

**APROXIMACIÓN METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE LAS COMUNIDADES
MACROINFAUNALES Y SU POSIBLE RELACIÓN CON LA PRESENCIA DE SUMIDEROS DE GAS EN EL
CARIBE COLOMBIANO**

MARÍA ISABEL AGUILAR PÉREZ



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

POSGRADOS EN GESTIÓN DE LA TECNOLOGÍA Y LA INNOVACIÓN (GTI.UPB)
MAESTRÍA EN GESTIÓN TECNOLÓGICA

MEDELLÍN

2023

**APROXIMACIÓN METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE LAS COMUNIDADES
MACROINFAUNALES Y SU POSIBLE RELACIÓN CON LA PRESENCIA DE SUMIDEROS DE GAS EN EL
CARIBE COLOMBIANO**

MARÍA ISABEL AGUILAR PÉREZ

Trabajo de grado para optar al título de:
Magíster en Gestión Tecnológica

Director:

PhD. Paula Andrea Zapata Ramírez
Biólogo Marino

Asesor:

PhD. Diana Patricia Giraldo Ramírez
Ingeniera Agroindustrial

POSGRADOS EN GESTIÓN DE LA TECNOLOGÍA Y LA INNOVACIÓN (GTI.UPB)
MAESTRÍA EN GESTIÓN TECNOLÓGICA

MEDELLÍN

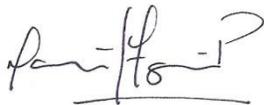
2023

Noviembre 30 de 2023

Maria Isabel Aguilar Pérez

“Declaro que este trabajo de grado no ha sido presentado con anterioridad para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o en cualquiera otra universidad”. Art. 92, párrafo, Régimen Estudiantil de Formación Avanzada.

Firma del autor



A mi mamá, mi todo, mi ejemplo de mujer, quien me enseñó que la posibilidad de realizar un sueño es lo que hace a la vida interesante.
A mi papá, el héroe de todos mis cuentos, el que sabe que las cosas sencillas son las más extraordinarias, lo que solo pueden ver los sabios.

...Los amo

AGRADECIMIENTOS

A las diferentes Instituciones que hicieron este proyecto posible: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación – MinCiencias; Agencia Nacional de Hidrocarburos ANH; Universidad Pontificia Bolivariana – Sede Medellín UPB; Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín; Laboratorio de Geociencias G MAS SAS; GeoMares; Asociación Colombiana De Geólogos y Geofísicos del Petróleo ACGGP; Universidad de Malta.

A Paula Zapata, La Jefa, por haber sido mi apoyo inquebrantable a lo largo de todo este viaje de investigación. Su paciencia y sabiduría han guiado la construcción no solo de este trabajo, sino de mi crecimiento profesional y personal. Gracias por la confianza, el tiempo y principalmente la amistad.

A la profesora Diana Giraldo Ramírez, por su apoyo y sus contribuciones en el momento en que más la necesitaba.

A los increíbles profesionales que estuvieron siempre dispuestos a brindarme su mayor colaboración. Gracias a los Biólogos Maryela Paola Bolaño, Carlos Mario Benítez y Mario Fernando Correal del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - Invemar. Al Geólogo José María Jaramillo del Laboratorio de Geociencias GMas+. A la Bióloga Marino Milena Benavides del Ministerio del Medio Ambiente MinAmbiente.

A los excepcionales profesionales de la Embarcación DP1 SEAWORKER de GeoMares: al Ingeniero Oceánico Darío Robledo, el incansable jefe, al Oceanógrafo John Urrecheaga, a los Ingenieros Topográficos David Herrera y Leonardo Rincón, al Ingeniero de Sistemas Ricardo Flórez, y a todo el valioso equipo de la tripulación en general, cuyo compromiso y trabajo en equipo permitió la extracción de mis anheladas muestras con el Box Corer.

A Catalina Borrero, mi gratitud es infinita, y las palabras no bastarían para enumerar todo lo que le debo. Su inquebrantable apoyo y la inolvidable frase "Yo le firmo" es una razón por la que esta meta se ha hecho realidad.

A los grandes amigos siempre incondicionales Sandrita, Oliver y José Manuel. A los compañeros que se convirtieron en amigos Marleny, Lina, Carlos y Hernando. Y a los amigos que se convirtieron en mi familia en Medellín Jorge y Cielo.

Y a todos los que de una manera u otra hicieron este trabajo realidad... ¡Gracias!

Contenido

1	INTRODUCCIÓN	11
2	PROBLEMA	17
3	PREGUNTA	17
4	HIPÓTESIS	17
5	OBJETIVOS	18
5.1	Objetivo General	18
5.2	Objetivos Específicos	18
6	CAPÍTULO 1 – REVISIÓN DE LITERATURA	18
6.1	Metodología de la Revisión Bibliográfica	18
6.2	Resultados de la Revisión Bibliográfica	19
7	CAPÍTULO 2 – PROTOCOLO METODOLÓGICO	21
7.1	Metodología para la elaboración del Protocolo	21
7.2	Discusión, resultados y elaboración del Protocolo	22
8	CAPÍTULO 3 – CARACTERIZACIÓN Y ASOCIACIÓN DE LAS COMUNIDADES MACROINFAUNALES	41
8.1	Metodología para la caracterización y la correlación de la macroinfauna	41
8.1.1	Área de estudio	41
8.1.2	Fase de Campo	43
8.1.3	Fase de Laboratorio	44
8.1.4	Tratamiento de la Información	44
8.2	Resultados y Discusión de la caracterización y la correlación de la macroinfauna	46
8.2.1	Estructura de la Comunidad	46
8.2.1.1	Atributos Ecológicos	46
8.2.1.2	Índices Ecológicos	54
8.2.1.3	Variación espacial	54
8.2.2	Correlación de la comunidad con las variables ambientales	59
9	CONCLUSIONES	64
10	RECOMENDACIONES	66
11	REFERENCIAS	67
12	ANEXOS	77

Lista de Figuras

Figura 1. Imagen arrojada por la herramienta web “Connected Papers”, mostrando las relaciones existentes entre el artículo: Hydrothermal Vents and Methane Seeps: Rethinking the Sphere of Influence y otras investigaciones.	19
Figura 2. Equipo tipo Blue ROV y ficha técnica utilizado en la visualización de la zona en las diferentes estaciones muestreadas.	22
Figura 3. Contribución porcentual de las diferentes metodologías usadas en las investigaciones analizadas en la revisión bibliográfica. En la categoría “Otros” se incluyen las metodologías con un aporte menor al 1% como: Seismic reflection sections y sonógrafo GLORIA; análisis filogenéticos, etc.	23
Figura 4. Imagen de la estación MSH15 con la presencia de una Laja a 73 m de profundidad.	25
Figura 5. Mapa de ubicación general de la Cuenca Sinú-San Jacinto con el Área de interés y la ubicación detallada de cada una de las estaciones muestreadas.	42
Figura 6. Proceso metodológico en campo para la extracción y manejo de las muestras de sedimento. a. Extracción del sedimento con Box Corer; b. Verificación y recolección del área mínima de muestreo; c. Fijación de las muestras y d. Proceso de tamizaje de las muestras.	43
Figura 7. Fase de laboratorio. a. Proceso de lavado y eliminación de los residuos del fijador y las fracciones más finas del sedimento; b. Separación de la macroinfauna en grupos taxonómicos y c. Identificación hasta familia de cada uno de los phyla mayores.	44
Figura 8. Contribución por phylum a la composición y densidad de la comunidad macroinfaunal asociada a filtraciones de metano, asentada en los fondos blandos de la cuenca costa afuera del Sinú, Moñitos – Córdoba, frente al Golfo de Morrosquillo.	47
Figura 9. Contribución por familias a la densidad de la comunidad macroinfaunal asociada a filtraciones de metano, asentada en los fondos blandos de la cuenca costa afuera del Sinú, Moñitos – Córdoba, frente al Golfo de Morrosquillo.	48
Figura 10. Contribución de la composición y densidad de la comunidad macroinfaunal asociada a filtraciones de metano, en cada estación asentada en los fondos blandos de la cuenca costa afuera del Sinú, Moñitos – Córdoba, frente al Golfo de Morrosquillo.	50
Figura 11. Imágenes tomadas por el ROV (A) y el Perfil Hidroacústico (B) de la Estación MSH10 en los fondos blandos de la cuenca costa afuera del Sinú, Moñitos – Córdoba, frente al Golfo de Morrosquillo. La flecha blanca señala como se visualizan los *Pockmarks.	51
Figura 12. Contribución por phylum a la composición y densidad de la estación MSH10 en los fondos blandos asociados a filtraciones de metano de la cuenca costa afuera del Sinú, Moñitos – Córdoba, frente al Golfo de Morrosquillo.	52
Figura 13. Contribución por familias a la densidad de la estación MSH10 en los fondos blandos asociados a filtraciones de metano de la cuenca costa afuera del Sinú, Moñitos – Córdoba, frente al Golfo de Morrosquillo.	53

Figura 14. Descriptores comunitarios: Riqueza de Margalef (d), diversidad de Shannon-Weaver H' (log2) y uniformidad de Pielou (J'), de la macroinfauna encontrada. 54

Figura 15. Análisis de clasificación y ordenación de la macroinfauna asociada a filtraciones de metano, asentada en los fondos blandos de la cuenca costa afuera del Sinú, Moñitos – Córdoba, frente al Golfo de Morrosquillo. 55

Figura 16. Matriz de Correlación de Pearson con las variables: Profundidad (Pro), Salinidad (Sal), Temperatura (T°C), Oxígeno Disuelto (OD), pH, Riqueza (Riq), Abundancia (Abu), Riqueza de Margalef (d), Diversidad de Shannon-Weaver (H'), Uniformidad de Pielou (J'), Metano en ppm (Met), Sumatorio de los Hidrocarburos en ppm (SumHi), Porcentaje de Lodos (%Lod), Porcentaje de Arenas (%Are), Abundancia de Ampeliscidae (A_Amp), Abundancia de Syllidae (Ab_Syll), Abundancia de Maldanidae (Ab_Mald), Abundancia de Pilargidae (Ab_Pila), Abundancia de Lumbrineridae (Ab_Lumb) y Abundancia de Ampharetidae (Ab_Amph). 60

Figura 17. Familias representativas en abundancia de la macroinfauna bentónica asociada a las filtraciones de metano en los fondos blandos de la cuenca costa afuera del Sinú, Moñitos – Córdoba, frente al Golfo de Morrosquillo. A. Syllidae; B. Cirratulida; C. Lumbrineridae; D. Pilargidae; E. Maldanidae; F. Ampeliscidae; G. Serolidae; H. Ampharetidae 64

Lista de Tablas

- Tabla 1.** Descriptores de la efectividad del Box Corer en cada estación mostrando profundidad, No. de lances, No. de individuos y de familias extraídas. 24
- Tabla 2.** ANOSIM a una vía para los diferentes grupos formados en el análisis de clasificación y ordenación: Grupo 1, Grupo 2 y Grupo 3, en los fondos blandos asociados a filtraciones de metano de la cuenca costa afuera del Sinú, Moñitos – Córdoba, frente al Golfo de Morrosquillo..... 56
- Tabla 3.** Resultados del análisis SIMPER entre los diferentes grupos formados en el análisis de clasificación y ordenación: Grupo **1 y 2**. Se exponen las familias en orden decreciente de contribución a la disimilaridad promedio (Dis-Prom), hasta el acumulado que muestre el promedio de disimilaridad de cada análisis. Dis/SD, cociente Simper entre disimilaridad promedio y desviación estándar; %Dis, porcentaje de disimilaridad..... 56
- Tabla 4.** Resultados del análisis SIMPER entre los diferentes grupos formados en el análisis de clasificación y ordenación: Grupo **1 y 3**. Se exponen las familias en orden decreciente de contribución a la disimilaridad promedio (Dis-Prom), hasta el acumulado que muestre el promedio de disimilaridad de cada análisis. Dis/SD, cociente Simper entre disimilaridad promedio y desviación estándar; %Dis, porcentaje de disimilaridad..... 57
- Tabla 5.** Resultados del análisis SIMPER entre los diferentes grupos formados en el análisis de clasificación y ordenación: Grupo **2 y 3**. Se exponen las familias en orden decreciente de contribución a la disimilaridad promedio (Dis-Prom), hasta el acumulado que muestre el promedio de disimilaridad de cada análisis. Dis/SD, cociente Simper entre disimilaridad promedio y desviación estándar; %Dis, porcentaje de disimilaridad..... 58
- Tabla 6.** Análisis BIO-ENV entre las variables ambientales y la información de la comunidad macroinfaunal asentada en los fondos blandos de la cuenca costa afuera del Sinú, Moñitos – Córdoba, frente al Golfo de Morrosquillo; mediante el coeficiente de correlación armónico por rangos de Spearman Rho: 0,788. Se muestran los mejores 10 resultados y la relación con el metano en el ranking 34. 60

Lista de Anexos

- Anexo 1.** Información sobre el año, área, muestreador y análisis, de cada una de las investigaciones examinadas, asociadas con comunidades biológicas en filtraciones de metano..... 77
- Anexo 2.** Abundancia por Phyla de la macroinfauna asentada en los fondos blandos asociados a filtraciones de metano de la cuenca costa afuera del Sinú, Moñitos – Córdoba, frente al Golfo de Morrosquillo 83
- Anexo 3.** Distribución de los datos de abundancia, según la prueba de umbrales de la Ley de Taylor, de la comunidad macroinfaunal asociada a filtraciones de metano, asentada en los fondos blandos de la cuenca costa afuera del Sinú, Moñitos – Córdoba, frente al Golfo de Morrosquillo. 87
- Anexo 4.** Variables ambientales utilizadas para la correlación de la macroinfauna asociada a filtraciones de metano, asentada en los fondos blandos de la cuenca costa afuera del Sinú, Moñitos – Córdoba, frente al Golfo de Morrosquillo. Profundidad en metros (Pro), Salinidad en ppm (Sal), Temperatura (T°C), Oxígeno Disuelto en ppm (OD), pH, Metano en ppm (Met), Sumatoria de Hidrocarburos en ppm (SumHi), Porcentaje de Lodos (%Lod) y Porcentaje de Arenas (%Are). 87
- Anexo 5.** Clasificación taxonómica de la macroinfauna asentada en los fondos blandos asociados a filtraciones de metano, de la cuenca costa afuera del Sinú, Moñitos – Córdoba, frente al Golfo de Morrosquillo. 88

Resumen

Inglés

The identification of hydrocarbon reservoirs in the seabed relies on expensive methodologies such as drilling and seismic reflection profiling. The development of new approaches that can lower operational costs may provide a competitive advantage to oil exploration companies. Hydrocarbon seeps can serve as indicators of oil and gas reservoirs, as well as the presence of macrofauna. For this reason, technology was employed to assess the relationship between the structure of the soft-bottom macroinfaunal community and its association with methane seeps on the continental shelf of the offshore Sinú Basin, Moñitos – Córdoba, facing the Gulf of Morrosquillo, at depths ranging from 48 to 166 meters. To do this, 19 sediment samples were taken using a Box Corer. The results indicate high associations of the macroinfaunal community in relation to the types of sediments present (muddy sediments with mud percentages between 93 and 99% and sandy muds and muddy sands that range between 40 and 55%), with a correlation index strong of 0.788. Additionally, a moderately strong correlation (0.67) of the macroinfauna is revealed in relation to the presence of methane, indicating a direct relationship between the presence of the gas and the organisms studied. The results of this work provide baseline information for: I) Updating the state of the art regarding the presence of methane seeps in the Western Atlantic, with a focus on Colombia and the Caribbean. II) Generating new insights into the biodiversity of these environments in the country and its relationship with the presence of methane. III) Managing technology with best practices, offering a protocol known for its high level of rigor, clarity, and replicability.

