Entre las variables ambientales mejor correlacionadas con el componente biológico, el cromo, es de los parámetros del sedimento que pueden llegar a estar mayormente afectados por los residuos arrojados y dispersos en la pluma de sedimentos. Sin embargo, las mayores concentraciones de este metal se registraron en la fase antes (Anexo E). Por lo cual es posible que puedan ser una condición natural de los sedimentos del área para la época muestreada (noviembre-diciembre de 2016). Esta variable presentó concentraciones diferentes entre las estaciones, suficientes para acompañar un cambio en la composición y/o abundancia de la comunidad macroinfaunal entre ellas. Es necesario tener en cuenta que esta correlación no determina necesariamente relaciones causales directas; lo que indican, es que cuando hubo cambios en la magnitud de esta variable, hubo un cambio en la estructura comunitaria. Por lo anterior, no se podría afirmar que el

arreglo en la estructura comunitaria obedece precisamente a esta correlación obtenida, así como tampoco se podría afirmar que afecta a la comunidad. Esta no es una variable que generalmente se correlaciona con la comunidad macroinfaunal.

Las concentraciones de cromo en las estaciones ubicadas en las inmediaciones del pozo Orca-1, no superan el límite de referencia establecido por la NOAA que puede causar efectos tóxicos sobre la biota ( $52,3 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) (McDonald *et al.*, 1996; Buchman, 2008) (Anexo F).

## 9. Conclusiones y recomendaciones

### 9.1 Conclusiones

La macroinfauna registrada en los fondos blandos de las inmediaciones del pozo Orca-1, estuvo constituida por grupos taxonómicos comúnmente descritos para las comunidades bentónicas de fondos blandos profundos en otros estudios realizados en La Guajira. Los anélidos fueron el grupo dominante en términos de riqueza de familias, abundancia y biomasa, coincidiendo con lo registrado para la zona.

No se registró perturbación en la comunidad asentada en los fondos blandos de las inmediaciones del pozo Orca-1 durante las tres fases monitoreadas, que pudiera evidenciar un efecto fuerte o persistente, resultado de las actividades de perforación exploratoria. Esto debido probablemente a la alta estabilidad ambiental documentada para zonas profundas. Igualmente ha sido registrado en otras áreas de perforación exploratoria ubicadas en zonas profundas de La Guajira y en años anteriores en la misma área.

La macroinfauna registró diferencias entre las fases muestreadas, que consistieron más que en un cambio en la composición de familias que la integran, en un aumento de los atributos comunitarios en la fase durante, los cuales se reestablecieron ocho meses después de finalizadas las actividades de perforación exploratoria. Esta variación pudo ser producto de la remoción de sedimentos del fondo y disposición de cortes, como ha sido previamente reportado en otros estudios realizados en inmediaciones de plataformas de perforación.

Los resultados del análisis de correlación de las variables ambientales medidas en sedimento con la información biótica, sugieren igualmente que pudieron influir, los procesos de variación naturales interanuales y/o entre épocas climáticas, los cuales



incluyen variaciones en la constitución del sedimento y el contenido de materia orgánica del mismo. La granulometría y contenido de materia orgánica, se consideran parámetros determinantes en la abundancia y distribución del bentos marino. Adicionalmente se relacionó con la concentración de cromo, la cual durante las tres fases, no superó el límite de referencia establecido por la NOAA, que puede causar efectos tóxicos sobre la biota. Esta no es una variable que generalmente se correlacione con la comunidad macroinfaunal, por lo cual no necesariamente determine relaciones causales directas, sino que cuando hubo cambios en su magnitud, hubo un cambio en la estructura comunitaria, sin afectarla.

## 9.2 Recomendaciones

- Reconsiderar la ubicación y número de estaciones de manera que se diferencien posibles efectos a diferentes distancias del pozo.
- Considerar realizar los muestreos para las diferentes fases de la perforación exploratoria en una misma época climática. De esta manera, los cambios que pudieran presentarse en la estructura de la comunidad debido a tales actividades puedan ser diferenciados de cambios naturales en la misma, debidos a la estacionalidad.
- Considerar siempre que vaya a realizarse un proyecto de perforación exploratoria en el medio ambiente marino en Colombia, la profundidad y dinámica del ambiente (si es de alta o baja energía), ya que los posibles efectos que genere tal actividad, dependerán en gran medida de estos dos componentes.

## A. Anexo: Autorización para la recolección de muestras biológicas por parte del INVEMAR



### EL DIRECTOR GENERAL DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS "José Benito Vives de Andreis" – INVEMAR

Informa a los interesados:

Que el Instituto es una Corporación civil sin ánimo de lucro, de carácter público, regida por las normas del derecho privado, vinculada al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS, cuyo encargo principal es realizar investigación básica y aplicada de los recursos naturales renovables y el medio ambiente y los ecosistemas costeros y oceánicos de los mares adyacentes al territorio nacional, de conformidad con el artículo 18 de la Ley 99 de 1993, decreto reglamentario 1276 de 1994, recogido por el Decreto Único del sector Ambiente No. 1076 de 2015 art. 2.2.8.7.6.1 y ss. y sus estatutos internos.

El INVEMAR en desarrollo de su objeto misional y de acuerdo con sus funciones, está habilitado para celebrar todo tipo de contratos y convenios que no riñan con la constitución, la ley, el orden público y las buenas costumbres, incluyendo contratos de consultoría y de prestación de servicios para el desarrollo de estudios científicos en el área de su competencia, comprendiendo servicios de caracterización biológica y estudios de línea base, que requieran actividades de recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica en el territorio nacional, para lo cual no requiere permiso de recolección de especímenes, como entidad vinculada al MADS, en virtud de lo establecido en el DUR sector Ambiente No. 1076 de 2015, artículo 2.2.8.1.2, particularmente parágrafos 1 y 2, para realización de investigación científica con fines no comerciales; dicha excepción se mantiene en los acuerdos cuyos productos sean utilizados o correspondan a un componente de Estudios de Impacto Ambiental, elaborados con fines de licenciamiento ambiental por parte de un tercero, independiente de INVEMAR por mantenerse el objeto y sujeto de la excepción.

Dado en Santa Marta, el 18 de abril de 2017

  
FRANCISCO ARIAS ISAZA

Elaboró: Ana Saade - JUR 

20 Años  
en el SINA

Sede Principal: Calle 25 No. 2-55 Playa Salguero, Rodadero, Santa Marta D.T.C.H. Colombia  
(+57) (+5) 432 86 00 Fax: (+57) (+5) 432 86 54 Cel: 314 592 8079 NIT: 800250082-0  
www.invemar.org.co @invemar @invemarcolombia



# B. Anexo: Autorización de la empresa PETROBRAS INTERNACIONAL BRASPETRO B.V. SUCURSAL COLOMBIA, para el uso de la información con fines académicos.

	Petrobras Internacional Braspetro B.V. SUCURSAL COLOMBIA
Bogotá, Octubre 24 de 2017. PIB-COL/CSMS 0067/2017	
<b>INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS          "JOSÉ BENITO VIVES DE ANDRÉS"- INVEMAR</b> Calle 25 No. 2-55, Playa Salguero Santa Marta D.TC.H.,	
Atn.: Sr. Francisco Árias Isaza Director General- INVEMAR	
<b>Asunto:</b> Autorización para usar con fines académicos y científicos, los datos de macrofauna y calidad de sedimentos marinos, registrados en el pozo Orca- 1.	
<b>Referencia:</b> Oficio DGI-SCI-CSC-1584, monitoreo pozo Orca-1, Contrato E&E Tayrona	
Apreciado Capitán, Árias	
PETROBRAS INTERNACIONAL BRASPETRO B.V. - SUCURSAL COLOMBIA, en respuesta al oficio DGI-SCI-CSC-1584 agradece la gestión realizada por Invemar y aprueba autorización para usar con fines académicos y científicos, los datos de macrofauna y calidad de sedimentos marinos, registrados en el pozo Orca- 1.	
Atentamente,	
	
<b>Jose Bernardo Morales Londono</b> Coordinador de Seguridad, Medio Ambiente y Salud	
	
<b>Anexo(s):</b> No hay anexos	
Carrera 7a N° 71 - 21, Torre A, Piso 2 - Bogotá, D.C. - Colombia PBX +57 (1) 489 1500 - Fax Central +57 (1) 489 1550 - N.I.T. 830.111.64	PIB-COL/CSMS 2017/0067

## C. Clasificación taxonómica de la macroinfauna registrada en las inmediaciones del pozo Orca 1 (La Guajira, Caribe colombiano), en las fases antes, durante y después de la perforación exploratoria.

Phyllum	Clase	Orden	Familia	
	Clitellata	Haplotaxida	Naididae (Ehrenberg, 1828)	
		Amphinomida	Amphinomidae (Lamarck, 1818 )	
		Eunicida	Dorvilleidae (Chamberlin, 1919)	
			Eunicidae (Berthold, 1827)	
			Lumbrineridae (Schmarda, 1861)	
			Oeonidae (Kinberg, 1865)	
			Onuphidae (Kinberg, 1865)	
			Glyceridae (Grube, 1850)	
			Goniadidae (Kinberg, 1866)	
			Nephtyidae (Grube, 1850)	
			Paralacydoniidae (Pettibone, 1963)	
			Phyllodocidae (Örsted, 1843)	
<b>Annelida</b>	Polychaeta	Phyllodocida	Pilargidae (de Saint-Joseph, 1899)	
			Polynoidae (Kinberg, 1856)	
			Sigalionidae (Malmgren, 1867)	
			Sphaerodoridae (Malmgren, 1867)	
			Syllidae (Grube, 1850)	
			Oweniidae (Rioja, 1917)	
			Sabellida	Sabellidae (Latreille, 1825)
				Serpulidae (Rafinesque, 1815)
				Capitellidae (Grube, 1862)
			Scolecida*	Cossuridae (Day, 1963)
				Maldanidae (Malmgren, 1867)
				Opheliidae (Malmgren, 1867)

Phyllum	Clase	Orden	Familia
			Orbiniidae (Hartman, 1942)
			Paraonidae (Cerruti, 1909)
		Sedentaria*	Chaetopteridae (Audouin & Milne Edwards, 1833)
			Longosomatidae (Hartman, 1944)
		Spionida	Magelonidae (Cunningham & Ramage, 1888)
			Poecilochaetidae (Hannerz, 1956)
			Spionidae (Grube, 1850)
			Ampharetidae (Malmgren, 1866)
			Cirratulidae (Carus, 1863)
			Fauveliopsidae (Hartman, 1971)
		Terebellida	Flabelligeridae (de Saint-Joseph, 1894 )
			Pectinariidae (Quatrefages, 1866)
			Sternaspidae (Carus, 1863)
			Terebellidae (Johnston, 1846)
			Trichobranchidae (Malmgren, 1866)
			Ampeliscidae (Krøyer, 1842)
			Amphilochidae (Boeck, 1871)
			Aoridae (Stebbing, 1899)
			Caprellidae (Leach, 1814)
			Corophiidae (Leach, 1814)
		Amphipoda	Gammaridae (Leach, 1814)
			Haustoriidae (Stebbing, 1906)
			Liljeborgiidae (Stebbing, 1899)
			Lysianassidae (Dana, 1849)
			Phoxocephalidae (Sars, 1891)
			Platyischnopidae (Barnard & Drummond, 1979)
			Stenothoidae (Boeck, 1871)
			Diastylidae (Bate, 1856)
		Cumacea	Leuconidae (Sars, 1878)
			Nannastacidae (Bate, 1866 )
		Decapoda	Goneplacidae (MacLeay, 1838)
			Anthuridae (Leach, 1814)
		Isopoda	Arcturidae (Dana, 1849)
			Desmosomatidae (G.O. Sars, 1897)
			Gnathiidae (Leach, 1814)
<b>Arthropoda</b>	Malacostraca		

Phylum	Clase	Orden	Familia
			Haploniscidae (Hansen, 1916)
			Hyssuridae (Wägele, 1981)
			Ischnomesidae (Hansen, 1916)
			Joeropsididae (Nordenstam, 1933)
			Macrostylidae (Hansen, 1916)
			Munnidae (Sars, 1897)
			Nannoniscidae (Hansen, 1916)
			Paranthuridae (Menzies & Glynn, 1968)
			Stenetriidae (Hansen, 1905)
			Agathotanaidae (Lang, 1971)
			Anarthruridae (Lang, 1971)
			Apseudidae (Leach, 1814)
			Colletteidae (Larsen & Wilson, 2002)
			Kalliapseudidae (Lang, 1956)
			Leptocheliidae (Lang, 1973)
		Tanaidacea	Leptognathiidae (Sieg, 1976)
			Metapseudidae (Lang, 1970)
			Parapseudidae (Gutu, 1981)
			Paratanaidae (Lang, 1949)
			Pseudotanaidae (Sieg, 1976)
			Tanaellidae (Larsen & Wilson, 2002)
	Maxillopoda	Harpacticoida	Argestidae (Por, 1986)
		Halocyprida	Polycopeidae (Sars, 1865)
			Cypridinidae (Baird, 1850)
	Ostracoda	Mydocopida	Macrocyprididae (Müller, 1912)
			Philomedidae (Müller, 1906)
		Platycopida	Cytherellidae (Sars, 1866)
		Podocopida	Bairdiidae (Sars, 1865)
<b>Brachiopoda</b>	*	*	Brachiopoda (Duméril, 1805)
<b>Cnidaria</b>	Hydrozoa	Leptothecata	Plumulariidae (Agassiz, 1862)
	Echinozoa	Spatangoida	Spatangoida (Agassiz, 1840)
	Holothurozoa	Dendrochirozoa	Ypsilothuriidae (Heding, 1942)
<b>Echinodermata</b>			Amphiuridae (Ljungman, 1867)
	Ophiurozoa	Ophiurida	Ophiacanthidae (Ljungman, 1867)

Phyllum	Clase	Orden	Familia
			Ophiactidae (Matsumoto, 1915)
		Ophiuroidea*	Ophiuroidea (Gray, 1840)
<b>Foraminifera</b>	Foraminifera incertae sedis	Lagenida	Nodosariidae (Ehrenberg, 1838)
			Vaginulinidae (Reuss, 1860)
	Globothalamea	Robertinidae	Epistominidae (Wedekind, 1937)
	Monothalamea	Astrorhizida	Astrorhizidae (Brady, 1881)
			Rhabdamminidae (Brady, 1884)
Tubothalamea	Spirillinidae	Ammodiscidae (Reuss, 1862)	
<b>Mollusca</b>	Bivalvia	Arcoida	Arcidae (Lamarck, 1809)
			Limopsidae (Dall, 1895)
		Limoida	Limidae (Rafinesque, 1815)
		Lucinoida	Lucinidae (Fleming, 1828)
			Thyasiridae (Dall, 1900 (1895))
		Mytiloida	Mytilidae Rafinesque, 1815
		Nuculanoida	Nuculanidae (Adams & Adams, 1858 (1854))
			Yoldiidae (Dall, 1908)
		Nuculida	Nuculidae (Gray, 1824)
		Pectinoida	Pectinidae (Rafinesque, 1815)
	Veneroida	Cardiidae Lamarck, 1809	
		Tellinidae Blainville, 1814	
		Ungulinidae Gray, 1854	
Veneridae Rafinesque, 1815			
Caudofoveata	Caudofoveata	Caudofoveata (Boettger, 1956)	
		Chaetodermatidae (Théel, 1875)	
Gastropoda	Littorinimorpha	Naticidae (Guilding, 1834)	
		Tornidae ( Sacco, 1896 (1884))	
Scaphopoda	Dentaliida	Marginellidae (Fleming, 1828)	
		Olividae (Latreille, 1825)	
<b>Nematoda</b>	Adenophorea	Enoplida	Dentaliidae (Children, 1834)
			Gadilnidae (Chistikov, 1975)
			Anoplostomatidae (Gerlach & Riemann, 1974)
			Enoploidea (Dujardin, 1845)
			Ironoidea (de Man, 1876)
			Oncholaimoidea (Filipjev, 1916)

Phylum	Clase	Orden	Familia
		Monhysterida	Siphonolaimoidea (Filipjev, 1918)
	Chromadorea	Desmodorida	Desmodoridae (Filipjev, 1922)
			Anopla (Schultze, 1851)
	Anopla	*	Lineidae
<b>Nemertea</b>	Enopla	Monostilifera	Amphiporidae
	Palaeonemertea	*	Tubulanidae
	Phascolosomatidea	Aspidosiphonida	Aspidosiphonidae (de Quatrefages, 1865)
<b>Sipuncula</b>		Phascolosomatida	Phascolosomatidae (Stephen & Edmonds, 1972)
	Sipunculidea	Golfingiida	Golfingiidae (Stephen & Edmonds, 1972)





Phylum	Familia	Antes							Durante							Después							TOTAL
		E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	
	Sabellidae	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4	
	Serpulidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	Capitellidae	3	7	1	5	8	6	6	6	4	12	2	12	11	2	3	0	2	3	1	2	6	
	Maldanidae	2	4	5	6	8	7	4	7	6	8	8	10	14	7	6	5	1	0	3	22	5	
	Opheliidae	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	2	
	Orbiniidae	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	6	1	3	2	0	0	0	0	0	17	
	Paraonidae	9	2	11	15	13	15	19	14	16	20	15	22	32	13	20	6	11	12	9	7	16	
	Chaetopteridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	
	Longosomatidae	1	1	0	0	2	0	1	0	2	1	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	13	
	Magelonidae	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
	Poecilochaetidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	Spionidae	4	12	1	9	16	1	9	6	9	6	5	12	8	1	2	0	0	2	0	3	108	
	Ampharetidae	2	5	0	4	8	1	4	18	16	11	14	25	18	15	6	1	1	1	2	3	155	
	Cirratulidae	0	1	3	6	3	5	4	6	2	6	1	9	11	1	3	2	1	4	1	1	70	
	Fauveliopsidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	
	Flabelligeridae	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	5	
	Pectinariidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	
	Sternaspidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2	
	Terebellidae	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	7	
	Trichobranchidae	0	1	0	0	2	0	1	0	0	1	1	5	3	7	0	0	0	0	0	0	21	
Arthropoda	Ampeliscidae	0	2	0	4	0	0	0	1	1	0	2	4	1	0	0	3	3	0	0	0	21	
	Amphilocheidae	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
	Amphipoda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	
	Aoridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	2	0	0	0	0	1	7	
	Caprellidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	Corophiidae	0	0	2	0	0	0	1	0	0	5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	9	
	Gammaridae	0	0	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	
	Haustoriidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	2	1	2	3	0	1	0	2	18	
	Liljeborgiidae	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
	Lysianassidae	1	3	2	0	0	0	0	0	2	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	13	