Keywords: methane seeps, macroinfauna, soft sediments, Box Corer.

Español

La identificación de sumideros de hidrocarburos en el subsuelo marino se basa en metodologías costosas como la perforación y el perfilado de reflexión sísmica. El desarrollo de nuevos enfoques que puedan reducir los costos de operación, puede dar una ventaja competitiva a las empresas de exploración petrolera. Las filtraciones de hidrocarburos pueden ser un indicador de la presencia de yacimientos de petróleo y gas, así como la presencia de macrofauna. Por esta razón, se gestionó tecnología que permitió evaluar la relación de la estructura de la comunidad macroinfaunal de fondos blandos y su asociación con las filtraciones de metano en la plataforma continental de la cuenca costa afuera del Sinú, Moñitos – Córdoba, frente al Golfo de Morrosquillo, a profundidades entre los 48 y 166 metros. Para ello se tomaron 19 muestras de sedimentos empleando un Box Corer. Los resultados indican altas asociaciones de la comunidad macroinfaunal en relación con los tipos de sedimentos presentes (Sedimentos lodosos con porcentajes de lodo entre 93 y 99% y lodos arenosos y arenas lodosas que oscilan ente l 40 y 55%), con un índice de correlación fuerte de 0,788. Adicionalmente, se revela una correlación moderadamente fuerte (0,67) de la macroinfauna en relación con la presencia de metano, indicando una relación directa entre la presencia del gas y los organismos estudiados. Los resultados de este trabajo proporcionan información de línea base para: I) actualizar el estado del arte de la presencia de filtraciones de metano en el Atlántico Occidental

con un enfoque en Colombia y el Caribe; II) generar nuevo conocimiento de la biodiversidad de estos ambientes en el país y su relación con la presencia del metano y III) Gestionar tecnología con buenas prácticas, proporcionando un protocolo que se destaca por su elevado nivel de rigurosidad, claridad y capacidad de replicación.

Palabras clave: filtraciones de metano, macroinfauna, fondos blandos, Box Corer.

1 Introducción

Desde la década de los 70, Colombia ha venido realizando esfuerzos significativos para desarrollar programas de ciencia y tecnología orientados hacia el progreso del país. El objetivo principal de estos esfuerzos, es emplear los resultados de la investigación científica en la toma de decisiones informadas relacionadas con los océanos y sus recursos, contribuyendo así al desarrollo sostenible de la nación¹. En la actualidad, en el contexto de América Latina y el Caribe, se han formulado más de 80 disposiciones que abordan conceptos relacionados con la investigación científica marina, el desarrollo y la transferencia de tecnología marina, y otros aspectos que se vinculan con las condiciones científicas o técnicas de los asuntos oceánicos. Estas disposiciones se fundamentan en los criterios establecidos por la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) en 1994 y en la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CONVEMAR) (United Nations Convention on the Law of the Sea - UNCLOS) (Artigas y Escobar, 2001).

Gracias al avance de la tecnología, que ha impulsado la investigación científica en el ámbito de los océanos, se ha logrado un mayor entendimiento de la naturaleza de estos y su conexión con los seres humanos. Este progreso tecnológico incluye desarrollos como nuevos materiales, miniaturización de equipos, técnicas acústicas, sonares, sensores conectados a satélites, computadoras y tecnología láser, entre otros (Artigas y Escobar, 2001).

Este avance nos ha permitido adentrarnos en el estudio de aspectos como los fondos marinos, las filtraciones hidrotermales, las placas tectónicas y las complejas interacciones entre los océanos y la atmósfera. No obstante, entidades como la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y la Comisión Mundial Independiente sobre los Océanos (IWCO) señalan, que la ciencia marina está evolucionando hacia una perspectiva más holística e interdisciplinaria. En este contexto, estas organizaciones recomiendan que la ciencia y tecnología marina se orienten de manera significativa hacia la utilización del potencial de los océanos para satisfacer necesidades básicas de la humanidad.

Las Filtraciones de metano o filtraciones frías (Cold seeps), son áreas en el fondo oceánico donde se escapan desde debajo del suelo marino por medio de grietas o fisuras, metano, sulfuro de hidrógeno y otros fluidos ricos en hidrocarburos². Las filtraciones frías también se conocen como filtraciones de hidrocarburos, filtraciones de metano, filtraciones marinas o simplemente filtraciones³. Estas áreas hoy en día se consideran uno de los grandes descubrimientos científicos de las últimas décadas (Paull *et al.*, 1984). Un elemento crucial para la existencia en las profundidades marinas se basa en la energía quimiosintética y los fluidos liberados en filtraciones frías de metano y respiraderos hidrotermales. En estos entornos, los microorganismos utilizan sulfuro o metano como fuente de energía para la producción primaria, lo que da lugar a ecosistemas similares a oasis con una abundante biomasa de animales (Levin y Michener, 2002; Levin, 2005; Cordes *et al.*, 2010; Levin *et al.*, 2012; Sapir *et al.*, 2014).

¹ <http://repositorio.colciencias.gov.co:8080/handle/11146/169>

² <https://oceanexplorer.noaa.gov/edu/themes/cold-seeps/>

³ <https://oceanexplorer.noaa.gov/edu/materials/what-are-cold-seeps-fact-sheet.pdf>

Las filtraciones frías enriquecen la heterogeneidad ambiental al mantener una comunidad especializada compuesta por especies que tienen relaciones simbióticas con quimioautótrofos. Estas comunidades influyen en la diversidad al proporcionar sustrato, alimento, refugio y un entorno propicio para diversas interacciones bióticas (Levin, 2005). Aunque se ha confirmado la existencia de filtraciones frías en los márgenes continentales de todo el mundo, las diferencias en la composición de las comunidades de filtraciones en diversas regiones, incluido el Caribe, aún no se comprenden completamente (Bowden *et al.*, 2013). Un desafío clave al tratar de entender la diversidad de organismos en estos entornos extremos de aguas profundas es comprender cómo se desarrollan sus comunidades y cuáles son los principales factores que influyen en su colonización (Gracia, 2018).

Levin *et al.* (2016) exhorta a continuar con investigaciones adicionales, ya que, a pesar de contar con una comprensión conceptual básica, todavía existen vacíos en el entendimiento de las relaciones genéticas entre filtraciones inactivas, respiraderos hidrotermales y sus comunidades biológicas asociadas. También señalan que hay áreas donde simplemente no se dispone de datos, o donde el conocimiento existente se basa en observaciones anecdóticas no cuantitativas.

Las exploraciones oceánicas constituyen un campo científico emergente que constantemente genera información revolucionaria, transformando el entendimiento de este vasto entorno. En 1964, se produjo un hito significativo con el lanzamiento del sumergible Alvin, una máquina pionera que permitió a los investigadores alcanzar las profundidades del océano y realizar uno de los descubrimientos más destacados del siglo pasado: las filtraciones frías (cold seeps) y las fuentes hidrotermales (hydrothermal vents). Estos sitios revelaron la existencia de vida en entornos desprovistos de luz⁴. Durante las últimas tres décadas, la investigación en torno a estos ecosistemas ha persistido con el uso continuo de este vehículo remoto. Más del 50% de los datos utilizados en esta investigación sobre el Atlántico occidental se obtuvieron a través de esta valiosa metodología (Brooks *et al.*, 1987; Cordes *et al.*, 2007; Brothers *et al.*, 2013; Amon *et al.*, 2017). No obstante, es evidente que numerosos investigadores plantean la imperante necesidad de llevar a cabo investigaciones empleando muestreadores de distinto tipo, ya que la cantidad de estudios disponibles resulta insuficiente para dar respuesta a numerosas interrogantes suscitadas en el ámbito de las filtraciones y en los ecosistemas de reducción en general (Levin, 2005; Levin *et al.*, 2016; Thaler *et al.*, 2012; Nagano *et al.*, 2010; Zande, 1999; Van Dover y Lichtwardt, 1986).

Los fondos blandos son ecosistemas que se caracterizan por la acumulación de partículas sedimentarias en un sustrato inestable y con una topografía de baja complejidad. Estos ecosistemas representan uno de los sistemas marinos más extensos del planeta y desempeñan un papel fundamental al proporcionar hábitat, alimento y refugio a una diversidad de organismos conocidos como el bentos⁵.

Los organismos bentónicos que habitan los fondos blandos se dividen en categorías según diferentes criterios: I) su tamaño, clasificándolos en megafauna, macrofauna, meiofauna y microfauna (Macdonald *et al.*, 2010); II) su estilo de vida, siendo sésiles (permanecen fijos al sustrato) o móviles (capaces de desplazarse pero manteniendo contacto con el lecho marino) (Guzmán-Alvis *et al.*, 2001); y III) su ubicación en el sedimento, dividiéndolos en hiperbentos

⁴ <https://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/10chile/background/exploration/exploration-es.html>

⁵ <https://observatorio.coralina.gov.co/index.php/es/publicaciones/item/446-que-son-los-fondos-blandos-y-arenosos>

(organismos con habilidades natatorias que dependen del fondo marino), epifauna (organismos fijos o móviles que se asientan en la superficie del lecho marino) e infauna (organismos que se encuentran en la interfaz entre el agua y el sedimento) (Duplisea y Hargrave, 1996). Esta clasificación vincula el valor ecológico de estos organismos con su tamaño, lo que les permite aprovechar y explotar diferentes recursos, nichos y biomas en el entorno bentónico (Duplisea y Hargrave, 1996).

La comunidad macroinfaunal, cuyos miembros oscilan en tamaño entre 500 μm y 1 mm, exhibe una notable diversidad de especies pertenecientes a diversos phyla. Entre los taxa más abundantes se encuentran la clase Polychaeta del phylum Annelida, el subphylum Crustacea del phylum Arthropoda, y los phyla Echinodermata y Mollusca. Además, se registran la presencia de los phyla Sipuncula, Nemertea y Nematoda (Guzmán-Alvis *et al.*, 2001).

La estructura de esta comunidad desempeña un papel fundamental como indicador del estado de los ecosistemas marinos bentónicos. Por esta razón, se ha utilizado ampliamente en programas de monitoreo y evaluación ambiental de tales ecosistemas (Guzmán-Alvis *et al.*, 2001). Estos organismos cumplen la función de bioindicadores debido a su capacidad de respuesta rápida a las perturbaciones en el sedimento. Esto se debe a su baja movilidad, ciclos de vida prolongados y una amplia tolerancia al estrés. Además, mantienen una estrecha relación con el sedimento, donde puede acumularse material orgánico particulado o sustancias tóxicas (Philippi *et al.*, 1998; Guzmán-Alvis *et al.*, 2001). Asimismo, estos organismos ocupan un lugar importante en la cadena trófica, ya que sirven de alimento para especies comerciales de peces e invertebrados (Steele, 1970; Valiela, 1995).

En el Golfo de Morrosquillo, se han realizado varios estudios sobre comunidades de fondos blandos. Un inventario de la fauna asociada a fondos lodosos en la plataforma continental a profundidades de 10 a 50 metros fue llevado a cabo por Bayer *et al.* (1970). Rodríguez (1982) registró la presencia de crustáceos Portúnidos en estaciones ubicadas en Sabanilla, San Juan e Isla Fuerte. Además, Dueñas *et al.* (2006) se enfocaron en el estudio de crustáceos decápodos, incluyendo algunas estaciones en el Golfo de Morrosquillo. Por último, Sánchez-Ramírez *et al.* (2011) llevaron a cabo un monitoreo de la calidad de aguas, sedimentos y comunidades hidrobiológicas en el golfo.

La presente investigación realizada bajo el marco del proyecto: “*Methane seep hunting: A multi-scale and multi method approach*”, pretendió gestionar tecnología para desarrollar una aproximación metodológica, en la evaluación de las comunidades macroinfaunales y su posible relación con la presencia de sumideros de gas en la cuenca costa afuera del Sinú, Moñitos – Córdoba, frente al Golfo de Morrosquillo. Los resultados de la misma, permitieron analizar, con un enfoque estrictamente académico, la estructura de las comunidades que pudieran dar respuesta a esta asociación. Adicionalmente, los resultados de este trabajo proporcionaron información de línea base para: I) la toma de decisiones acertadas respecto a las actividades de exploración de hidrocarburos en la plataforma continental; II) nuevo conocimiento de la biodiversidad de estos ambientes en el país y III) Gestionar tecnología con buenas prácticas.

Los resultados de este Trabajo de Grado se han estructurado en capítulos de la siguiente manera: El Capítulo 1 se enfoca en desarrollar el objetivo específico 1, presentando la metodología usada para recopilar la información que permitió el análisis de esta investigación y la elaboración del artículo “*A Review of Cold Seeps in the Western Atlantic, with a focus on Colombia and the Caribbean*” El Capítulo 2 desarrolla el objetivo específico 2. Acá se presenta la metodología y discusión que condujo a la selección del Box Corer como muestreador principal; y a la posterior elaboración del

“Protocolo de Muestreo, Fijación y Laboratorio para las Comunidades Bentónicas Marinas Extraídas con Box Corer”. Finalmente, el Capítulo 3 desarrolla los objetivos específicos 3 y 4. En este capítulo se aborda la metodología, los resultados y la discusión de la caracterización de la macroinfauna y la correlación de la macroinfauna con las variables ambientales.