Phylum	Familia	Antes							Durante							Después							TOTAL
		E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	
	Pseudotanaiidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	3
	Tanaellidae	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	4	1	0	0	0	0	0	1	2	2	13
	Argestidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Harpacticoida tipo I	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Polycopidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	Cypridinidae	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	Macrocyprididae	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	2	0	6
	Philomedidae	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
	Ostracoda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Cytherellidae	0	0	0	0	0	0	0	2	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
	Bairdiidae	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
<b>Brachiopoda</b>	Brachiopoda morfo 1	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	6
<b>Cnidaria</b>	Plumulariidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3
<b>Echinodermata</b>	CF1: Spatangoida	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Ypsilothuriidae	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Amphiuridae	0	0	0	2	0	0	0	1	0	2	3	1	3	0	0	0	0	0	0	1	0	13
	CF1: Ophiurida	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
	CF2: Ophiurida	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	Ophiacanthidae	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Ophiactidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	CF1: Ophiuroidea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2
CF2: Ophiuroidea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
<b>Foraminifera</b>	Nodosariidae	0	0	0	0	0	0	3	5	4	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	15
	Vaginulinidae	5	1	0	0	2	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
	Epistominidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	0	0	4
	Astrorhizidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	2	0	0	0	0	10
	Rhabdamminidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
	Ammodiscidae	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<b>Molusca</b>	Arcidae	0	0	0	0	0	0	5	0	1	2	0	4	1	2	1	1	1	0	1	1	1	20
	Limopsidae	0	2	0	0	6	1	0	2	4	0	1	0	2	0	2	1	2	0	0	0	1	24

Phylum	Familia	Antes							Durante							Después							TOTAL
		E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	
	Limidae	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	6	
	Lucinidae	0	0	0	0	2	1	1	3	0	1	0	2	1	1	2	0	0	0	1	0	0	15
	Thyasiridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	Mytilidae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	Nuculanidae	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6	
	Yoldiidae	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	3	1	0	1	0	0	0	1	1	10	
	Nuculidae	0	0	0	0	0	0	0	5	4	4	3	2	3	5	3	0	0	0	1	1	0	31
	Pectinidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	
	Cardiidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	
	Tellinidae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	Ungulinidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	2	3	1	0	0	0	0	2	5	17	
	Veneridae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	
	Caudofoveata	1	4	0	2	2	2	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	14	
	Chaetodermatidae	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	5	0	1	0	0	0	0	0	0	1	9	
	Prochaetodermatidae	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	3	10	
	Naticidae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
	Tornidae	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	Marginellidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	3	
	Olividae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	3	
	Dentaliidae	0	0	0	0	0	0	1	2	1	0	0	2	0	1	0	0	0	0	1	0	8	
	Gadilinae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
Nematoda	Adenophorea	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	Anoplostomatidae	5	0	0	2	4	0	1	1	1	2	0	4	2	2	0	3	0	1	0	2	30	
	Enoploidea	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	Ironoidea	3	4	6	4	7	20	11	5	5	18	7	0	20	9	28	15	35	4	11	43	11	266
	Oncholaimoidea	3	2	0	2	3	2	1	0	0	1	0	0	2	0	4	2	5	0	2	5	1	35
	Siphonolaimoidea	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	Desmodoridae	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Nemertea	Anopla	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	Nemertea morfo 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	

Phylum	Familia	Antes							Durante							Después							TOTAL
		E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	
	Lineidae	4	2	2	0	2	0	1	4	0	2	0	0	9	0	1	0	1	4	2	2	3	39
	Amphiporidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	Tubulanidae	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	6
Sipuncula	Sipuncula morfo 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2
	Aspidosiphonidae	0	0	1	0	3	0	0	3	0	1	2	0	1	5	0	0	0	0	0	0	0	16
	Phascolosomatidae	2	5	1	4	a	1	1	9	0	10	7	7	6	6	4	0	0	7	1	1	1	73
	Golfingiidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	0	1	6
<b>TOTAL</b>		75	99	79	130	175	138	131	169	133	190	143	218	240	137	182	112	114	54	99	154	134	2906
<b>No. de familias</b>		31	36	22	29	40	34	40	45	34	50	43	46	57	36	44	28	25	22	28	40	40	146









Estructura de la macroinfauna asociada a fondos blandos durante las fases de perforación exploratoria de hidrocarburos costa afuera (offshore) en las inmediaciones del pozo Orca 1 (La Guajira, Caribe colombiano)

Familia	Antes							Durante							Después							TOTAL
	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	
Pseudotanaidae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001	0,0000	0,0003
Tanaellidae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0006	0,0001	0,0000	0,0009	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0020
Argestidae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001
Harpacticoida tipo I	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002
Polycopidae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001
Cypridinidae	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0021	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0023
Macrocyprididae	0,0010	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0017	0,0007	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0009	0,0000	0,0043
Philomedidae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0018	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0018
Ostracoda	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0003	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0003
Cytherellidae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0002	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0006
Bairdiidae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0007	0,0000	0,0000	0,0000	0,0008	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0015
Brachiopoda morfo 1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0008	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0004	0,0015
Plumulariidae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001
CF1: Spatangoida	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2955	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2955
Ypsilothuriidae	0,0000	0,0740	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0740
Amphiuridae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0803	0,0000	0,0000	0,0000	0,2414	0,0000	0,5849	1,4379	0,0851	0,0274	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1775	0,0000	2,6345
CF1: Ophiurida	0,0000	0,0046	0,0000	0,0028	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0074
CF2: Ophiurida	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001
Ophiacanthidae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0166	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0166
Ophiactidae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0502	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0502
CF1: Ophiuroidea	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0006	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0006
CF2: Ophiuroidea	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001
Nodosariidae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Vaginulinidae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Epistominidae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0006	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0007
Astrorhizidae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0023	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0024
Rhabdamminidae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0023	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0023
Ammodiscidae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Arcidae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0038	0,0000	0,0003	0,0018	0,0000	0,0077	0,0001	0,0001	0,0011	0,0004	0,0000	0,0012	0,0002	0,0007	0,0174
Limopsidae	0,0000	0,0049	0,0000	0,0000	0,0100	0,0033	0,0000	0,0045	0,0083	0,0000	0,0008	0,0000	0,0029	0,0000	0,0036	0,0011	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0020	0,0415

Familia	Antes							Durante							Después							TOTAL	
	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07		
Limidae	0,0046	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0180	0,0012	0,0000	0,0000	0,0000	0,0004	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0003	0,0001	0,0246
Lucinidae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0242	0,0030	0,0097	0,0011	0,0000	0,0018	0,0000	0,0040	0,0036	0,0011	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0488
Thyasiridae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0004	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0004
Mytilidae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0057	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0057
Nuculanidae	0,0000	0,0088	0,0000	0,0000	0,0005	0,0000	0,0001	0,0000	0,0001	0,0000	0,0001	0,0004	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0100
Yoldiidae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001	0,0000	0,0004	0,0001	0,0000	0,0007	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0002	0,0018
Nuculidae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0083	0,0004	0,0020	0,0017	0,0001	0,0012	0,0009	0,0006	0,0000	0,0000	0,0000	0,0010	0,0012	0,0000	0,0000	0,0174
Pectinidae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0014	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0014
Cardiidae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0006	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0006
Tellinidae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001
Ungulinidae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0078	0,0001	0,0001	0,0003	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0004	0,0001	0,0089
Veneridae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0040	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0000	0,0042
Caudofoveata	0,0035	0,0062	0,0000	0,0004	0,0051	0,0041	0,0004	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0003	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0200
Chaetodermatidae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0015	0,0000	0,0001	0,0000	0,0007	0,0000	0,0007	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0006	0,0036
Prochaetodermatidae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0269	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0011	0,0000	0,0000	0,0000	0,0006	0,0000	0,0016	0,0302	
Naticidae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0039	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0029	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0068
Tornidae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0017	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0017
Marginellidae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0197	0,0000	0,0028	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0011	0,0236
Olividae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0029	0,0043	0,0010	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0082
Dentaliidae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0012	0,0005	0,0000	0,0000	0,0043	0,0000	0,0010	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0003	0,0000	0,0000	0,0074
Gadiliidae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0023	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0023
Adenophorea	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001
Anoplostomatidae	0,0001	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001	0,0000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001	0,0003	0,0000	0,0001	0,0000	0,0001	0,0000	0,0001	0,0000	0,0015
Enoploidea	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001
Ironoidea	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001	0,0005	0,0001	0,0024	0,0010	0,0000	0,0015	0,0009	0,0020	0,0016	0,0024	0,0001	0,0005	0,0037	0,0006	0,0006	0,0181
Oncholaimoidea	0,0001	0,0001	0,0000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0003	0,0001	0,0002	0,0000	0,0001	0,0002	0,0001	0,0001	0,0018
Siphonolaimoidea	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001
Desmodoridae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001
Anopla	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0458	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0458
Nemertea morfo 1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0211	0,0000	0,0058	0,0269	

Estructura de la macroinfauna asociada a fondos blandos durante las fases de perforación exploratoria de hidrocarburos costa afuera (offshore) en las inmediaciones del pozo Orca 1 (La Guajira, Caribe colombiano)

Familia	Antes							Durante							Después							TOTAL
	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	
Lineidae	0,0190	0,0100	0,0006	0,0000	0,0011	0,0000	0,0036	0,0016	0,0000	0,0013	0,0000	0,0000	0,0070	0,0000	0,0006	0,0000	0,0014	0,1654	0,0028	0,0027	0,0010	0,2181
Amphiporidae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0006	0,0000	0,0006
Tubulanidae	0,0000	0,0000	0,0022	0,0011	0,0000	0,0000	0,0000	0,0051	0,0000	0,0004	0,0000	0,0000	0,0000	0,0057	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0145
Sipuncula morfo 1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001
Aspidosiphonidae	0,0000	0,0000	0,0201	0,0000	0,0028	0,0000	0,0000	0,0122	0,0000	0,0002	0,0028	0,0000	0,0009	0,0056	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0446
Phascolosomatidae	0,0045	0,0229	0,0004	0,0021	0,0061	0,0003	0,0311	0,0358	0,0000	0,0053	0,0196	0,0073	0,0118	0,0417	0,0453	0,0000	0,0000	0,2660	0,0019	0,0009	0,0295	0,5325
Golfingiidae	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0048	0,0144	0,0014	0,0036	0,0000	0,0001	0,0243
Partes Annelida	0,0067	0,0025	0,0071	0,0355	0,0097	0,0073	0,0062	0,0056	0,0319	0,0000	0,0154	0,0315	0,0618	0,0098	0,0237	0,0156	0,0563	0,0071	0,0430	0,0042	0,0384	0,4193
Partes Arthropoda	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0006	0,0054	0,0001	0,0001	0,0000	0,0001	0,0064
Partes Echinodermata	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0117	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0118
Partes Nemertea	0,0063	0,0021	0,0045	0,0118	0,0008	0,0000	0,0027	0,0000	0,0000	0,0004	0,0000	0,0000	0,0006	0,0000	0,0000	0,0008	0,0000	0,0000	0,0000	0,0016	0,0000	0,0316
TOTAL	0,1994	0,5771	0,1882	0,6362	0,7310	0,2465	1,8392	0,5524	0,4030	1,9329	1,9137	0,5904	0,4342	0,4112	0,5195	0,2621	0,2105	0,4742	0,3830	0,4187	0,2008	13,1242

**F. Variables seleccionadas en los sedimentos, tenidas en cuenta para relacionar con el componente biológico en los fondos sedimentarios de las inmediaciones del pozo Orca-1, en las fases antes, durante y después de las actividades de perforación exploratoria.**

**Fase Antes**

VARIABLE	UNIDADES	ESTACIONES						
		E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07
pH	Unidad	7,7	7,4	7,9	7,5	7,2	7,8	7,4
Arena muy gruesa	%	0,7	1,6	0,6	0,6	0,9	1,1	0,9
Arena gruesa	%	3,0	6,7	2,5	2,7	3,9	4,7	4,3
Arena media	%	4,4	6,4	4,3	4,3	4,1	4,8	4,9
Arena fina	%	4,0	4,5	4,2	4,2	3,1	4,6	4,4
Arena muy fina	%	87,8	80,7	88,2	88,1	88,0	84,8	85,4
Cieno-limos	%	28,6	28,1	28,9	28,6	26,8	28,4	27,8
Materia orgánica oxidable	mg.g <sup>-1</sup>	39,7	40,7	41,1	40,8	39,8	39,4	41,4
Cromo	µg.g <sup>-1</sup>	5,4	4,5	4,7	5,9	7,1	7,0	7,1
Cobre	µg.g <sup>-1</sup>	105,1	102,8	103,1	95,4	93,7	98,3	99,1
Zinc	µg.g <sup>-1</sup>	30,5	31,3	29,6	30,0	32,3	30,4	29,5
Mercurio	µg.g <sup>-1</sup>	5,4	4,8	12,2	4,7	7,4	6,8	4,1
Hidrocarburos aromáticos totales	µg.g <sup>-1</sup>	7,7	7,4	7,9	7,5	7,2	7,8	7,4

**Fase Durante**

Fase	VARIABLE	UNIDADES	ESTACIONES						
			E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07
	pH	Unidad	7,4	7,4	7,5	7,4	7,5	7,5	7,4
	Arena muy gruesa	%	1,8	1,1	4,4	3,0	1,0	1,5	0,9
	Arena gruesa	%	7,6	5,5	7,6	7,4	4,6	4,6	4,5
	Arena media	%	6,8	5,3	6,1	6,5	4,4	4,8	4,8
	Arena fina	%	5,9	3,9	4,0	5,1	3,8	4,5	4,1
	Arena muy fina	%	77,6	84,0	75,6	77,2	86,0	84,0	85,6
	Cieno-limos	%	26,0	27,9	26,2	27,0	27,6	27,4	27,8
	Materia orgánica oxidable	mg.g <sup>-1</sup>	14,5	15,1	15,9	15,6	0,3	16,8	14,7
	Cromo	µg.g <sup>-1</sup>	33,6	39,2	32,8	36,7	14,1	32,8	34,3
	Cobre	µg.g <sup>-1</sup>	150,9	158,6	146,0	153,2	20,8	151,3	146,1
	Zinc	µg.g <sup>-1</sup>	25,2	28,6	28,6	26,5	29,2	28,7	28,1
	Mercurio	µg.g <sup>-1</sup>	2,0	3,7	3,5	2,0	4,3	2,7	3,2
	Hidrocarburos aromáticos totales	µg.g <sup>-1</sup>	7,4	7,4	7,5	7,4	7,5	7,5	7,4

**Después**

VARIABLE	UNIDADES	ESTACIONES						
		E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07
pH	Unidad	7,6	7,7	7,7	7,5	7,6	7,6	7,5
Arena muy gruesa	%	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Arena gruesa	%	4,3	3,7	3,2	2,8	3,1	2,1	1,8
Arena media	%	4,3	4,0	3,8	3,4	3,4	3,1	2,8
Arena fina	%	3,4	3,4	3,4	3,7	3,4	3,7	3,4
Arena muy fina	%	86,9	87,9	88,8	89,4	89,3	90,8	91,6
Cieno-limos	%	28,2	29,3	29,5	33,5	32,6	34,8	35,9
Materia orgánica oxidable	mg.g <sup>-1</sup>	20,0	21,6	21,3	24,7	18,0	30,2	20,6
Cromo	µg.g <sup>-1</sup>	5,3	4,0	4,4	5,2	4,1	4,4	4,2
Cobre	µg.g <sup>-1</sup>	82,4	83,5	84,1	78,9	84,7	83,2	85,2
Zinc	µg.g <sup>-1</sup>	26,7	27,4	28,2	27,2	29,2	27,0	26,9
Mercurio	µg.g <sup>-1</sup>	4,6	3,5	4,4	3,2	4,1	4,1	3,1
Hidrocarburos aromáticos totales	µg.g <sup>-1</sup>	7,6	7,7	7,7	7,5	7,6	7,6	7,5

## Bibliografía

Aller J.Y., Woodin S., Aller R.C. (eds.) (2001). *Organism-Sediment Interactions*. University of South Carolina Press. Columbia, SC, USA.

Anderson, M., Gorley, R. N., & Clarke, R. K. (2008). *Permanova+ for Primer: Guide to Software and Statistical Methods*. PRIMER-E Ltd. Plymouth, United Kingdom.

Baguley, J. G., Montagna, P. A., Hyde, L. J., Kalke, R. D., & Rowe, G. T. (2006). Metazoan meiofauna abundance in relation to environmental variables in the northern Gulf of Mexico deep sea. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 53(8), 1344-1362.

Balzarini M.G., González L., Tablada M., Casanoves F., Di Rienzo J.A., Robledo C.W. (2008). *Manual del Usuario*, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina.

Barwick, K., & Cadien, D. B. (2005). Aplacophore mollusks of the 2003 Regional Monitoring Survey of the Southern California Bight. *SCAMIT Newsletter*, 23(Suppl), 1-18.

Belalcázar, J. (2014). La apuesta por la explotación petrolera costa afuera arranca en serio. *Revista Colombia Energía*, (9), 19-24.

Benavides-Serrato, M., Borrero-Pérez, G. H., & Díaz-Sánchez, C. M. (2011). Equinodermos del Caribe colombiano I: Crinoidea, Asteroidea y Ophiuroidea. *Serie de Publicaciones Especiales de INVEMAR*, 22, 384.