GLOSARIO

- Respiradero Hidrotermal:

Fisura en el lecho marino de la cual se descarga agua calentada geotermalmente. Comúnmente se encuentran cerca de lugares volcánicamente activos, áreas donde las placas tectónicas se están separando en centros de expansión, cuencas oceánicas y puntos calientes (Colín *et al.*, 2016).

- Burbujas de Metano:

Enormes cantidades del gas invernadero (metano) se encuentran depositadas en el fondo marino en la forma de los hielos hidratados (gas y agua a gran presión). El impacto del calentamiento global ha incrementado la liberación del gas metano desde el subsuelo marino, esta es tan intensa que el gas no tiene tiempo de disolverse en el agua del mar, aflorando a la superficie en forma de burbujas (Viñas, 2008; Valentine *et al.*, 2010).

- Macroinfauna Bentónica:

Fauna de hábitat de fondos blandos, constituida principalmente por los grupos taxonómicos de crustáceos, poliquetos y moluscos, aunque también se encuentran con menor frecuencia equinodermos, sipuncúlidos y otros grupos (Sanz, 2011).

- Box Corer:

Herramienta de muestreo geológico marino para sedimentos blandos en lagos u océanos. Se despliega desde un barco de investigación con un cable y es adecuado para cualquier profundidad de agua. Está diseñado para una perturbación mínima de la superficie del sedimento por los efectos de las olas de proa, lo cual es importante para las investigaciones cuantitativas de la microfauna bentónica y la macrofauna, los procesos geoquímicos, el muestreo del agua del fondo o la sedimentología (Boland y Rowe, 1991).

- Banco de Mejillones:

Grupo de mejillones de aguas profundas, por lo general del género *Bathymodiolus*, dominantes de los ecosistemas quimiosintéticos tanto en fumarolas calientes como frías, es decir, alimentándose de la síntesis de los productos químicos emanados naturalmente del subsuelo marino como el metano y sin la presencia de luz (Gracia, 2018).

- Tapetes de Beggiatoa:

Beggiatoa es un género de bacterias del orden de Thiotrichales, viven en entornos ricos en azufre, con la capacidad de unirse y fijarse a superficies formando tapetes microbianos. Estos son asociados a zonas con fumarolas hidrotermales profundas (Gallardo *et al.*, 2013).

- Diapiros:

El diapirismo, es el proceso de ascensión de material poco denso a través de rocas suprayacentes más densas que constituirán la roca encajante. Por tanto, un diapiro es un cuerpo rocoso que se ha desplazado hacia arriba atravesando los estratos suprayacentes o cobertera (Olu *et al.*, 1996; Román y Otín, 2012).

- Prisma de Acreción:

Gran acumulación de sedimentos deformados que se acumulan en forma de cuña en una zona de subducción en un borde convergente de placas tectónicas (Olu *et al.*, 1997).

- Piscinas de Salmueras o Brine Pool:

Masas de agua densa que tiene salinidad de tres a ocho veces mayor que la del océano circundante, estas se acumulan en depresiones de lecho marino. La salmuera a menudo contiene altas concentraciones de sulfuro de hidrógeno y metano, que proporcionan energía a los organismos quimiosintéticos que viven cerca de la piscina (Smith *et al.*, 2000; Gracia, 2018).

- Quimiosíntesis:

Este proceso consiste en que una o más moléculas de carbono (generalmente dióxido de carbono o metano, CH₄) y nutrientes se convierten en materia orgánica, utilizando la oxidación de moléculas inorgánicas (como gas hidrógeno, sulfuro de hidrógeno (H₂S) o amoníaco (NH₃)) o metano como fuente de energía, en lugar de luz solar. En la quimiosíntesis de sulfuro de hidrógeno, en presencia de dióxido de carbono y oxígeno, se pueden producir carbohidratos (CH₂O)⁶.

2 Problema

La plataforma continental del Caribe colombiano, debido a su configuración geológica, alberga flujos de fluidos del fondo marino en forma de diapiros de lodo, volcanes de lodo y filtraciones de metano (Sánchez y Permanyer, 2006; Gracia *et al.*, 2012; Cortés *et al.*, 2018), estas filtraciones pueden ser un indicador de la presencia de yacimientos de petróleo y gas, y como resultado, el estudio de los campos de filtración de metano se ha convertido en una herramienta de exploración muy importante.

Actualmente, la identificación de yacimientos de petróleo y gas en el subsuelo se basa en metodologías costosas y que requieren mucho tiempo, como la perforación y el perfilado de reflexión sísmica⁷, haciendo que el desarrollo de nuevos enfoques metodológicos sea primordial para reducir este tiempo y gasto, y a su vez otorgarle a la industria de exploración petrolera una ventaja competitiva, que a su vez apoye prácticas más sostenibles en la industria de la exploración.

En Colombia se han realizado varios descubrimientos, como los campos gigantes de gas de Chuchupa y Ballena en 1973, donde en la actualidad tan solo existen dos plataformas marítimas, Chuchupa A y Chuchupa B, en la costa afuera de La Guajira, de las que se extrae gas natural y que pertenecen a la alianza entre Ecopetrol y Chevron⁸. Algunos nuevos hallazgos han sido informados recientemente como el pozo Uchuva-1 y el bloque Gorgón-2⁹. Pero la realidad es que los campos de filtración de hidrocarburos (relacionados con presencia de yacimientos de petróleo y gas) que ocurren en la plataforma continental del Caribe colombiano, no han sido estudiados en detalle.

Con la exploración de esta nueva aproximación metodológica, no solo se podrá identificar la fauna existente en las filtraciones de metano y su relación de su presencia/ausencia en el fondo marino en el área de estudio del presente proyecto, sino posiblemente establecer una metodología innovadora para encontrar otros depósitos similares en los mares colombianos y comprender el potencial de otros campos de filtración.

3 Pregunta

¿La metodología basada en buscar asociaciones macroinfaunales que habitan en las filtraciones de metano, con la presencia de sumideros de hidrocarburos en el subsuelo del cinturón plegado de Sinú en el mar Caribe colombiano, muestra relaciones directas con la presencia de algunos taxones?

4 Hipótesis

⁷ <https://geotecniaymecanicasuelosabc.com/reflexion-sismica/>

⁸ <https://www.larepublica.co/economia/en-el-mar-colombiano-se-empezaran-a-realizar-las-operaciones-petroleras-2026177>

⁹ <https://www.portafolio.co/economia/finanzas/se-ha-encontrado-gas-en-dos-pozos-del-offshore-en-15-dias-569424>

La metodología basada en buscar asociaciones macroinfaunales que habitan en las filtraciones de metano, con la presencia de sumideros de hidrocarburos en el subsuelo del cinturón plegado de Sinú en el mar Caribe colombiano, muestran una relación directa con la presencia de algunos taxones recolectados.

5 Objetivos

5.1 Objetivo General

Desarrollar una aproximación metodológica para la evaluación de las comunidades macroinfaunales y su posible relación con la presencia de sumideros de gas en el caribe colombiano.

5.2 Objetivos Específicos

1. Realizar una revisión de la literatura especializada, de las metodologías empleadas en el análisis de las comunidades macroinfaunales bentónicas asociadas a las filtraciones de metano.
2. Diseñar un protocolo metodológico sobre la extracción, manejo y análisis de muestras de macrofauna asociadas a las filtraciones de metano extraídas con Box Corer.
3. Caracterizar las comunidades macroinfaunales bentónicas asociadas a las filtraciones de metano del cinturón plegado de Sinú.
4. Comprobar la asociación de las comunidades macroinfaunales con la posible presencia de gas y los factores medioambientales (químicos y físicos) de la zona de extracción de las muestras.

6 Capítulo 1 – Revisión de Literatura

Realizar una revisión de la literatura especializada, de las metodologías empleadas en el análisis de las comunidades macroinfaunales bentónicas asociadas a las filtraciones de metano.

6.1 Metodología de la Revisión Bibliográfica

Con el fin de obtener la información más relevante para esta investigación, se realizó un barrido general con la siguiente ecuación de búsqueda: ("Methane seep*" OR Cold seep* OR Seepage*) AND (Macrofauna) AND (Atlantic OR Caribbean), en bases de datos bibliográficas como: Scopus, Science Direct y Google Académico. Adicionalmente, gracias a estas búsquedas, uno de los primeros estudios hallados fue el escrito por Levin *et al.* (2016) titulado *Hydrothermal Vents and Methane Seeps: Rethinking the Sphere of Influence*, artículo que intenta sintetizar el conocimiento existente de la naturaleza, alcance, escalas de tiempo y espacio de las interacciones de ventilación y filtración con los sistemas de fondo. Por su contenido tan completo y con la ayuda de la herramienta web gratuita "Connected Papers", se decidió utilizarlo para visualizar otras investigaciones relacionadas directa o indirectamente con este estudio, facilitando con esto el proceso de exploración. La

herramienta web funciona clasificando los artículos según el grado de similitud con ese primer artículo y luego genera una imagen utilizando la métrica de similitud estándar de citas y acoplamiento bibliográfico¹⁰. Este proceso se continuó realizando, teniendo en cuenta, lo pertinente del tema, la localidad en que se realizaron los estudios, nodos y líneas de conexiones. No hubo restricción de período de tiempo para obtener un horizonte más amplio de análisis (Figura 1).

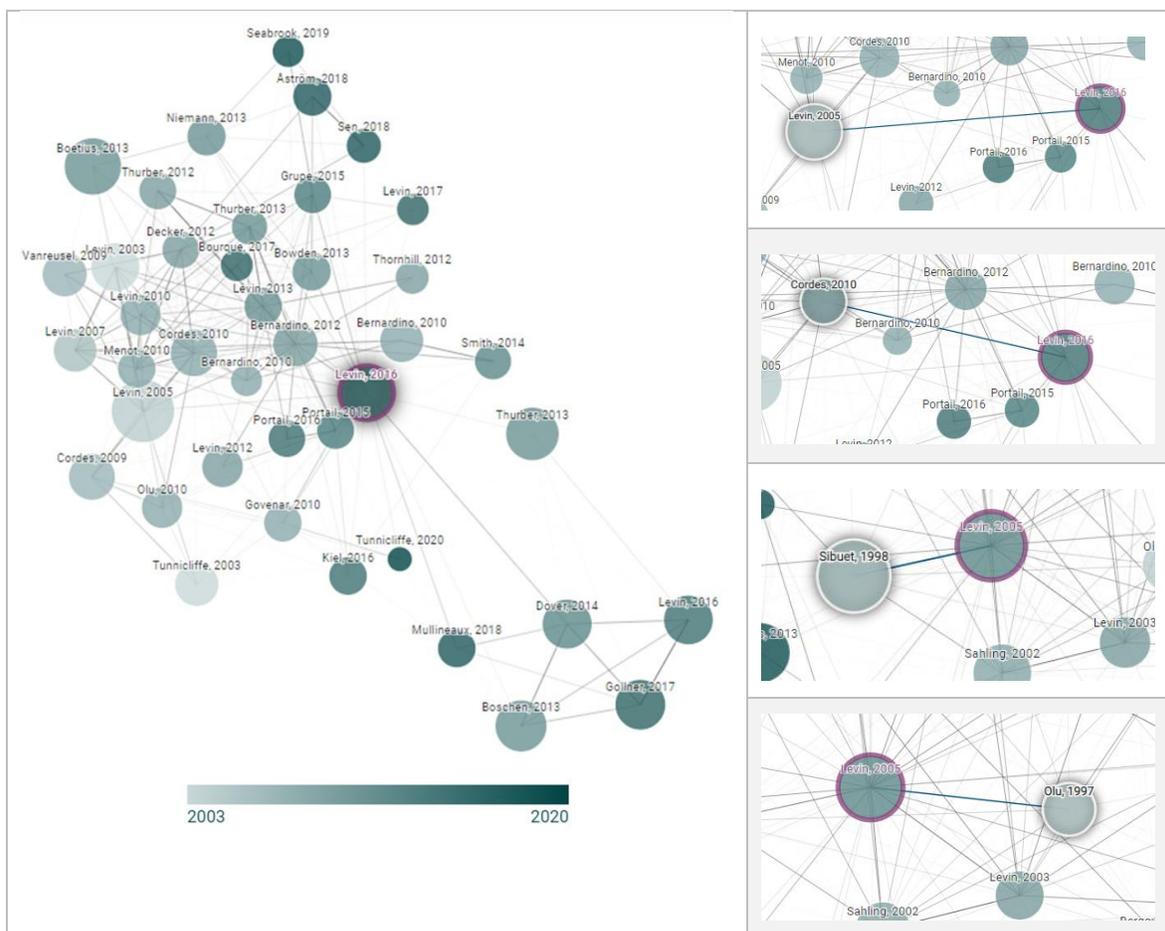


Figura 1. Imagen arrojada por la herramienta web “Connected Papers”, mostrando las relaciones existentes entre el artículo: Hydrothermal Vents and Methane Seeps: Rethinking the Sphere of Influence y otras investigaciones.

6.2 Resultados de la Revisión Bibliográfica

Como resultado de la extensa revisión bibliográfica realizada, se pudo elaborar el siguiente artículo:

Título:

“A Review of Cold Seeps in the Western Atlantic, with a focus on Colombia and the Caribbean”

Autores:

¹⁰ URL: <https://www.connectedpapers.com/>; La base de datos está conectada al Semantic Scholar Paper Corpus (con licencia ODC-BY).

- Maria Isabel Aguilar Pérez: Biólogo Marino, estudiante de Maestría en el programa de Gestión Tecnológica de la Universidad Pontificia Bolivariana-Medellín.
- Paula Andrea Zapata Ramirez: Biólogo Marino, MSc en Marine Geoscience y PhD en Marine Spatial Planning.
- Aaron Micallef: BA (Hons) Geography, MSc Environmental Geomorphology, PhD Marine Geology & Geophysics

Sometido:

Marine Geology – Q1

Abstract

Areas of the seafloor enriched with seeping fluids house unique chemosynthetic communities, and their interactions not only have a direct impact on global geochemical cycles but are also linked to the presence of oil and gas resources. These ecosystems can be found in diverse geological settings, spanning from passive to active continental margins, and encompassing environments such as mid-ocean ridges, seamounts, cold brine lakes, mud volcanoes, and carbonate pinnacles, among others. This review aims to comprehensively examine seep environments in Colombia, the Caribbean, and the Western Atlantic, with a focus on understanding: I) their nature and origin, II) their associated seabed characteristics, III) the communities directly connected to them, and IV) the chemistry and flow of the emitted fluids.