Birkett, L., & McIntyre, A. D. (1971). Treatment and sorting of samples. *Methods for the study of marine Benthos, IBP Handbook*, (16), 156-168.

Blake, J. A., Hilbig, B., & Scott, P. H. (1996a). Taxonomic Atlas of the Benthic Fauna of the Santa Maria Basin and Western Santa Barbara Channel: vol. 5: The Annelida part 2 – Polychaeta: Phyllodocida (Syllidae and Scale-Bearing Families), Amphinomida, and Eunicida. Santa Barbara Museum of Natural History. Santa Bárbara, California, USA.

Blake, J. A., Hilbig, B., & Scott, P. H. (1996b). Taxonomic Atlas of the Benthic Fauna of the Santa Maria Basin and Western Santa Barbara Channel: vol. 6, The Annelida Part 3: Polychaeta: Orbiniidae to Cossuridae. Santa Barbara Museum of Natural History. Santa Bárbara, California, USA.

Blake, J. A., Hilbig, B., & Scott, P. H. (1997). Taxonomic Atlas of the Benthic Fauna of the Santa Maria Basin and Western Santa Barbara Channel: vol. 4: The Annelida part 1 – Oligochaeta and Polychaeta: Phyllodocida (Phyllodocidae to Paralacydoniidae). Santa Barbara Museum of Natural History. Santa Bárbara, California, USA.

Blake, J. A. & Valentich-Scott, P. (1997). Taxonomic Atlas of the Benthic Fauna of the Santa Maria Basin and Western Santa Barbara Channel: vol 11: The Crustacea part 2 – The Isopoda, Cumacea and Tanaidacea. Santa Barbara Museum of Natural History. Santa Bárbara, California, USA.

Blanchet, H., Lavesque, N., Ruellet, T., Dauvin, J. C., Sauriau, P. G., Desroy, N., Desclaux, C., Leconte, M., Bechelet, G., Janson A.L., Bessineton, C., Duhamel, S., Jourde, J., Mayot, S., Simon, S. & de Montaudouin X. (2008). Use of biotic indices in semi-enclosed coastal ecosystems and transitional waters habitats—implications for the implementation of the European Water Framework Directive. *Ecological indicators*, 8(4), 360-372.

Bolaño, M., Barrios E., Beltrán J., Cárdenas A., Hernández D., Mojica L., Posada T., Ramos L., Rojas J. y Fundación Omacha. (2015). *Caracterización ambiental antes de la perforación exploratoria del pozo Molusco, bloque RC9, Caribe colombiano*. (419 p). Coordinación de Servicios Científicos. Santa Marta, D.T.C.H. Colombia. Coordinación de Servicios Científicos-INVEMAR.

Bousfield, E. L. 1973, Shallow-water gammaridean Amphipoda of New England. *Ithaca, New York: Comstock Publishing Associates, USA*.



Boxshall, G. A., & Halsey, S. H. (2004). *An introduction to copepod diversity*. Ray Society. The Ray Society, London, U.K.

Braeckman, U., Provoost, P., Gribsholt, B., Van Gansbeke, D., Middelburg, J., & Soetaert, K. et al. (2010). Role of macrofauna functional traits and density in biogeochemical fluxes and bioturbation. *Marine Ecology Progress Series*, 399, 173-186.

Breedy, O., & Murillo, M. (1995). Isópodos (Crustacea: Peracarida) de un arrecife del Caribe de Costa Rica. *Revista de biología tropical*, 43(1-3), 219-229.

Brinton, E. (1955). The euphausiacea (Crustacea) of the North Pacific. *Contribution from the Scripps Institution of Oceanography*, 796, 1-116.

CAPP (Canadian Association of Petroleum Producers). (2001). *Offshore Drilling Waste Management Review*. Report 2001-0007 from Canadian Association of Petroleum Producers, Halifax, Nova Scotia, Canada.

Caetano, C. (2007). Sistemática da classe scaphopoda (mollusca) no Brasil. *Tesis de Doctorado. Programa de Posgrado en Biología, Biociencias Nucleares. Universidad del Estado de Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro, Brasil.

Calnan, T. R., & Littleton, T. G. (1989). Correlation of live mollusks with sediment and bathymetry on the Texas inner shelf. *The Veliger*, 32(2): 130-146.

Campos, N. H., Navas, G. R., Bermúdez, A., & Cruz, N. (2005). Los crustáceos decápodos de la franja superior del talud continental (300-500 m) del mar Caribe colombiano G. Andrade (ed.) Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá. Instituto Nacional de Ciencias Naturales. *Monografía II de la Fauna de Colombia*. Bogotá, Colombia.

Carrasco F. y V. Gallardo. (1989). La contaminación marina y el valor de la macrofauna bentónica en su evaluación y vigilancia: casos de estudio en el litoral de Concepción, Chile. *Biol. Pesq.*, 18: 15-27.

Chernyshev, A. V. (2003). Classification system of the higher taxa of enoplous nemertean (Nemertea, Enopla). *Russian Journal of Marine Biology*, 29(1), S57-S65.

Clarke, K. R., & Gorley, R. N. (2001). PRIMER (Plymouth Routines In Multivariate Ecological Research) v5: User Manual/Tutorial PRIMER-E Plymouth (pp. 91). UK: *Plymouth Marine Laboratory*.

Clarke, K. R., & Ainsworth, M. (1993). A method of linking multivariate community structure to environmental variables. *Marine ecology progress series*, 205-219.

Clarke, K. y Warwick, P. (2001). Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation. Plymouth Marine Laboratory. PRIMER-E Ltd. Plymouth, United Kingdom.

Coan, E. V., Valentich-Scott, P., & Bernard, F. R. (2000). Bivalve Seashells of Western North America: Marine Bivalve Mollusks from Arctic Alaska to Baja California. Santa Barbara Museum of Natural History. Monograph no. 2. *Studies in Biodiversity*, (2).

Cortés, F., Tigreros, P., Martínez, P., Cárdenas, A., Bolaño, M., & Zubiría, W. (2014). *Caracterización ambiental del área de influencia de la prospección sísmica 2D dentro del bloque Guajira Offshore 1, Caribe colombiano* (390p). Santa Marta, D.T.C.H., Colombia. Coordinación de Servicios Científicos-INVEMAR.

Cortés, F., Báez A., Díaz J., Martínez P., Escarria E., Bolaño M., Ruíz J., Sánchez C., Mármod D. & Rodríguez L. (2012). *Calidad de aguas, sedimentos y comunidades marinas en el área de mayor interés (AMI) para la perforación exploratoria de hidrocarburos del bloque RC9, La Guajira, Caribe colombiano* (288p). Santa Marta, D.T.C.H., Colombia. Coordinación de Servicios Científicos-INVEMAR.

Cortés, F., Betancourt J., Ramos L., Murcia M., Escarria E., Mejía L., Sáenz H., Mármol D. & Gómez L. (2011). *Calidad de aguas, sedimentos y comunidades marinas antes de la perforación exploratoria del Pozo Uchuva I.* (219p). Santa Marta, D.T.C.H., Colombia Coordinación de Servicios Científicos-INVEMAR.

Currie, D. R., & Isaacs, L. R. (2005). Impact of exploratory offshore drilling on benthic communities in the Minerva gas field, Port Campbell, Australia. *Marine Environmental Research*, 59(3), 217-233.

Cutler, E. B. (1994). *The Sipuncula: their systematics, biology, and evolution.* Cornell University Press. New York, USA.

Danovaro, R. (Ed.). (2009). *Methods for the study of deep-sea sediments, their functioning and biodiversity.* CRC Press.

Davies, A. J., Roberts, J. M., & Hall-Spencer, J. (2007). Preserving deep-sea natural heritage: emerging issues in offshore conservation and management. *Biological Conservation*, 138(3-4), 299-312.

De la Lanza, G. (1986). Materia orgánica en los sedimentos del sistema lagunar Huizache y Caimanero: importancia, comportamiento y significado en modelos de predicción. *An. Inst. Mar y Limnol. Univ. Nal. Autónoma. México*, 13(1), 251-286.

Díaz, J. M., & Puyana, M. (1994). Moluscos del Caribe colombiano. *Un catálogo ilustrado.* COLCIENCIAS, Fundación Natura e INVEMAR, Bogotá, Colombia. 1-367.

Diaz, R. J., Solan, M., & Valente, R. M. (2004). A review of approaches for classifying benthic habitats and evaluating habitat quality. *Journal of environmental management*, 73(3), 165-181.

Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2008). InfoStat software estadístico, versión 2008. *Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina*.

Duplisea, D. E. y B. T. Hargrave. 1996. "Response of meiobenthic size-structure, biomass and respiration to sediment organic enrichment." *Hydrobiologia* 339: 161-170.

Eleftheriou, A. (Ed.). (2013). *Methods for the study of marine benthos*. John Wiley & Sons.

Etter, R. J., & Grassle, J. F. (1992). Patterns of species diversity in the deep sea as a function of sediment particle size diversity. *Nature*, 360(6404), 576.

Fauchald, K., & Jumars, P. A. (1979). The diet of worms: a study of polychaete feeding guilds.

Field, J., Clarke, K. R., & Warwick, R. M. (1982). A practical strategy for analysing multispecies distribution patterns. *Marine ecology progress series*, 37-52.

Figueras, A. L. (2009). Ofiuroideos del Caribe Mexicano y Golfo de México.

Figueroa, S., Marchant, M., Giglio, S., & Ramírez, M. (2005). Foraminíferos bentónicos rotalínidos del centro sur de Chile (36 S-44 S). *Gayana (Concepción)*, 69(2), 329-363.

Flórez, P., & Montoya, E. (2004). Briozoos de la plataforma continental y el talud superior del Caribe colombiano. *Trabajo de grado. Facultad de Biología Marina. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta, Colombia*.

Fraser, C. M. (1944). *Hydroids of the Atlantic coast of North America*. University of Toronto press. Toronto, Canadá.

Gage, J. D., & Tyler, P. A. (1992). *Deep-sea biology: a natural history of organisms at the deep-sea floor*. Cambridge University Press.

Garrison, T.S. (2015). *Oceanography: an invitation to marine science*. Ninth edition. Cengage Learning. Boston, USA.

Gibson, R. (2002). *The invertebrate fauna of New Zealand: Nemertea (ribbon worms)* (Vol. 118). National Institute of Water and Atmospheric Research (NIWA). Auckland, Nueva Zelanda.

Gibson, R. N., & Atkinson, R. J. A. (2003). Oxygen minimum zone benthos: adaptation and community response to hypoxia. *Oceanogr. Marine Biol. Annu. Rev.*, 41, 1-45.

Giere, O. (2008). *Meiobenthology: the microscopic motile fauna of aquatic sediments*. Springer Science & Business Media. Hamburg, Germany.

Gilbertson, W. W., Solan, M., & Prosser, J. I. (2012). Differential effects of microorganism–invertebrate interactions on benthic nitrogen cycling. *FEMS Microbiology Ecology*, 82(1), 11-22.

Glover, A. G., & Smith, C. R. (2003). The deep-sea floor ecosystem: current status and prospects of anthropogenic change by the year 2025. *Environmental Conservation*, 30(3), 219-241.

González, A. R. (1999). *Ecología aplicada: diseño y análisis estadístico*. U. Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, Colombia.

Grassle, J. F., & Maciolek, N. J. (1992). Deep-sea species richness: regional and local diversity estimates from quantitative bottom samples. *The American Naturalist*, 139(2), 313-341.

Gray J. S. (1980). Why do ecological monitoring? *Mar. Pollut. Bull.* 11: 62–65.

Gray J., Aschan, M., Carr M., Clarke R., Green R., Pearson T., Rosenberg R. y Warwick R. (1988). Analysis of community attributes of the benthic macrofauna of Frierfjord / Langesundfjord and in a mesocosm experiment. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 46: 151-165.

Gray, J. S. y M. Elliott. (2009). *Ecology of marine sediments*. Oxford University Press: Oxford. 225 p.

Green, R. H. (2003). Marine coastal monitoring: designing an effective offshore oil and gas environmental effects monitoring program. *Offshore Oil and Gas Environmental Effects Monitoring Approaches and Technologies*. Springer, New York, USA.

Guzmán-Alvis A. y N. Ardila. (2004). *Estados de los fondos blandos en Colombia*. En: Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: Año 2003. INVEMAR, Santa Marta, Serie de publicaciones periódicas No. 8. 183-198.

Guzmán-Alvis, A., Solano O.D., Córdoba-Tejada M.E. & López-Rodríguez A.C. (2001). Comunidad macroinfaunal de fondos blandos someros tropicales, Caribe colombiano. *Bol. Ins. Invest. Mar. Cost.*, 30: 39-66.

Halfar, J., & Fujita, R. M. (2007). Danger of deep-sea mining. *Science-New York Then Washington-*, 316(5827), 987

Hall–Spencer, J., Allain, V., & Fosså, J. H. (2002). Trawling damage to Northeast Atlantic ancient coral reefs. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 269(1490), 507-511.

Hayward, B. W., Cedhagen, T., Kaminski, M., & Gross, O. (2015). World foraminifera database. Accessed through: Hayward, BW, Cedhagen, T., Kaminski, M., and Gross, O.

(2015) World Foraminifera Database at <http://www.marinespecies.org/foraminifera/aphia.php>.

Heard, R. W., Hansknecht, T., Larsen, K., & Ashley Susan, O. N. (2003). *An illustrated identification guide to Florida Tanaidacea (Crustacea: Peracarida) occurring in depths of less than 200 m*. Florida Department of Environmental Protection, Division of Water Resource Management, Bureau of Laboratories. Tallahassee, Florida, USA.

Hessler, R.R. y H.L. Sanders. (1967). Faunal diversity in the deep-sea. *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts*. 14(1), 65-70.

Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2006). *Metodología de la Investigación*. México: Mc Graw Hill. México D.F.

Herring, P. (2002). *The biology of the deep ocean*. First edition. Oxford University Press, Great Britain, U.K.

Holme, N. A., & McIntyre, A. D. (1984). Methods for the study of marine benthos. *International Biological Programme Handbook no. 16*. 334p.

Hurlbert, S. H. (1971). The nonconcept of species diversity: a critique and alternative parameters. *Ecology*, 52(4), 577-586.

Hurley, G., & Ellis, J. (2004). Environmental effects of exploratory drilling offshore Canada: environmental effects monitoring data and literature review. Halifax, Nova Scotia, Canadá.

INVEMAR. (2014). *Caracterización ambiental del área de interés del Bloque Guajira Offshore # 3, Caribe colombiano*. (367p.). Coordinación de Servicios Científicos. INVEMAR. Informe Técnico Final para Petrobras Colombia Ltd. Santa Marta, D.T.C.H.

Johnson, N. A., Campbell, J. W., Moore, T. S., Rex, M. A., Etter, R. J., McClain, C. R., & Dowell, M. D. (2007). The relationship between the standing stock of deep-sea

macrobenthos and surface production in the western North Atlantic. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 54(8), 1350-1360.

Jones, D. O., Wigham, B. D., Hudson, I. R., & Bett, B. J. (2007). Anthropogenic disturbance of deep-sea megabenthic assemblages: a study with remotely operated vehicles in the Faroe-Shetland Channel, NE Atlantic. *Marine Biology*, 151(5), 1731-1741.

Kensley, B. F., & Schotte, M. (1994). Marine isopods from the Lesser Antilles and Colombia (Crustacea: Peracarida). *PROC. BIOL.SOC. WASH.* 107(3), 482-510.

Keppner, E. J., & Tarjan, A. C. (1989). Illustrated key to the genera of free-living marine nematodes of the order Enoplida. NOAA Technical Report NMFS 77. U.S. Department Of Commerce. USA.

Knox, G. A. (1977). The role of polychaetes in benthic soft-bottom communities. *Essays on Polychaetous Annelids in Memory of Dr. Olga Hartman*, 547-604.

Korenaga, G. y V. Blackwell. (2003) .Environmental assessment tool for upstream discharges to water. Upstream Water Manegement Project Portfolio. Chevron-Texaco. 54p.

Lara-Lara, J.R., V. Arena-Fuentes, C. Bazán-Guzmán, V. Díaz-Castañeda, E. Escobar-Briones, M.C. García-Abad, G. Gaxiola-Castro, G. Robles-Jarero, R. Sosa-Avalos, L.A. Soto-González, M. Tapia-García & E. Valdez-Holguín. (2008). Los ecosistemas marinos. *Capital Natural de México*, 1, 135-159.

Laverock, B., Gilbert, J. A., Tait, K., Osborn, A. M., & Widdicombe, S. (2011). Bioturbation: impact on the marine nitrogen cycle. *Biochemical Society Transactions*, 39 (1), 315-320.



Lázaro, J. R., & Zárrega, E. G. (1992). Los Ostrácodos, índices de cambios ambientales en el Cretácico superior y Paleógeno de la Cuenca Vasco-Cantábrica. *Revista española de paleontología*, (3), 163-170.

LeCroy, S. E., Richardson, J. S., & Cobb, D. (2011). *An illustrated identification guide to the nearshore marine and estuarine gammaridean Amphipoda of Florida* (Vol. 5, p. 2000). Florida Department of Environmental Protection, Division of Resource Assessment and Management, Bureau of Laboratories [Biology Section]. Tallahassee, Florida, USA.

Levin, L. A., Etter, R. J., Rex, M. A., Gooday, A. J., Smith, C. R., Pineda, J., Stuart, C.T., Hessler, R.R & Pawson, D. (2001). Environmental influences on regional deep-sea species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 32(1), 51-93.

Lohrer, A. M., Thrush, S. F., & Gibbs, M. M. (2004). Bioturbators enhance ecosystem function through complex biogeochemical interactions. *Nature*, 431(7012), 1092.

Ludwig, J. A. & J. F. Reynolds. (1988). *Statistical ecology. A primer on methods and computing*. John Wiley and Sons. New York, USA.