Seeps are closely linked to various geomorphological features, including linear diapir systems, salt diapirs resulting from salt tectonics, regions of volcanism giving rise to mud volcanoes, and compact seafloor mounds, likely associated with buried mud diapirs. Furthermore, the available data regarding fauna within these environments predominantly pertains to megafauna, specifically vestimentiferans, mussels, and vesicomid bivalves.

This review highlights the absence of a consistent consensus among researchers regarding the factors that govern the distribution and presence of fauna in seep environments. Various authors have put forth divergent factors that influence seep community structures, with some emphasizing water depth, others the geological environment, and some the relationship with geomorphological conditions and fluid emissions. These findings underscore the need for further research into environmental factors and their roles in the observed distribution, presenting a promising avenue for future investigations.

Keywords:

Cold seeps, diapirs, mud volcanoes, fauna.

Marine Geology

A Review of Cold Seeps in the Western Atlantic, with a focus on Colombia and the Caribbean

--Manuscript Draft--

Manuscript Number:	
Article Type:	Review Article
Keywords:	Cold seeps, diapirs, mud volcanoes, fauna.
Corresponding Author:	Maria Isabel Aguilar Perez Pontifical Bolivarian University COLOMBIA
First Author:	Maria Isabel Aguilar Perez
Order of Authors:	Maria Isabel Aguilar Perez Paula Zapata Ramirez Aaron Micallef

7 Capítulo 2 – Protocolo Metodológico

Diseñar un protocolo metodológico sobre la extracción, manejo y análisis de muestras de macrofauna asociadas a las filtraciones de metano extraídas con Box Corer.

En este capítulo se desarrolla la metodología usada para la elaboración del: “PROTOCOLO DE MUESTREO, FIJACIÓN Y LABORATORIO PARA LAS COMUNIDADES BENTÓNICAS MARINAS EXTRAÍDAS CON BOX CORER”. En la sección 9.1 se presenta la metodología que condujo a la selección del Box Corer como muestreador principal de esta investigación. En la sección 9.2 se aborda la discusión y se presentan los resultados que fundamentaron esta elección. Posteriormente, se presenta el protocolo como producto final.

7.1 Metodología para la elaboración del Protocolo

De cada uno de los artículos relacionados con fauna asociada a filtraciones, filtraciones frías o filtraciones de metano, se obtuvo información que incluyó datos como el año de publicación, el título del artículo, el área de estudio, el muestreador y los análisis realizados. El propósito de esta recopilación fue crear tablas que simplificaran el análisis de estos datos. Posteriormente, se organizó y clasificó esta información, con el objetivo de generar un gráfico que permitiera visualizar las contribuciones porcentuales de cada uno de los muestreadores, en las investigaciones llevadas a cabo en la región del Atlántico Occidental, el Caribe y Colombia (Aguilar *et al.*, submitted). Además, se buscó identificar posibles vacíos de información, debido a la falta de implementación de diferentes muestreadores, que pudiesen brindar conocimiento sobre otras comunidades relacionadas con este tipo de ambientes (Anexo 1).

Al identificar el vacío de información acerca de la macroinfauna relacionada con las filtraciones frías, se llegó a la conclusión de que el muestreador más adecuado para llevar a cabo esta investigación sería el "Box Corer".

El Box Corer (Boland and Rowe, 1991), fue escogido como muestreador, ya que este se ha convertido en uno de los muestreadores oceanográficos estándar, debido a su confiabilidad y su gran área de muestreo 0,250 m². Adicionalmente se usa ampliamente en los muestreos de comunidades bentónicas, puesto que está diseñado para penetrar el sedimento más profundamente, lo que permite la obtención de muestras relativamente inalteradas y adecuadas para la evaluación de la macroinfauna. Este puede además ser utilizado en mares agitados y las comparaciones de densidades de macroinfauna que se obtienen, pueden ser comparadas con otros estudios, superando con esto a otros muestreadores cuantitativos de aguas profundas (Hessler y Jumars, 1974; Boland y Rowe, 1991).



Antes del zarpe oficial, se realizaron pruebas del equipo Box Corer en las inmediaciones de la bahía de Cartagena, todo con el fin de determinar la ubicación ideal de este muestreador dentro de la embarcación, calibrar la plomada óptima para la toma de muestras, revisar la resistencia del winche con la muestra ya extraída y abordar cualquier otro obstáculo que pudiera surgir durante los lances en las estaciones.

Con el objeto de examinar la efectividad del Box Corer, se tomaron datos en cada estación de: I) profundidad; II) número de lances; III) hora inicial y final del lance; IV) fecha observaciones. Adicionalmente, cada lance del Box Corer fue precedido por una revisión del área a muestrear con un equipo tipo Blue ROV (Remotely Operated Vehicle), que en español significa vehículo operado remotamente (Figura 2), para así poder comprobar la naturaleza de fondo blando y no dañar el equipo Box Corer al momento de la caída y toma de la muestra.



Ficha Técnica:

- Vídeo HD de 1080p en vivo
- Configuración de propulsor vectorial altamente maniobrable.
- Estable y optimizado para misiones de inspección y de investigación.
- Fácil de usar, interfaz de usuario multiplataforma
- Altamente expandible con tres penetradores de cable libres y puntos de montaje adicionales.
- Clasificación de profundidad estándar de 100 m y hasta 300 m de umbilical disponible.
- 6 propulsores T200 y ESC básicos para una alta relación de empuje a peso.
- Baterías de intercambio rápido para uso durante todo el día.

Figura 2. Equipo tipo Blue ROV y ficha técnica utilizado en la visualización de la zona en las diferentes estaciones muestreadas.

7.2 Discusión, resultados y elaboración del Protocolo

La información tabulada sobre los muestreadores y uso investigativo que se le dio, muestra que más del 50% de las investigaciones usan algún tipo de vehículo sumergible tipo ROV/AUV o ALVIN (Olu *et al.*, 1996; Gracia, 2012; Olu *et al.*, 2007; Toone and Washburn, 2020). Esto tal vez por la facilidad que proporciona este muestreador, para identificar los recursos oceánicos, que requieren estudios científicos detallados en áreas locales, que puedan proporcionar información totalmente nueva que revele completamente la esencia de los fenómenos suboceánicos (Sagalevich, 2018; Zhang *et al.*, 2019).

Estos sumergibles que pueden llegar a aguas muy profundas permiten explorar características geológicas y biológicas; recursos oceánicos, entre muchos otros, de manera in situ, en profundidades abismales inexploradas de los océanos (Chowdhury *et al.*, 2022). Para este caso es importante mencionar que ALVIN, el cual es el vehículo de exploración de aguas profundas más famoso del mundo, y uno de los más utilizados por los investigadores citados en esta revisión, fue el primero en permitir a los científicos estadounidenses llevar a cabo una exploración revolucionaria de las profundidades marinas, donde uno de los descubrimientos más notables fue las fuentes

hidrotermales y la extraña vida marina que allí habita y que hoy en día es considerada una pista sobre el origen de la vida en la Tierra (Zhang *et al.*, 2019).

En menor medida, los estudios encontrados utilizaron: I) Material custodiado en Museos de Historia Natural; II) análisis de imágenes; entre otros. El uso de Box Corer, el cual compete en esta investigación, solo se empleó en dos investigaciones realizadas en el Golfo de México (GoM) (Thaler y colaboradores en el 2012 y Demopoulos colaboradores en el año 2018), con el objetivo de examinar la estructura comunitaria de la macroinfauna y las características ambientales en los sitios de filtración (Figura 3).

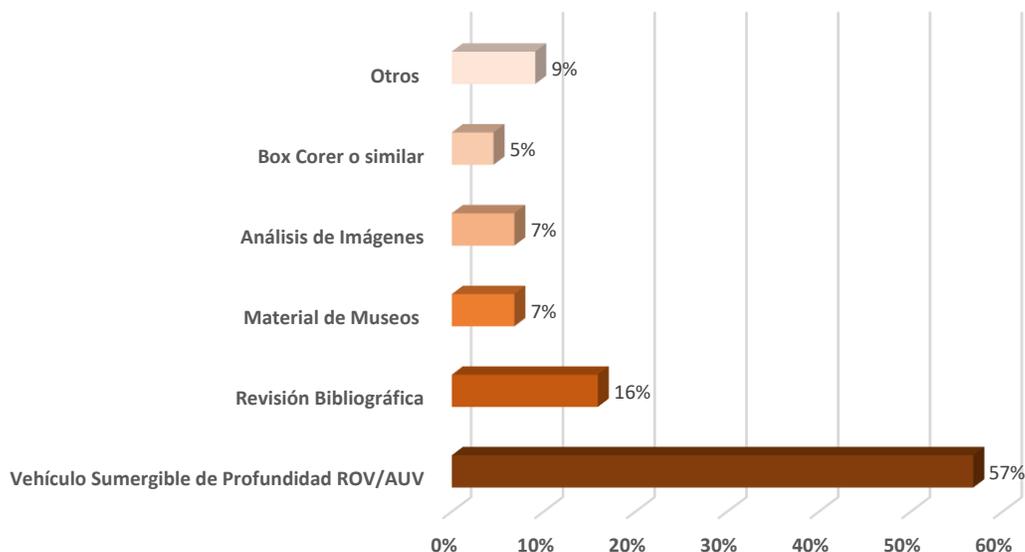


Figura 3. Contribución porcentual de las diferentes metodologías usadas en las investigaciones analizadas en la revisión bibliográfica. En la categoría “Otros” se incluyen las metodologías con un aporte menor al 1% como: Seismic reflection sections y sonógrafo GLORIA; análisis filogenéticos, etc.

Esta revisión mostró que muchos de los investigadores analizados, expresan la necesidad de realizar estudios con otro tipo de muestreadores, pues no existe los suficientes para responder muchas de las preguntas que surgen en torno a las filtraciones y los ecosistemas de reducción en general (Levin, 2005; Levin *et al.*, 2016; Thaler *et al.*, 2012; Nagano *et al.*, 2010; Zande, 1999; Van Dover y Lichtwardt, 1986). Señalando, como los pequeños grupos de crustáceos se pasan relativamente por alto en los estudios de fuentes hidrotermales en aguas profundas y en áreas de filtraciones igualmente activas. Donde los grandes gusanos tubulares vestimentíferos quimiosintéticos o los bivalvos vesicomidos suelen ser los organismos más conspicuos presentes (Toone y Washburn, 2020); Graham, 1999). Es así como Graham (1999), sugiere que una mayor riqueza de tanidáceos (crustáceos) espera ser descubierta en la región profunda del Mar Caribe para evaluar si estos organismos están asociados con filtraciones frías y respiraderos hidrotermales altamente productivos.

Con base en los datos tomados en campo al momento del muestreo, se realizó una tabla mostrando la efectividad del Box Corer (Tabla 1). En esta se muestra el número de lances requeridos para la obtención de la muestra (en donde se pudo extraer), la profundidad de cada estación, la cantidad de individuos y la riqueza obtenida en cada estación. Es importante mencionar como en las

estaciones en donde logró penetrar el Box Corer su efectividad fue del 100%, haciendo que todas estas estaciones logaran ser muestreadas.

Tabla 1. Descriptores de la efectividad del Box Corer en cada estación mostrando profundidad, No. de lances, No. de individuos y de familias extraídas.

Estación	Profundidad (m)	No. de lances	Extracción de Muestra	No. Individuos Extraídos	No. Familias
1	48	1	Si	73	25
2	48	1	Si	43	15
3	48	1	Si	27	13
4	56	1	Si	64	20
5	59	1	Si	33	19
8	62	1	Si	48	21
9	64	1	Si	36	20
10	64	1	Si	233	56
11	69	2	Si	32	18
12	70	1	Si	19	14
13	70	1	Si	137	43
14	77	1	Si	155	50
15	73	6	No	-	-
16	74	2	No	-	-
17	73	1	No	-	-
18	73	3	No	-	-
19	73	2	Si	40	18
20	73	4	Si	79	25
21	84	1	Si	136	42
22	91	1	Si	73	29
23	166	3	Si	20	12
25	74	1	Si	124	35
26	66	1	Si	42	19

Para esta investigación la efectividad del Box Corer fue de un poco más del 79%. Por otro lado, las imágenes del ROV revelaron que las estaciones que no lograron ser muestreadas fue por la geomorfología del área, debido a que las filtraciones estaban sobre lajas de roca sólida, imposibilitando la penetración del muestreador (Figura 4).



Figura 4. Imagen de la estación MSH15 con la presencia de una Laja a 73 m de profundidad.

Con toda la información recolectada se elaboró un protocolo titulado: *“Protocolo de Muestreo, Fijación y Laboratorio para las Comunidades Bentónicas Marinas Extraídas con Box Corer - Sampling, Fixation and Laboratory Protocol for Benthonic Marine Communities Extracted with Box Corer”*, sugiriendo cuáles serían los mejores procedimientos para usar, basados en la experiencia y los métodos ya estandarizados. Para ello, se estructuró el documento en tres capítulos que abarcan los procedimientos del manejo del equipo, la fijación de muestras en campo y el procesamiento de las muestras en el laboratorio. Además, cada capítulo describe materiales, procedimientos y recomendaciones.

PROTOCOLO DE MUESTREO, FIJACIÓN Y LABORATORIO PARA LAS COMUNIDADES BENTÓNICAS MARINAS EXTRAÍDAS CON BOX CORER SAMPLING, FIXATION AND LABORATORY PROTOCOL FOR BENTHONIC MARINE COMMUNITIES EXTRACTED WITH BOX CORER

1. INTRODUCCIÓN - INTRODUCTION

Los fondos blandos son sistemas ecológicos formados por la acumulación de partículas sedimentarias como arena, arcilla, cieno y limo, en un sustrato que carece de estabilidad y presenta una topografía de baja complejidad. Estos ecosistemas abarcan vastas áreas en todo el mundo, desde la zona intermareal hasta profundidades considerables. Además de proporcionar alimento y refugio a numerosos organismos, conocidos como bentónicos, este grupo incluye representantes de todos los phyla del reino animal. Se estima que la cantidad de

especies de animales bentónicos en el mundo supera el millón, lo que supera ampliamente las especies de zooplancton pelágico (alrededor de 5000), peces (<20,000) y mamíferos marinos (aproximadamente 110) (Guzmán-Alvis y Solano, 2002; Lalli y Parsons, 1997).

Soft bottoms are ecosystems formed by the accumulation of sedimentary particles such as sands, clays, silts, and slimes, in an unstable substrate and of low topographic complexity. They constitute one of the most extensive ecosystems on the planet, being found from the highest level of the tide to the great

depths. These also offer food and protection to a large number of organisms, called benthic, a group that is made up of all the phyla of the animal kingdom and they estimate that the number of species of benthic animals in the world is greater than one million, exceeding the pelagic species of zooplankton (around 5000), fish (<20,000) and marine mammals (around 110) (Guzmán-Alvis and Solano, 2002; Lalli and Parsons 1997).

Los organismos bentónicos desempeñan un papel crucial en el reciclaje de materia orgánica y en la transferencia de energía dentro de las redes tróficas pelágicas. Los invertebrados que habitan en fondos blandos, como los poliquetos, crustáceos y moluscos, constituyen la base de la cadena alimentaria que conecta el bentos con numerosas especies de peces demersales (Crisp, 1984; Longhurst y Pauly, 1987). Estas comunidades bentónicas están mayormente compuestas por especies con movilidad limitada, ciclos de vida prolongados y una alta tolerancia al estrés. Debido a su estrecha relación con el sedimento, donde se acumulan materiales orgánicos particulados o sustancias tóxicas, estos organismos responden rápidamente a cambios ambientales, lo que los convierte en indicadores sensibles de perturbaciones, tanto de origen humano como natural. Por lo tanto, el bentos puede proporcionar información valiosa sobre la salud y la estabilidad de un ecosistema, tanto en momentos puntuales como a lo largo del tiempo, lo que lo convierte en una herramienta importante en programas de monitoreo (Belan, 2003). El entendimiento de los factores que influyen en la producción de invertebrados bentónicos es esencial para comprender el funcionamiento de los ecosistemas marinos. La medición de la producción secundaria desempeña un papel fundamental en la dinámica de estos ecosistemas, ya que representa una de las principales rutas de flujo de energía (Waters, 1977, citado en Tumbiolo y Downing, 1994).

La estimación de la producción secundaria proporciona la base para la gestión sostenible de los recursos naturales, ya que es una herramienta clave para evaluar el potencial trófico de los distintos componentes de cada ecosistema (Tumbiolo y Downing, 1994).

Benthic organisms represent an important link in the recycling of organic matter and in the flow of energy in the pelagic food web; This is how soft-bottom invertebrates (polychaetes, crustaceans, and mollusks, among others) form the basis of the energy flow from the benthos to many species in the demersal fish community (Crisp, 1984; Longhurst and Pauly, 1987). These benthic communities are mainly composed of species with low mobility, long life cycles and a wide tolerance to stress, which due to their intimate association with the sediment, where particulate and / or toxic organic material accumulates, respond quickly to environmental disturbances and therefore, they are good indicators of anthropic and natural disturbances. Therefore, benthos can reflect the degree of ecological integrity of a system, both momentarily and seasonally, hence its great utility for the evaluation of local effects in monitoring programs (Belan, 2003). Then, understanding the factors that affect the production of benthic invertebrates is very important for understanding the functioning of marine ecosystems. The measurement of secondary production is fundamental in the dynamics of ecosystems because it is one of the main routes of energy flow (Waters, 1977 in Tumbiolo and Downing, 1994). The estimation of secondary production is the basis for the rational management of natural resources, because it is the first instrument in the evaluation of the trophic potential of the components of each ecosystem (Tumbiolo and Downing, 1994).

La falta de investigaciones en el ecosistema de fondos blandos en las regiones del Caribe y el Pacífico de Colombia se puede atribuir a diversas causas. Estas incluyen la dificultad

para obtener financiamiento, identificar a los grupos de organismos infaunales más comunes como los poliquetos y los peracáridos, la ausencia de centros de investigación especializados en taxonomía y sistemática, la ubicación remota con respecto a los principales centros oceanográficos a nivel mundial y la percepción de que estos entornos carecen de interés científico (INVEMAR, 2005).

The scarcity of studies in the Colombian Caribbean and Pacific on the soft-bottom ecosystem may be due to several reasons, among which are the difficulty of financing, the difficulty in identifying the most abundant groups of infaunal organisms such as polychaetas and peracarids, the lack of research centers specialized in taxonomy and systematics, the remoteness of the great oceanographic centers of the world to the tropics and the unattractiveness of these environments (INVEMAR, 2005).

Es por esta razón, que bajo el marco del proyecto “Methane Seep Hunting: A Multi-scale and Multi Method Approach”, se ha decidido realizar un protocolo de muestreo, fijación y laboratorio para las comunidades bentónicas marinas extraídas con Box Corer, sugiriendo cuáles serían los mejores procedimientos para usar, basados en la experiencia y los ya estandarizados. Para ello, se estructuró el documento en tres capítulos que abarcan los procedimientos del manejo del equipo, la fijación de muestras en campo y el procesamiento de las muestras en el laboratorio. Además, cada capítulo describe materiales, procedimientos y recomendaciones.

That is why, under the framework of the project: “Methane Seep Hunting: A Multi-scale and Multi Method Approach”, it has been decided to carry out a sampling, fixation and laboratory protocol for the marine benthic communities extracted with Box corer, suggesting which would be the best

procedures to use, based on experience and those already standardized. To do this, the document was structured into three chapters that cover the procedures for handling the equipment, fixation samples in the field, and processing the samples in the laboratory. In addition, each chapter describes materials, procedures, and recommendations.

2. OBJETIVO Y ALCANCE - OBJECTIVE AND REACH

Este protocolo describe la forma más eficiente y eficaz de manipular, fijar y procesar las muestras de las comunidades bentónicas marinas extraídas con Box corer, en el marco del proyecto Methane Seep Hunting: A Multi-scale and Multi Method Approach.

This protocol describes the most efficient and effective way to manipulate, fix and process the samples of the marine benthic communities extracted with Box corer, within the framework of the Methane Seep Hunting: A Multi-scale and Multi Method Approach project.

3. EQUIPOS DE MUESTREO - SAMPLING EQUIPMENT

La escogencia del muestreador adecuado dependerá en gran medida del tipo de muestra requerido, las condiciones del área de estudio tales como: la profundidad del agua, las condiciones del sedimento, las corrientes y el tipo de sustrato; el tamaño, poder y capacidad de elevación del barco y si el muestreo se llevará a cabo en condiciones expuestas o protegidas (Eleftheriou y Moore, 2005).

The choice of the appropriate sampler will depend largely on the type of sample required, the conditions of the study area

such as: water depth, sediment conditions, currents, and the type of substrate; the size, power and lifting capacity of the ship and whether the sampling will be carried out under exposed or protected conditions (Eleftheriou and Moore, 2005).

3.1. BOX CORER - BOX CORER

El GOMEX (Golfo de Mexico) Box corer (Boland and Rowe, 1991), se ha convertido en uno de los muestreadores oceanográficos estándar, debido a su confiabilidad y su gran área de muestreo. Se ha utilizado ampliamente en el Golfo de México en los muestreos de comunidades bentónicas, ya que, están diseñadas para penetrar el sedimento más profundamente, lo que permite la obtención de muestras relativamente inalteradas adecuadas para la evaluación de la macrofauna (Hessler y Jumars, 1974; Boland y Rowe, 1991). Estas muestras colectadas pueden ser procesadas en su totalidad, en submuestras ya sean horizontales o verticales (Hessler y Jumars, 1974).

The GOMEX (Gulf of Mexico) Box corer (Boland and Rowe, 1991), has become one of the standard oceanographic samplers, due to its reliability and its large sampling area. It has been widely used in the Gulf of Mexico in the sampling of benthic communities, since they are designed to penetrate the sediment more deeply, which allows obtaining relatively undisturbed samples suitable for the evaluation of the macrofauna (Hessler and Jumars, 1974; Boland and Rowe, 1991). These collected samples can be processed in their entirety, in subsamples either horizontal or vertical (Hessler and Jumars, 1974).

3.1.1. Ventajas (Boland and Rowe, 1991) - Advantages (Boland and Rowe, 1991)

- Las comparaciones de las densidades de macrofauna en los mares de Noruega y

Groenlandia, con datos de las mismas áreas con otros muestreadores, sugiere que la calidad de la muestra de GOMEX supera a otros muestreadores cuantitativos de aguas profundas.

- Peso y tamaño moderado en comparación a su utilidad.

- Tipo de Mecanismo de disparo y cierre.

- Fácil de usar.

- Seguro en mares agitados

- Permite colectar muestreas de un área de 0,250 m².

- Comparisons of macrofauna densities in the Norwegian and Greenland seas, with data from the same areas with other samplers, suggests that GOMEX's sample quality outperforms other quantitative deep-sea samplers.

- Moderate weight and size compared to its usefulness.

- Type of trip and closing mechanism.

- Easy to use.

- Safe in rough seas

- It allows to collect samples from an area of 0.250 m².

3.1.2. Descripción

Consta de cuatro unidades funcionales interconectadas: 1- La caja de muestreo de acero inoxidable; 2- el marco externo de soporte, 3- la unión estructural que se fija a la barra de deslizamiento vertical para cerrar las palas y; 4- el mecanismo de liberación. El peso del equipo hace que éste se mantenga abierto durante el descenso y una vez que la tensión entra por el cable, el mecanismo de liberación se activa permitiendo que las palas se cierren. El equipo además cuenta con unos soportes que están diseñados para adicionar lastre a cada lado del equipo (Boland and Rowe, 1991) (Figura 1).

It consists of four interconnected functional units: 1- The stainless-steel sampling box; 2- the external support frame, 3- the structural joint that is fixed to the vertical sliding bar to

close the blades and 4- the release mechanism. The weight of the equipment keeps the equipment open during the descent and once the tension enters the cable, the release mechanism is activated allowing the blades to close. The equipment also has supports that are designed to add ballast to each side of the equipment (Boland and Rowe, 1991) (Figure 1).



Figura 1 - Figure 1. Box Corer de 50x50x50 cm, empleado para la toma de muestras de macrofauna. Box Corer of 50x50x50 cm, used for taking samples of macrofauna.

El muestreo con Box corer se realiza en embarcaciones mayores (eslora mayor a 26m) empleando un winche oceanográfico (Figura 2).

Sampling with Box corer is carried out in larger vessels (length greater than 26m) using an oceanographic winch (Figure 2).



Figura 2 – Figure 2. Guaya y winche oceanográfico empleado para el lance e izaje del Box Corer. Wire Rope cable and oceanographic winch used to launch and hoist the Box Corer.

3.1.3. Sistema de Filtración - Filtration system

El sistema de filtración se emplea para realizar un tamizaje previo de las muestras en campo. Este sistema consta de una carcasa de PVC en la cual se incluye un filtro de poro de malla >150 μm , esto último con el fin de evitar que ingresen a la muestra organismos plánticos. Para los muestreos realizados en embarcaciones mayores, el sistema de filtración es acoplado a la tubería de agua salada del barco con una manguera de una (1) pulgada, para realizar el lavado de las muestras en cubierta (Figura 3).

The filtration system is used to carry out a preliminary screening of the samples in the field. This system consists of a PVC casing in which a filter with a mesh of > 150 μm is included, the latter to prevent planktonic organisms from entering the sample. For the samplings carried out in larger vessels, the

filtration system is coupled to the ship's saltwater pipe with a one (1) inch, to wash the samples on deck (Figure 3).



Figura 3 – Figure 3. Sistema de filtración y filtros empleado para el lavado de las muestras de sedimentos. Filtration system and filters used for washing sediment samples.

3.1.4. Recomendación – Recommendation

- El muestreo con este equipo se debe realizar desde embarcaciones grandes, debido a su gran peso (Baéz, 2013).
- Sampling with this equipment must be carried out from large vessels, due to its great weight (Baéz, 2013).

4. PREPARACIÓN - PREPARATION

4.1. PREPARACIÓN DE LA EMBARCACIÓN - VESSEL PREPARATION

La elección de la embarcación para ser usada como plataforma de muestreo dependerá del diseño de muestreo en cuanto a profundidad y condiciones oceanográficas. Las embarcaciones suelen ser la mejor opción cuando el muestreo es en áreas lejanas a la costa y con profundidades mayores a 30m. A continuación, se describen los puntos claves que se tienen en cuenta en la preparación de la embarcación.

The choice of the vessel to be used as a sampling platform will depend on the sampling design in terms of depth and oceanographic conditions. Vessels are usually the best option when sampling is in areas far from the coast and with depths greater than 30m. The following are the key points to consider when preparing the boat.

• Winche y Guaya - Winch and Wire:

Debe revisarse que el sistema de izado del Box corer cuente con la suficiente longitud de guaya para alcanzar la profundidad requerida (alrededor del doble de longitud respecto a la máxima profundidad de muestreo). El grosor y resistencia de la guaya se definen con base en el peso máximo de los equipos y teniendo en cuenta que ésta misma suma una tensión adicional al sistema, la cual aumenta proporcional a la profundidad. Igualmente, será revisado el estado de los filamentos que componen la guaya, poniendo especial énfasis en deformaciones o roturas que pueden poner en riesgo la maniobra. La guaya no podrá tener ningún tipo de lubricante ni sustancia adherida y se deberá inspeccionar la presencia de fugas o fuentes de contaminación, que en algún momento puedan ser transferidas al agua o a los equipos de muestreo. Dependiendo del artefacto y la guaya a emplear, se deben tener en cuenta el calibre de los grilletes y giradores de acople, así como el dispositivo que permite desentorchar (estrobo), poniendo especial atención a las resistencias de estos.

It should be checked that the hoist system of the Box corer has enough wire length to reach the required depth (around twice the length of the maximum sampling depth). The thickness and resistance of the wire are defined based on the maximum weight of the equipment and considering that it adds an additional tension to the system, which increases proportionally to the depth. Likewise, the state of the filaments that make up the wire will be reviewed, placing special

emphasis on deformations or breaks that can put the maneuverer at risk. The wire may not have any type of lubricant or substance attached and the presence of leaks or sources of contamination must be inspected, which at some point may be transferred to the water or to the sampling equipment. Depending on the device and the wire to be used, the calibre of the shackles and coupling rotators must be considered, as well as the device that allows untwisting (strobe), paying special attention to their resistances.

• **Sistema de Filtración - Filtration system:**

El montaje de este sistema de filtración deberá ser probado antes del zarpe. Es indispensable la verificación de las dimensiones de las mangueras y se debe graduar la presión del agua para no romper el filtro.