MacDonald T.A., Burd B. J., MacDonald V. I. y Van Roodselaar A. 2010. Taxonomic and feeding guild classification for the marine benthic macroinvertebrates of the Strait of Georgia, British Columbia. *Can. Tech Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2874: iv + 63 p.

Magurran, A. E. (2013). *Measuring biological diversity*. John Wiley & Sons. Oxford, U.K.

Margalef, D.R. (1958). Information Theory in Ecology. *General Systematics*. 3: 36-71.

Margalef, R. (1995). Ecología: 1-951. *Omega, Barcelona, España*.

Martínez-Barragán, M.P., Ramos L., Beltrán J.M., Cárdenas A., Ortiz S., Bolaño M., Posada T. y D. Hernández. (2016). *Monitoreo de aguas, sedimentos y comunidades marinas durante la perforación exploratoria del pozo Orca- 1*. (292p.). Coordinación de

Servicios Científicos. INVEMAR. Informe Técnico Final para Petrobras Colombia Ltd. Santa Marta, D.T.C.H.

Márquez, J.C., García L., Báez A., Ramos L., Martínez P., Uribe C., Fontalvo E., Ruiz J., Zubiría W. & Gómez L. (2013). *Caracterización de aguas, sedimentos y comunidades marinas en el área de perforación exploratoria marina RC11 y sus áreas de mayor interés Siluro este y oeste, Caribe colombiano*. (563p). Santa Marta, D.T.C.H., Colombia. Coordinación de Servicios Científicos-INVEMAR.

Márquez, J.C., Vecino C., Castañeda J., Ricaurte C., Ordóñez S.A., Bastidas M., Romero D.A., Ramos L., Daza J.N., Martínez M.P., Barrera J., Cortés J.S., Aguilar M.I., Ballesteros F., Reyes F.J. y S. Millán. (2016a). *Caracterización Ambiental del bloque SIN OFF-7, Caribe colombiano, épocas lluvia y seca*. Santa Marta, D.T.C.H., Colombia. Coordinación de Servicios Científicos-INVEMAR.

Márquez, J.C., Quintero P., Ordóñez S.A., Bastidas M., Murcia M., Ricaurte C., Pertúz H., Ramos L., Beltrán J.M., Martínez M.P., Cárdenas A., Aguilar M.I., Posada T., Bolaño M., Ballesteros F., Reyes F.J. y S. Millán. (2016b). *Caracterización ambiental del área de interés extendida del bloque Colombia offshore 3, épocas lluvia y seca, Caribe colombiano*. Santa Marta, D.T.C.H., Colombia. Coordinación de Servicios Científicos-INVEMAR.

Mason, W. T., & Yevich, P. P. (1967). The use of phloxine B and rose bengal stains to facilitate sorting benthic samples. *Transactions of the American Microscopical Society*, 86(2), 221-223.

Mckee, B.A., Aller R.C., Allison M.A., Bianchi T.S., y Kineke. (2004). Transport and transformation of Dissolved and particulate materials on continental Margins influenced by Major Rivers: Benthic Boundary Layer and seabed processes. *Continental Shelf Research*, 24 (7-8): 899-926.

McLaughlin, P. A. (2003). Illustrated keys to families and genera of the superfamily Paguroidea (Crustacea: Decapoda: Anomura), with diagnoses of genera of Paguridae. *Memoirs of Museum Victoria*, 60(1), 111-144.

Miller, K. A., Thompson, K. F., Johnston, P., & Santillo, D. (2017). An overview of seabed mining including the current state of development, environmental impacts and knowledge gaps. *Frontiers in Marine Science*, 4, 418.

Moreno Yépez, C. E. (2017). Propuesta de términos de referencia para la elaboración de estudios de impacto ambiental (EIA) Para construcción de plataformas de exploración y explotación de hidrocarburos en aguas marinas en Colombia. Universidad Libre. Especialización en Gerencia Ambiental. Bogotá D.C., Colombia.

Muñoz, F. R., & González-Regalado, M. L. (1990). Los Ostrácodos de la formación «Arenas de Huelva» (sección de Moguer). *Estudios Geológicos*, 46(1-2), 135-145.

Namiotko, T., Danielopol, D. L., Belmecheri, S., Gross, M., & Von Grafenstein, U. (2012). On the Leptocytheridae Ostracods of the Long-Lived Lake Ohrid: A Reappraisal of their Taxonomic Assignment and Biogeographic Origin. *International review of hydrobiology*, 97(4), 356-374.

Neff J.M., McKelvie S. and Ayers R.C. Jr. 2000. Environmental Impacts of Synthetic Based Drilling Fluids. OCS Study MMS 2000-64. U.S. Dept. of the Interior, Minerals Management Service, Gulf of Mexico OCS Program, New Orleans, LA, USA.

Neff J.M. (2005). Composition, environmental fates, and biological effect of water based drilling muds and cuttings discharged to the marine environment: A synthesis and annotated bibliography. Batelle: The Business of Innovation. Duxbury, M.A., USA.

Nematology. (2015). Recuperado de en: <http://nematode.unl.edu/wormlab2.html>.

OGP (International Association of Oil & Gas Producers). (2003). *Environmental aspects of the use and disposal of non aqueous drilling fluids associated with offshore oil & gas operations*. Report 342 from OGP, London, England, U.K.

Ólafsson, E. (2003). "Do macrofauna structure meiofauna assemblages in marine soft-bottoms? A review of experimental studies." *Vie Milieu*, 53 (4): 249-264.

Olsgard, F., & Gray, J. S. (1995). A comprehensive analysis of the effects of offshore oil and gas exploration and production on the benthic communities of the Norwegian continental shelf. *Marine Ecology Progress Series*, 277-306.

Ortiz, M. (1994). Clave gráfica para la identificación de familias y géneros de anfípodos del suborden Gammaridea del Atlántico Occidental tropical. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR*, 23(1), 59-101.

Ortiz, M., Lalana, R., & Varela, C. (2012a). Guía ilustrada para la identificación de los camarones comerciales (Decapoda, Dendrobranchiata, Penaeoidea) de Cuba/Illustrated guide for identification of comercial shrimps (Decapoda, Dendrobranchiata, Penaeoidea) of Cuba. *Revista Cubana de Ciencias Biológicas*, 1(1), 49-69.

Ortiz, M., Winfielc, I., & Cházaro-Olvera, S. (2012b). Lista actualizada y clave ilustrada para los géneros de misidáceos (Crustacea, Peracarida) del Mar Intra-Americano. *Revista mexicana de biodiversidad*, 83(4), 983-1003.

Ozawa, H. (2013). The history of sexual dimorphism in Ostracoda (Arthropoda, Crustacea) since the Palaeozoic. In *Sexual dimorphism. InTech*. 2-31.

Paxton, H., Beesley, P. L., Ross, G. J. B., & Glasby, C. J. (2000). Polychaetes & Allies: The Southern Synthesis. Fauna of Australia. Volume 4A Polychaeta, Myzostomida, Pogonophora Echiura, Sipuncula. CSIRO Publishing. Melbourne, Australia.

Philippi, T. E., Dixon, P. M., & Taylor, B. E. (1998). Detecting trends in species composition. *Ecological applications*, 8(2), 300-308.

Phillips, D. J., & Segar, D. A. (1986). Use of bio-indicators in monitoring conservative contaminants: programme design imperatives. *Marine Pollution Bulletin*, 17(1), 10-17.

Pielou, E.C. (1969). *An Introduction to Mathematical Ecology*. Wiley-Interscience John Wiley & Sons.

Platt, H. M., & Warwick, R. M. (1983). *Freeliving marine nematodes. Part 1: British enoplids. Pictorial key to world genera and notes for the identification of British species*. Cambridge University Press, for the Linnean Society of London and the Estuarine and Brackish-water Sciences Association. Cambridge, U.K.

Platt, H. M., & Warwick, R. M. (1988). *Free-living marine nematodes. Part II: British chromadorids*. Brill/Backhuys, for the Linnean Society of London and the Estuarine and Brackish-Water Sciences Association. Cambridge, U.K.

Ramírez-Llodra, E.Z., Brandt A., Danovaro R., De Mol B., Escobar E., German C.R., Levin L.A., Martínez Arbizu P., Menot L., Buhl-Mortensen P., Narayanaswamy B.E., Smith C.R., Tittensor D.P., Tyler P.A., Vanreusel A. Y M. Vecchione. (2010). Deep, diverse and definitely different: unique attributes of the world's largest ecosystem. *Biogeosciences*, 7(9): 2851-2899.

Ramos, LM., Beltrán J., Ortíz S., García J., Barrios E., Posada T., Herrera F. y Gartner A. (2015). Caracterización ambiental antes de la perforación exploratoria del pozo Siluro-1 (RC-11), Caribe colombiano. (348p). Santa Marta, D.T.C.H., Colombia Coordinación de Servicios Científicos-INVEMAR.

Rex, M. A. (1981). Community structure in the deep-sea benthos. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 12(1), 331-353.

Rex, M. A., & Etter, R. J. (2010). Deep-sea biodiversity: pattern and scale. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts, USA.