The assembly of this filtration system must be tested before sailing. It is essential to verify the dimensions of the hoses and the water pressure must be adjusted so as not to break the filter.

• **Iluminación - illumination:**

En caso de realizar muestreos nocturnos, será fundamental la instalación de uno o más reflectores muy cerca del área de extracción de la muestra y que los mismos se encuentren sobre estructuras robustas que soporten los fuertes vientos, para evitar accidentes durante las maniobras. Además, es primordial que los investigadores lleven en sus cascos lámparas de cabeza.

In case of night sampling, it will be essential to install one or more reflectors very close to the sample extraction area and that they are located on robust structures that withstand strong winds, to avoid accidents during manoeuvre. It is also essential that researchers wear headlamps in their helmets.

4.2. PREPARACIÓN DEL BOX CORER - BOX CORER PREPARATION

Previo al zarpe la revisión de este equipo incluirá:

- Revisión del sistema de Cierre en cubierta (Pruebas de apertura)
- Verificación de montaje
- Revisión de los lastres (Lastre completo abordo)

Prior to sailing, the review of this equipment will include:

- Review of closing system on the roof (Opening tests)
- Assembly verification
- Review of ballasts (Complete ballast on board)

• **Instalación - Installation:**

Previo al muestreo debe revisarse que el winche esté funcionando adecuadamente, y la condición y cantidad de la guaya a emplear según la profundidad a muestrear. En primer lugar, se verifica el montaje del equipo, revisando que estén bien atornilladas las pesas. Debe asegurarse que el Box Corer quede abierto, manteniendo arriba el pasador, evitando así que se cierre al momento del lance; además, verificar que las tapas superiores no queden cerradas. Finalmente, revisar que esté correctamente conectado a la guaya por medio de la cual va a ser izado, a través de uno o dos grilletes conectados a un girador en acero inoxidable (M. P. Bolaño-Lara, com. pers.).

Before sampling, it must be checked that the winch is working properly, and the condition and quantity of the wire to be used according to the depth to be sampled. Firstly, the assembly of the equipment is verified, checking that the leads are well screwed. It must be ensured that the Box corer remains open, keeping the D - shackle up, thus avoiding that it closes at the moment of the cast; also, check that the upper covers are not closed. Finally, check that it is correctly connected to the wire by means of which it is going to be hoisted, through one or two

shackles connected to a stainless-steel spinner (M. P. Bolaño-Lara, com. pers.).

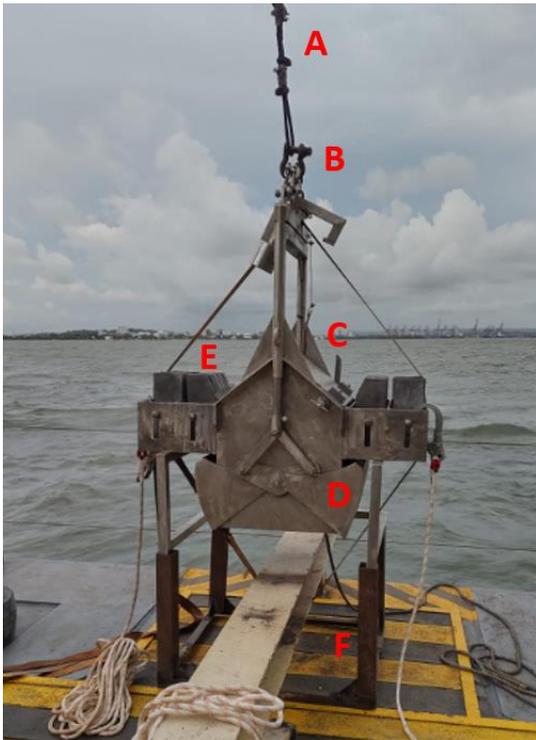


Figura 4 – Figure 4. Box Corer instalado en la embarcación. A) Guaya; B) Pasador; C) Tapas superiores del Box Corer; D) Tapas inferiores del Box Corer; E) Plomada y F) Base para el Box Corer. Box Corer installed in the vessel. A) Wire; B) D - shackle; C) Upper covers of the Box Corer; D) Bottom covers of the Box Corer; E) Plumb bob and F) Base for the Box Corer.

4.3. PREPARACIÓN DEL MATERIAL DE CAMPO - FIELD EQUIPMENT PREPARATION

El jefe del componente debe realizar una lista de Chequeo, donde se incluyen:

- Elementos necesarios para la ejecución de la salida
- Especificación de las cantidades y características de cada elemento.
- Información referente al proyecto: Nombre del proyecto, fecha de la actividad, responsable de la actividad, duración de la salida de campo.
- Información referente a materiales y equipos: Descripción, cantidad, número de

inventario, chequeo de salida, chequeo de entrada, responsable y observaciones.

The component manager must make a checklist, which includes:

- Elements necessary for the execution of the field trip
- Specification of the quantities and characteristics of each element.
- Information regarding the project: Name of the project, date of the activity, person in charge of the activity, duration of the field trip.
- Information regarding materials and equipment: Description, quantity, inventory number, exit check, entry check, person in charge and observations.

• Finalidad - Purpose:

Disminuir los riesgos asociados a la pérdida, olvido o mal funcionamiento de algún material necesario en la ejecución de la salida de campo por falta de revisión previa y a la vez tener un control sobre la salida y entrada de materiales de las instalaciones.

Reduce the risks associated with the loss, forgetfulness, or malfunction of any necessary material in the execution of the field trip due to lack of prior review and at the same time have control over the exit and entry of materials from the facilities.

4.4. PREPARACIÓN DEL PERSONAL - STAFF PREPARATION

Antes de la operación es necesario realizar una reunión preoperativa, donde se discutirán las actividades a realizar y el personal encargado de cada una de ellas, indicando los riesgos potenciales y la forma de trabajo seguro para minimizarlos. Estas reuniones deberán ser realizadas diariamente por cada turno (Diurno y nocturno), hasta que la salida finalice.

Before the operation it is necessary to hold a pre-operational meeting, where the activities

to be carried out and the personnel in charge of each of them will be discussed, indicating the potential risks and the safe way of working to minimize them. These meetings must be held daily for each shift (Day and night), until the departure ends.

4.5. RECOMENDACIÓN - RECOMMENDATION

El chequeo de todos los equipos, instrumentos, material de campo, etc., debe ser realizado por personal diferente al que participó en la preparación de los materiales, con el fin de disminuir sesgos en la comprobación. En salidas de campo en las que implique un desplazamiento en embarcación, en lo posible, se debe tener cada uno de los elementos por duplicado o en cantidad suficiente, con el fin de suplir cualquier daño o pérdida de los equipos.

The checking of all equipment, instruments, field material, etc., must be carried out by personnel different from the one who participated in the preparation of the materials, in order to reduce biases in the verification. In field trips that involve a trip by vessel, if possible, each of the elements should be had in duplicate or in sufficient quantity, to supply any damage or loss of equipment.

El personal que participe en cruceros de investigación deberá tener los siguientes entrenamientos:

- Socialización interna en Seguridad costa afuera (offshore).
- Técnicas de supervivencia personal (OMI. 1.19).
- Manipulación, Almacenamiento y Transporte de sustancias químicas peligrosas.

Personnel participating in research cruises must have the following training:

- Internal socialization in offshore Security.
- Personal survival techniques (OMI. 1.19).

- Handling, Storage and Transport of dangerous chemical substances.

5. MUESTREO - SAMPLING

5.1. PROCEDIMIENTO DE MUESTREO - SAMPLING PROCEDURE

Se debe tener en cuenta la experiencia de los investigadores, para el uso de los equipos de muestreo y todo lo referente al procedimiento.

The experience of the researchers must be considered for the use of the sampling equipment, and everything related to the procedure.

5.1.1. Calidad de la muestra - Sample quality

Para que una muestra sea aceptada, la caja colectora debe contener por lo menos el 30% de sedimento o 20cm de espesor, este debe venir con una capa de agua sobrenadante, de no ser así se verifica que la superficie del sedimento esté sin perturbar. En algunos casos, se logra diferenciar la primera capa de sedimento de un color más oscuro. Además, son notables orificios o galerías en la superficie, producto de la construcción de tubos por parte de los organismos. Si la muestra viene revuelta y no se observa ninguna de las características mencionadas anteriormente, será rechazada.

For a sample to be accepted, the collecting box must contain at least 30% sediment or 20cm thick, it must come with a layer of supernatant water, otherwise it is verified that the surface of the sediment is undisturbed. In some cases, it is possible to differentiate the first layer of sediment of a darker colour. In addition, there are notable holes or galleries on the surface, a product of the construction of tubes by organisms. If the sample is scrambled and none of the

characteristics mentioned above are observed, it will be rejected.

5.1.2. Muestras de Macroinfauna - Macroinfauna samples

Después de ser aceptada la muestra al cumplir con las características anteriormente mencionadas, se debe tener en cuenta los siguientes pasos:

After the sample is accepted as it complies with the aforementioned characteristics, the following steps must be considered:

• Manejo del Sobrenadante - Handling of the Supernatant:

Si la muestra tiene un sobrenadante, esta columna de agua debe ser tamizada. La manera más fácil de extraer este sobrenadante sin causar daños a la muestra es por la técnica de diferencia de presión.

1. Colocar el tamiz en el suelo, por debajo del nivel de la muestra
2. Con la ayuda de tubo de plástico transparente de 1 cm (3/8 pulgada) de diámetro y 2m de largo, colocar uno de los extremos dentro del Box corer y el otro extremo dentro del tamiz.
3. Por el extremo del tubo que ira al tamiz succionar y sacar de la boca antes de que llegue al extremo y colocarlo otra vez dentro del tamiz.
4. Una vez que la muestra fluya libremente, la gravedad hará que el sifón siga succionando fuera del Box Corer.
5. Mantener los dedos alrededor del tubo cerca de la boca, de modo que se esté listo para doblarlo antes de que la muestra ingrese en la boca. (Tener cuidado de no tragar la muestra).

If the sample has a supernatant, this column of water must be sieved. The easiest way to extract this supernatant without causing damage to the sample is by the pressure difference technique.

1. Place the sieve on the ground, below the level of the sample.
2. With the help of a transparent plastic tube 1 cm (3/8 inch) in diameter and 2m long, place one end inside the Box corer and the other end inside the sieve.
3. At the end of the tube that will go to the sieve, suck it out of the mouth before it reaches the end and place it again inside the sieve.
4. Once the sample is flowing freely, gravity will keep the siphon sucking out of the Box corer.
5. Keep fingers around the tube close to the mouth, so that it is ready to bend before the sample enters the mouth. (Be careful not to swallow the sample).

• Área Mínima Muestreal - Minimum Sample Area:

Es necesario tener como aspecto fundamental la unidad muestral mínima representativa en el estudio de esta comunidad, la cual es de 0.1 m² para estudios cualitativos, cuantitativos y de biomasa (Holme y Mcintyre 1971). Con muestreador Box Corer con área de 0.250 m², se realiza solo un lance y se introduce un marco metálico que cubre el área mínima muestral representativa (0.1 m²), del cual es extraída la muestra de macrofauna.

It is necessary to have as a fundamental aspect the minimum representative sample unit in the study of this community, which is 0.1 m² for qualitative, quantitative and biomass studies (Holme and Mcintyre 1971). With a Box corer sampler with an area of 0.250 m², only one set is made, and a metal frame is introduced that covers the minimum representative sample area (0.1 m²), from which the macrofauna sample is extracted.



Figura 5 – Figure 5. Delimitación con cuadrante metálico del área representativa de 0.1 m².
Delimitation with metallic quadrant of the representative area of 0.1 m².

• **Manejo de la Muestra - Sample Handling:**

Con la ayuda de espátulas, la muestra será transvasada a un recipiente resistente de tamaño superior a la boca del equipo muestreador, con el fin de evitar la pérdida de muestra. Posteriormente, se van lavando pequeñas porciones sobre un tamiz de 500 µm, con agua de mar filtrada (filtro de 150 µm) con el fin de retener la macroinfauna, descartando así los organismos de menor tamaño y los sedimentos finos, este procedimiento se repite hasta tamizar el total de la muestra recogida.

With the help of spatulas, the sample will be transferred to a resistant container larger than the mouth of the sampling equipment, to avoid loss of sample. Subsequently, small portions are washed on a 500 µm sieve, with filtered sea water (150 µm filter) to retain the macroinfauna, thus discarding the smaller organisms and fine sediments, this procedure is repeated until sift the total of the collected sample.



Figura 6 – Figure 6. Proceso de tamizado de las muestras para la extracción de la macrofauna.
Sieve process of the samples for the extraction of the macrofauna.

• **Almacenamiento de la Muestra - Sample Storage:**

La muestra de macrofauna obtenida luego del lavado sobre el tamiz de 500 µm, se almacenará en una bolsa plástica de alta resistencia (doble), debidamente rotuladas. Este rotulo debe ser en papel pergamino con lápiz HB en ambas bolsas. El rotulo debe contener el nombre del proyecto, la estación y la época climática.

The macrofauna sample obtained after washing on the 500 µm sieve will be stored in a high resistance plastic bag (double), duly labeled. This label must be on parchment paper with HB pencil on both bags. The label should contain the name of the project, the station, and the weather season.



Figura 7 – Figure 7. Almacenamiento de las muestras de sedimentos en bolsas debidamente etiquetadas. Storage of sediment samples in properly labelled bags.

• **Preservación de la Muestra – Sample Preservation:**

A la muestra se le agregarán 500 ml de una solución narcotizante (70 g·L de cloruro de magnesio) para mantener a los organismos relajados durante su muerte (Baguley et al., 2006), de esta forma se evita la pérdida de estructuras corporales por expulsión o auto laceración. Después de 10 minutos, la muestra se fijará agregando una solución de formalina al 10 % preparada en agua de mar filtrada, neutralizada con tetraborato de sodio (bórax). A esta mezcla se añadirá rosa de bengala (0.1 g·L-1); este colorante se adhiere a los epitelios de los organismos facilitando su posterior separación en laboratorio (Mason y Yevich, 1967). Se agitará el contenido de cada bolsa para homogenizar la muestra de sedimento con el reactivo, incorporar oxígeno y hacer reaccionar el colorante con el tejido de los organismos. Las bolsas son selladas con ayuda de bandas elásticas, evitando que queden con mucho

aire para evitar que puedan estallarse y perder muestra.