Rex, M.A., McClain C.R., Johnson N.A., Etter R.J., Allen J.A., Bouchet P. y A. Warén. (2005). A source-sink hypothesis for abyssal biodiversity. *The American Naturalist*. 165(2), 163-178.

Reyes, L., & Acosta, N. (1995). Ostrácodos bentónicos de dos transectos: bahía de Tumaco y Punta El Coco e Isla Gorgona, Pacífico colombiano. *Acta Biológica Colombiana*, 2(9), 23-42.

Ricklefs, R.E & Miller, G.I. (1999). Ecology, 4<sup>th</sup> edn. Freeman and Company, New York, USA.

Roe, P., Norenburg, J. L., & Maslakova, S. (2007). Nemertea. *The Light and Smith Manual. Intertidal Invertebrates from Central California to Oregon*, 221-233.

Rouse, G., & Pleijel, F. (2001). *Polychaetes*. Oxford university press. Oxford, U.K.

Sáenz, H.F., L.M. García, D. Vega, J.M. Beltrán, M.P. Martínez, C. Uribe, M.P. Bolaño, T. Posada y F.A. Herrera. (2013). *Comunidades marinas, calidad de aguas y sedimentos en la zona próxima a los pozos exploratorios Mapalé-1 y Mapalé-2 (RC5), Caribe colombiano* (354p). Coordinación de Servicios Científicos. Santa Marta, D.T.C.H., Colombia. Coordinación de Servicios Científicos-INVEMAR.

Sánchez-Ramírez, C., García L., Tigreros P., Martínez P., Escarria E., Fontalvo E., Sáenz H. F. & Posada T. (2012). *Aguas, sedimentos y comunidades marinas en el Área de Mayor Interés de Perforación Exploratoria (AMI) Jarara, Caribe colombiano*. (269p). Santa Marta, D.T.C.H., Colombia. Coordinación de Servicios Científicos-INVEMAR.

Sanders, H.L., Hessler R.R. y Hampson G.R. (1965). An introduction to the study of the deep-sea benthic faunal assemblages along the Gay Head – Bermuda transect. *Deep-Sea Research*. 12, 845-867.

Sanders, H. L., & Hessler, R. R. (1969). Ecology of the deep-sea benthos. *Science*, 163(3874), 1419-1424.

Santos, M. F. L., Lana, P. C., Silva, J., Fachel, J. G., & Pulgati, F. H. (2009). Effects of non-aqueous fluids cuttings discharge from exploratory drilling activities on the deep-sea macrobenthic communities. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 56(1-2), 32-40.

Schiaparelli, S., A.A. Rowden y M.R. Clark. (2016). Deep-Sea Fauna. En: Clark, M.R., M. Consalvey Y A.A. Rowden (Eds.). *Biological sampling in the deep sea*. Wiley-Blackwell, UK. 451 p.

Shannon, C. E., & Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication* University of Illinois Press Urbana, 117 pp. Illinois, USA.

Smith, R. I. (1964). *Keys to marine invertebrates of the Woods Hole region: a manual for the identification of the more common marine invertebrates*. Marine Biological Laboratory. Woods Hole, Massachusetts, USA.

Smith, C. R., Levin, L. A., & Mullineaux, L. S. (1998). Deep-sea biodiversity: a tribute to Robert R. Hessler. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 45(1-3), 1-11.

Snelgrove, P. V., Thrush, S. F., Wall, D. H., & Norkko, A. (2014). Real world biodiversity–ecosystem functioning: a seafloor perspective. *Trends in ecology & evolution*, 29(7), 398-405.

Snelgrove, P. V., Soetaert, K., Solan, M., Thrush, S., Wei, C. L., Danovaro, R., Fulweiler R.W., Kitazato H., Ingole B., Norkko A., Parkes R.J. y N. Volkenborn. (2017). Global Carbon Cycling on a Heterogeneous Seafloor. *Trends in ecology & evolution*, 33(2), 96-105.

Solano, O. D., C. Sánchez, L. Espinosa, M. Rueda, A. Báez, E. Escarria, M. Murcia, F. Cortés, H. F. Sáenz, W. Gualteros y D. Vega. (2008). *Monitoreo ambiental de la calidad de aguas, sedimentos y comunidades marinas en la zona de influencia directa del Pozo Exploratorio Arazá I* (322p). Santa Marta, D.T.C.H., Colombia Coordinación de Servicios Científicos-INVEMAR.

Soto E. y G. Leighton. (1999). Indicadores biológicos de ecosistemas marinos de fondos blandos y su importancia en los programas de monitoreo ambiental. *VI Jornadas del CONAPHI-CHILE*. 15p.

Soule, D. F. (1995). Taxonomic atlas of the benthic fauna of the Santa Maria Basin and western Santa Barbara Channel. The Bryozoa. *Irene McCulloch Foundation Monograph Series*, 2, 1-344.

Steele, J.H. (1970). *Marine food chains*. University of California Press, Berkeley and Los Angeles. Los Angeles, California, USA.

Steyaert, M., Deprez, T., Raes, M., Bezerra, T., Demesel, I., Derycke, S., Desmet, G., Fonseca, G., Franco, M.A., Gheskiere, T., Hoste, E., Ingels, J., Moens, T., Vanaverbeke, J., Van Gaever, S., Vanhove, S., Vanreusel, A., Verschelde, D., Vincx, M. (2005). Electronic Key to the free-living marine Nematodes. *World Wide Web Electronic publication*. [www.nemys.ugent.be](http://www.nemys.ugent.be), 9, 2005.

Stuart, C.T., Rex M.A. Y R.J. Etter. (2003). Large-scale spatial and temporal patterns of deep-sea benthic species diversity. En: Tyler, P.A. (Ed.). *Ecosystems of the World*. Vol. 28. *Ecosystems of the Deep Oceans*. Elsevier. 295-311.



Thurber, A. R., Sweetman, A. K., Narayanaswamy, B. E., Jones, D. O. B., Ingels, J., & Hansman, R. L. (2014). Ecosystem function and services provided by the deep sea. *Biogeosciences*, 11(14), 3941-3963.

Trujillo, C., Sosa, Z., & Linero, K. (2009). Estructura de la macroinfauna asociada a los fondos blandos del Caribe norte colombiano. *Intropica*, 4, 101.

Tyler, P.A. (ed.). (2003). *Ecosystems of the World*. Vol. 28. *Ecosystems of the Deep Oceans*. Elsevier. 569 p. Southampton, U.K.

Tyler, P.A, M. Baker Y E. Ramirez-Llodra. Deep-Sea Benthic Habitats. En: Clark, M.R., M. Consalvey and A.A. Rowden (Eds.). (2016). *Biological sampling in the deep sea*. Wiley-Blackwell, UK. 451 p.

Uebelacker, J. M., & Johnson, P. G. (eds.). (1984). *Taxonomic guide to the polychaetes of the northern Gulf of Mexico* (Vol. 2). Final report to the Minerals Management Service, contract 14-12-001-29091. Barry A. Vittor & Associates Inc. Mobile, Alabama, 7 vols. Metairie, Louisiana, USA.

Valiela, I. 1995. *Marine ecological processes*. Springer-Verlag, New York, USA.

Van Gernerden-Hoogeveen, G. C. H. (1965). Hydroids of the Caribbean: Sertulariidae, Plumulariidae and Aglaopheniidae. *Studies on the fauna of Curaçao and other Caribbean Islands*, 22(1), 1-87.

Villarreal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., Ospina, M. & Umaña, A. M. (2006). Métodos para el análisis de datos: una aplicación para resultados provenientes de caracterizaciones de biodiversidad. *Manual de Métodos Para el Desarrollo de Inventarios de Biodiversidad*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia, 185-226.

Waldbusser, G. G., Marinelli, R. L., Whitlatch, R. B., & Visscher, P. T. (2004). The effects of infaunal biodiversity on biogeochemistry of coastal marine sediments. *Limnology and Oceanography*, 49(5), 1482-1492.

Warwick, R. M., & Clarke, K. R. (1993). Comparing the severity of disturbance: a metaanalysis of marine macrobenthic community data. *Marine Ecology Progress Series*, 221-231.

Weston, D. P. (1990). Quantitative examination of macrobenthic community changes along an organic enrichment gradient. *Marine Ecology Progress Series*, 233-244.

Whittaker, A. (Ed.). 1985. *Theory and Application of Drilling Fluid Hydraulics*. International Human Resources Development Corporation, Boston, USA.

Wheeler, A. J., Bett, B. J., Billett, D. S. M., Masson, D. G., & Mayor, D. J. (2005). The impact of demersal trawling on northeast Atlantic deepwater coral habitats: the case of the Darwin Mounds, United Kingdom. In *American Fisheries Society Symposium* (Vol. 41, pp. 807-818).

Widdicombe, S. & Austen, M. (1999). Mesocosm investigation into the effects of bioturbation on the diversity and structure of a subtidal macrobenthic community. *Marine Ecology Progress Series*, 189, 181-193.

Yidi, E., & Sarmiento, V. (2010). Colombian seashells from the Caribbean sea. *Piceno, L Informatore*, 1-384.