500 ml of a narcotic solution (70 g·L of magnesium chloride) will be added to the sample to keep the organisms relaxed during their death (Baguley *et al.*, 2006), in this way the loss of body structures by expulsion or self-laceration. After 10 minutes, the sample will be fixed by adding a 10% formalin solution prepared in filtered seawater, neutralized with sodium tetraborate (borax). Rose bengal (0.1 g·L) will be added to this mixture; This dye adheres to the epithelia of organisms, facilitating their subsequent separation in the laboratory (Mason and Yevich, 1967). The contents of each bag will be shaken to homogenize the sediment sample with the reagent, incorporate oxygen and make the dye react with the tissue of the organisms. The bags are sealed with the help of elastic bands, avoiding that they remain with a lot of air to avoid that they can burst and lose sample.



Figura 8 – Figure 8. Narcotización y fijación de la muestra de macrofauna. Narcotization and fixation of the macrofauna sample.

• **Aspectos de Seguridad - Security Aspects:**

Es obligatorio que el personal que realice el proceso para la preservación de la muestra en el barco tenga todos los elementos de protección necesarios, estos incluyen: Overol, botas de seguridad plásticas con punta de acero, guantes de nitrilo y máscara de vapores completa.

Todas las reglas que se deben seguir para su manipulación y almacenamiento, así como el manejo de estos en caso de derrame, se estipulan en la “Ficha de seguridad” de cada

sustancia. En éstas también se listan las medidas de emergencia en caso de contacto con la piel, inhalación o ingesta. Antes de cada embarque se realizará una presentación en la cual se darán a conocer las fichas de emergencia resumidas de las sustancias que se van a utilizar durante la campaña.

Los reactivos empleados son rotulados en un lugar visible, con etiquetas en las que se especifica el tipo de sustancia o reactivo, el nombre de la persona encargada de su preparación, la fecha de esta y su lugar de almacenamiento.

It is mandatory that the personnel who carry out the process for the preservation of the sample on the ship have all the necessary protection elements, these include: Overalls, steel-toed plastic safety boots, nitrile gloves and full vapor mask.

All the rules that must be followed for their handling and storage, as well as their handling in case of spillage, are stipulated in the "Safety Data Sheet" for each substance. These also list emergency measures in case of skin contact, inhalation, or ingestion. Before each shipment, a presentation will be made in which the summary emergency sheets of the substances to be used during the campaign will be made known.

The reagents used are labelled in a visible place, with labels specifying the type of substance or reagent, the name of the person in charge of its preparation, its date and its storage location.

Estos reactivos incluyen:

- Formol: reactivo líquido usado en dos concentraciones, 37% y 10%. El primero se usa para preparar el segundo diluyéndolo con agua de mar filtrada y añadiendo Bórax como agente neutralizante; a esta solución se le conoce como formalina y es la empleada para la fijación de las muestras de macrofauna. El formol al 37% es mantenido en recipientes plásticos debidamente etiquetados, en un lugar con las condiciones adecuadas para su almacenamiento.

- Rosa de bengala: reactivo en polvo empleado para la tinción de los organismos bentónicos. Este se incorpora al formol al momento de diluirlo al 10%.

Su grado de peligrosidad está entre leve y cero

- Cloruro de magnesio: sal estable de baja peligrosidad. Este reactivo es añadido a la muestra en campo antes de fijarla, por lo cual se mezcla posteriormente con el formol al 10%.

These reagents include:

- Formol: liquid reagent used in two concentrations, 37% and 10%. The first is used to prepare the second by diluting it with filtered seawater and adding Borax as a neutralizing agent; This solution is known as formalin and is used to fix macrofauna samples. The 37% formaldehyde is kept in properly labeled plastic containers, in a place with the appropriate conditions for storage.

- Rose bengal: powdered reagent used for the staining of benthic organisms. This is incorporated into the formaldehyde when it is diluted to 10%.

Its degree of danger is between slight and zero

- Magnesium chloride: stable salt of low danger. This reagent is added to the sample in the field before fixing it, for which it is subsequently mixed with the 10% formaldehyde.

• Acopio de la Muestra - Sample Collection:

Las bolsas deben ser acomodadas en una caja plástica de manera que no se compriman en exceso, nunca una sobre otra. Estas, además, deben ser tapadas con bolsas plásticas negras de manera que se evite que el sol decolore el formol. Las cajas deben rotularse con el nombre del proyecto y las estaciones incluidas.

The bags must be accommodated in a plastic box so that they are not compressed excessively, never one on top of the other. These must also be covered with black plastic

bags so that the sun does not discolour the formaldehyde. The boxes should be labelled with the name of the project and the stations included.

5.2. EVALUACIÓN DE LA SALIDA DE CAMPO - EVALUATION OF FIELD TRIPS

Al finalizar la salida de campo, se debe realizar una reunión de evaluación de esta, enfatizando los aspectos a mejorar y delegando la responsabilidad de mejora, todo esto con el fin de siempre aumentar la calidad y seguridad de los procedimientos y del personal.

At the end of the field trip, an evaluation meeting should be held, emphasizing the aspects to be improved and delegating the responsibility for improvement, all this to always increase the quality and safety of procedures and personnel.

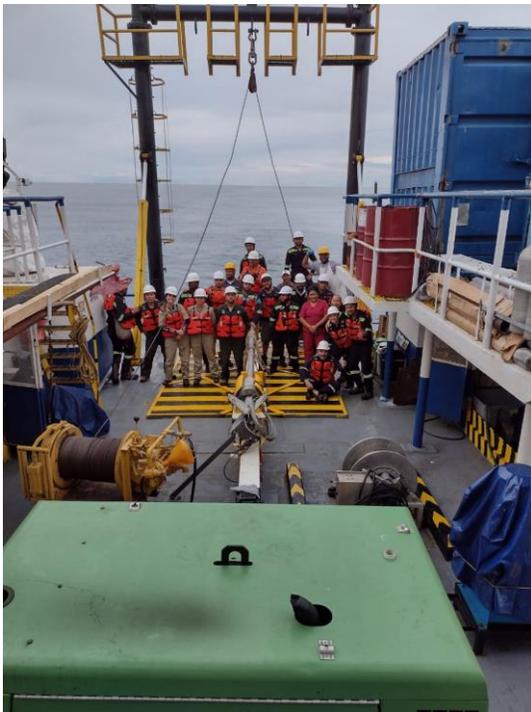


Figura 9 – Figure 9. Finalización de la campaña a bordo del barco Oceanografico survey DP1 Seaworker,

en el marco del proyecto: "*Methane seep hunting: A multi-scale and multi method approach*". Completion of the campaign on board the Oceanografico survey DP1 Seaworker, within the framework of the project: "*Methane seep hunting: A multi-scale and multi method approach*".

5.3. RECOMENDACIONES - RECOMMENDATIONS

Con el fin de tener control y conocimiento de las muestras obtenidas, es necesario llenar un formato en el cual se agruparán los datos básicos del muestreo y de cada lance en particular:

- Estación
- Fecha
- Hora
- Profundidad
- Época climática
- Número de Lances
- Observaciones

In order to have control and knowledge of the samples obtained, it is necessary to fill out a format in which the basic data of the sampling and of each throw in particular will be grouped:

- Station
- Date
- Hour
- Depth
- Climatic season
- Number of Lances
- Observations

6. LABORATORIO - LABORATORY

6.1. LAVADO Y SEPARACIÓN DE LA MUESTRA - WASHING AND SEPARATION OF THE SAMPLE

Esta fase se realiza para eliminar los fijadores añadidos a la muestra y seleccionar del sedimento los organismos objeto de estudio.

This phase is carried out to eliminate the fixatives added to the sample and to select the organisms under study from the sediment.

- **Aspectos de Seguridad - Security Aspects:**

Indispensable el uso de los elementos de protección personal (EPP's) que incluyen: la bata de laboratorio, máscara para vapores y guantes de nitrilo. Debe realizarse en un espacio ventilado o bajo campana extractora, evitando que los vapores emitidos por el formol puedan afectar al personal que está manipulando las muestras y otras áreas del laboratorio.

The use of personal protective equipment (PPE's) is essential, including: a lab coat, a vapor mask and nitrile gloves. It must be carried out in a ventilated space or under an extractor hood, avoiding that the vapours emitted by the formaldehyde can affect the personnel who are handling the samples and other areas of the laboratory.

- **Procedimiento de Lavado - Washing**

- Procedure:**

Se retira el fijador sobrenadante, vertiéndolo en un contenedor especial para residuos químicos peligrosos debidamente rotulado, esto se realiza empleando un tamiz de 500µm, agregando abundante agua y regulando su caudal para no afectar la estructura de los organismos allí presentes (Guerra *et al.*, 2012). Se debe eliminar la mayor cantidad de sedimentos finos, así como estructuras de gran tamaño como rocas o restos vegetales, previa revisión para evitar la pérdida de información. Una vez lavada la muestra, el material retenido en el tamiz se debe pasar a un recipiente plástico con su correspondiente rótulo, para iniciar la separación de los organismos por taxones en el laboratorio.

The supernatant fixative is removed, pouring it into a duly labeled special container for

hazardous chemical waste, this is done using a 500µm sieve, adding plenty of water and regulating its flow so as not to affect the structure of the organisms present there (Guerra *et al.*, 2012). The greatest amount of fine sediments, as well as large structures such as rocks or plant debris, should be removed, after reviewing to avoid loss of information. Once the sample has been washed, the material retained on the sieve must be transferred to a plastic container with its corresponding label, to start the separation of the organisms by taxa in the laboratory.



Figura 10 – Figure 10. Lavado de las muestras en el laboratorio. Washing of samples in the laboratory.

- **Procedimiento de Separación - Separation**
Procedure:

Se hace en parejas (dos investigadores), con el fin de garantizar que será extraída la totalidad de los organismos presentes en la muestra y evitar así pérdida de información,

ya que un investigador realiza una segunda revisión a la bandeja del otro. Este proceso se realiza sirviendo fracciones de la muestra (hasta completar la totalidad de esta) en una bandeja blanca con el fin de que resalten los organismos previamente teñidos. Posteriormente se añade agua hasta cubrir la fracción y evitar la deshidratación de los organismos. La extracción de éstos se realiza con la ayuda de una lámpara con lupa para ver con más detalle la muestra, pinzas blandas y agujas de disección. Durante este proceso, no serán retirados los tubos o estructuras calcáreas a los organismos que los presenten (ISO/FDIS 16665, 2005). En esta fase del proceso los organismos son separados en grandes grupos: anélidos, crustáceos, moluscos, equinodermos, foraminíferos y otros grupos. Ésta última categoría incluye phyla menores: nematodos, nemertinos, sipunculidos, briozoos, etc.

It is done in pairs (two researchers), to guarantee that all the organisms present in the sample will be extracted and thus avoid loss of information, since one researcher performs a second review of the other's tray. This process is carried out by serving fractions of the sample (until all of it is completed) in a white tray to highlight the previously stained organisms. Subsequently, water is added to cover the fraction and avoid dehydration of the organisms. The extraction of these is carried out with the help of a lamp with a magnifying glass to see the sample in more detail, soft forceps, and dissection needles. During this process, the tubes or calcareous structures will not be removed from the organisms that present them (ISO / FDIS 16665, 2005). In this phase of the process the organisms are separated into large groups: annelids, crustaceans, molluscs, echinoderms, foraminifera, and other groups. The latter category includes minor phyla: nematodes, nemerteans, sipunculids, bryozoans, etc.



Figura 11 – Figure 11. Separación de la macrofauna en los diferentes grupos taxonómicos. Separation of the macrofauna in the different taxonomic groups.

• **Preservación de la Muestra - Sample Reservation**

La fauna encontrada será almacenada y preservada en frascos de plástico con alcohol al 70%. Además, será identificada hasta el nivel taxonómico de familia o hasta el nivel más bajo posible para cada estación de muestreo, según los requerimientos del estudio.

- Alcohol: reactivo líquido es empleado solamente en el laboratorio, en concentración del 70% para la conservación de los organismos bentónicos, una vez es realizado la separación de las muestras.

The fauna found will be stored and preserved in plastic bottles with 70% alcohol. In addition, it will be identified down to the taxonomic level of the family or to the lowest possible level for each sampling station, according to the requirements of the study.

- Alcohol: liquid reagent is used only in the laboratory, in a concentration of 70% for the conservation of benthic organisms, once the samples have been separated.



Figura 12 – Figure 12. Muestras de macrofauna en los diferentes grupos taxonómicos.
Macrofauna samples in the different taxonomic groups.

6.2. RECOMENDACIONES - RECOMMENDATIONS

Para llevar un control y registro de los grupos separados para cada estación, es necesario crear y diligenciar un formato de separación que incluya los grandes grupos hallados en la separación, toda la información de la estación y la fecha de separación con las observaciones pertinentes (si hubiesen).

To keep a control and record of the separate groups for each station, it is necessary to create and fill out a separation form that includes the large groups found in the separation, all the information of the station and the date of separation with the pertinent observations (if had).

8 Capítulo 3 – Caracterización y Asociación de las Comunidades Macroinfaunales

Caracterizar las comunidades macroinfaunales bentónicas asociadas a las filtraciones de metano del cinturón plegado de Sinú.

Comprobar la asociación de las comunidades macroinfaunales con la posible presencia de gas y los factores medioambientales (químicos y físicos) de la zona de extracción de las muestras.

En este capítulo se aborda la metodología, los resultados y la discusión de la caracterización y la correlación de la macroinfauna con las variables ambientales, abordando así los objetivos específicos 3 y 4 de este trabajo. En la sección 8.1 se presenta la metodología empleada para la caracterización y correlación de la macroinfauna, y se divide en subsecciones que detallan el área de estudio, la fase de campo, la fase de laboratorio y el proceso de tratamiento de la información. En la sección 10.2 se exponen los resultados y se discuten los hallazgos de la caracterización y correlación de la macroinfauna, dividiéndose en dos partes: la estructura de la comunidad y la correlación de la comunidad con las variables ambientales.

8.1 Metodología para la caracterización y la correlación de la macroinfauna

8.1.1 Área de estudio

Al nororiente de Colombia se ubica la Cuenca Sinú-San Jacinto (conocida como el Prisma Acrecionario del Sinú (ASP)), en donde se presentan dos fajas con pliegues adyacentes: I) la faja plegada del Paleógeno San Jacinto con extensión al Norte y II) el cinturón plegado del Neógeno Sinú ubicado a lo largo del margen occidental del cinturón plegado de San Jacinto (Sánchez y Permanyer, 2006; Cortes *et al.*, 2018). El ASP muestra diapirismo de lodo y muchas filtraciones de hidrocarburos, específicamente secuencias sedimentarias muy gruesas con diapirismo de lodo cerca del continente (Gracia *et al.*, 2012; Cortes *et al.*, 2018). Adicionalmente, Cortés *et al.* (2018), encontraron que la Formación Cansona del Cretácico Superior y la Formación Arroyo Seco del Paleógeno, podrían generar hidrocarburos líquidos en la cuenca, y que la secuencia estratigráfica del Neógeno es propensa al gas. Infiriendo, que la presencia de múltiples rocas, potenciales generadores de petróleo y gas en la cuenca, abre un nuevo espectro de oportunidades de exploración en los sistemas petroleros convencionales y no convencionales asociados al Cenozoico, aumentando así el potencial prospectivo de esta cuenca poco explorada (Carvajal *et al.*, 2020).

Por esta razón el área de estudio se ubicó en la cuenca costa afuera del Sinú, Moñitos – Córdoba, sector suroccidental del mar Caribe colombiano, Lecho Marino Offshore. En esta zona se encuentra un campo de filtración frente al Golfo de Morrosquillo, que limita al noreste con la falla de Oca, al sureste con la línea costera, al noroeste con el frente del cinturón deformado del Caribe Sur y al sureste con la falla de Uramita (Vargas, 2012). La mayor parte del área de interés se encuentra entre 50 y 300 metros de profundidad y el área total de estudio es de aproximadamente 297 km² (ANH, 2007) (Figura 5).

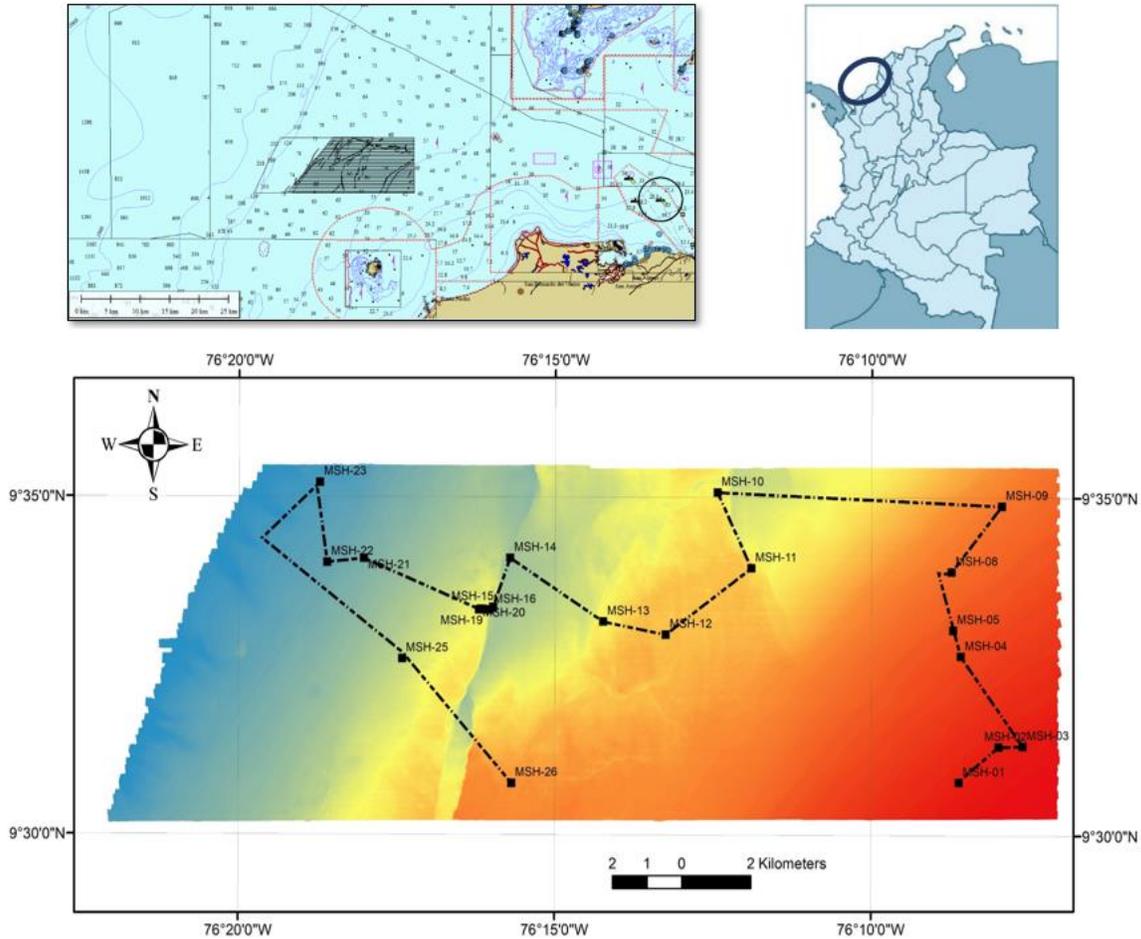


Figura 5. Mapa de ubicación general de la Cuenca Sinú-San Jacinto con el Área de interés y la ubicación detallada de cada una de las estaciones muestreadas.

8.1.2 Fase de Campo

A bordo del Barco Oceanográfico survey DP1 Seaworker, se recolectaron muestras en 19 estaciones de las 24 planificadas, puesto que la geomorfología del lugar no permitió que el Box Corer penetrara (Ver numeral 8.2). Estas extracciones se llevaron a cabo realizando lances de Box Corer (a) que cubrían un área total de 0,250 m² (b). Posteriormente, se verificó que el sedimento presentara el mínimo de perturbación en su superficie (sin deformaciones o lavado por posibles volcaciones o choques durante el ascenso). Una vez verificado esto, se empleó un marco aislador de 0,1 m², el cual se introdujo 10 cm en el sedimento, correspondiendo al área mínima de muestreo para comunidades infaunales (Holme y McIntyre, 1971). Las submuestras se cernieron a través de un tamiz de 500µm y durante todo el proceso de tamizaje se empleó agua marina filtrada con un filtro de 125 µm, con el fin de retener organismos planctónicos que pudieran contaminar la muestra (d). Las muestras se almacenaron en bolsas plásticas debidamente rotuladas, adicionando a cada una 500 ml de solución narcotizante (73,2 g de cloruro de magnesio analítico/ 1 litro agua), la cual facilitó la identificación en laboratorio de los organismos al mantenerlos relajados durante su muerte (Baguley *et al.*, 2006). Así mismo, se añade a cada muestra formaldehído al 10 % con agua de mar

filtrada con un filtro de 40 μ y neutralizado con bórax (pH 7,2). El pH obtenido con el formol aumenta la conservación de las muestras de campo por 15 días, debido a que inhibe la disolución de estructuras carbonatadas (Soltwedel, 2000). Al formol se le añade el colorante Rosa de Bengala para teñir los organismos presentes en los sedimentos (Mason y Yevich, 1967) (c). El contenido de cada bolsa se agitó para homogenizar la muestra con los reactivos adicionados y para impregnar el colorante al tejido de los organismos. Al final, las muestras se almacenaron en canastas plásticas, para su posterior traslado a los laboratorios (Figura 6).

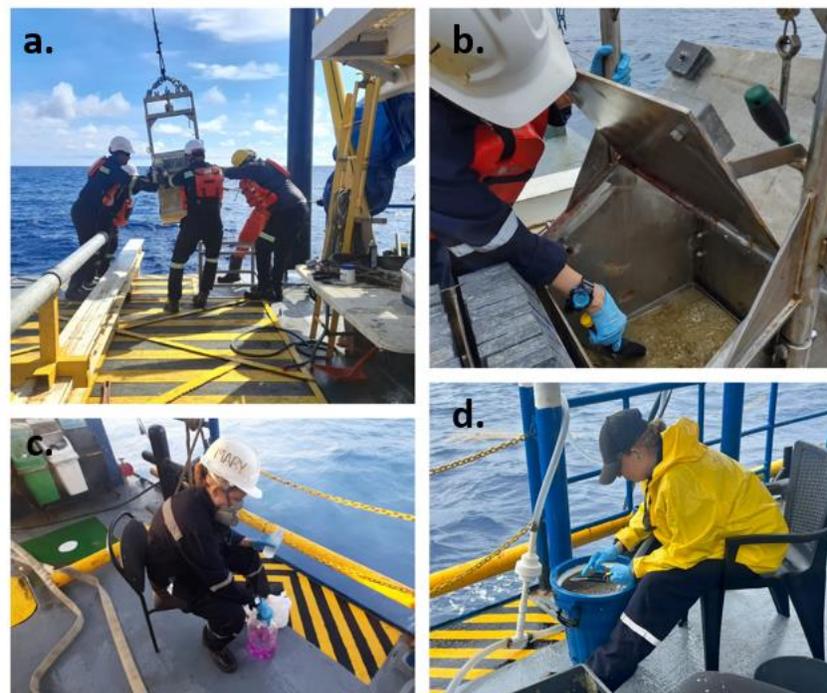


Figura 6. Proceso metodológico en campo para la extracción y manejo de las muestras de sedimento. a. Extracción del sedimento con Box Corer; b. Verificación y recolección del área mínima de muestreo; c. Fijación de las muestras y d. Proceso de tamizaje de las muestras.

8.1.3 Fase de Laboratorio

Una vez en laboratorio, las muestras de sedimento se lavaron eliminando los residuos del fijador y las fracciones más finas del sedimento, cerniéndolas sobre un tamiz con un poro de malla de 500 μ m para así obtener la fracción macroinfaunal (a). 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. Es necesario el uso de lámparas con lupa que permitan una adecuada separación de los organismos en grupos mayores (anélidos, crustáceos, moluscos, equinodermos). Los organismos separados se preservaron en alcohol al 70% (b). Después de la separación, los organismos se cuantificaron e identificaron al nivel taxonómico de familia (c), siendo este nivel recomendado para estudios ambientales; de acuerdo con Clarke y Warwick (2001), puesto que la pérdida de información no es significativa comparada a una identificación a nivel de género o especie. La identificación se llevó a cabo con la ayuda de microscopio, estereomicroscopio y con la ayuda de bibliografía especializada (Figura 7).

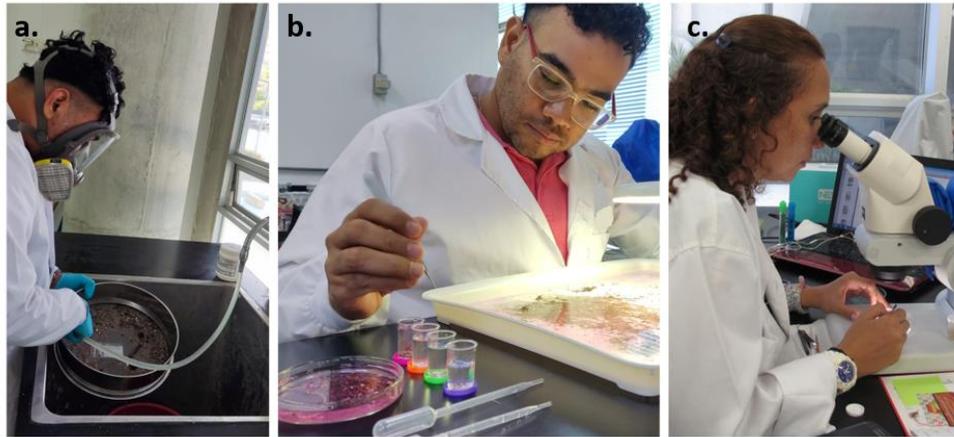


Figura 7. Fase de laboratorio. a. Proceso de lavado y eliminación de los residuos del fijador y las fracciones más finas del sedimento; b. Separación de la macroinfauna en grupos taxonómicos y c. Identificación hasta familia de cada uno de los phyla mayores.

8.1.4 Tratamiento de la Información

Inicialmente se construyeron matrices de las abundancias de los organismos por familia, para cada una de las estaciones de muestreo (

Anexo 2). Se elaboraron gráficos de torta para representar: I) densidad que indica el número de individuos ($\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$) y II) riqueza que es el número de familias, para poder visualizar el comportamiento entre las estaciones.

Con el fin de evaluar el grado de complejidad de la comunidad y las variaciones en cada una de las estaciones, se utilizaron los siguientes descriptores, con los cuales se elaboró un gráfico para facilitar el análisis de esta información:

- Índice de Margalef (1958) (d): Riqueza que supone una relación entre el número de especies y el número total de individuos.
- Índice de Shannon-Weaver (1949) (H'): Medición y comparación de la diversidad biológica.
- Índice de Uniformidad de Pielou (1969) (J'): Medición de la equidad en la distribución de especies en la comunidad.

Para la aplicación de las técnicas multivariadas, se transformó con raíz cuadrada la matriz de datos de abundancia, usando los umbrales establecidos con la ley de Taylor, para alcanzar el supuesto de normalidad en los datos para distribuciones agregadas (Taylor *et al.*, 1961) (Anexo 3). Esta transformación permite ponderar tanto la taxa común como las raras en el análisis comunitario (Clarke y Warwick, 2001). Conjuntamente, se empleó los análisis de: I) clasificación: mediante la técnica de ligamiento promedio no ponderado (UPGMA) y usando como medida de similaridad el índice de Bray-Curtis; y II) ordenación: mediante la técnica de escalamiento multidimensional no métrico (nMDS- Non-metric Multi-Dimensional Scaling). Adicionalmente, se empleó el índice de Bray-Curtis con el cual se puede comparar la similitud entre un conjunto de datos, cuanto más cercano a cero es el valor, mayor será la similitud entre las muestras (Clarke y Warwick, 2001); todo con el fin de identificar patrones espaciales. Se debe tener en cuenta el valor de estrés que arroja esta clasificación, teniendo en cuenta que ese es el criterio de aceptación de las agrupaciones

formadas o no en cada diagrama de ordenación (Coeficiente de estrés clasificado en la escala (Clarke y Warwick (1990)).

Con el fin de determinar diferencias significativas, entre los grupos que se formaron en términos de la composición y abundancia de individuos de la comunidad, se empleó el análisis multivariado ANOSIM (análisis de similaridad). Este análisis parte de matrices de rangos de similaridad obtenidas a partir de los datos de abundancia (Clarke y Warwick, 2001). Adicionalmente, se empleó la técnica SIMPER (Similarity Percentage o Porcentaje de similitud), método para calcular la contribución de las familias entre los grupos formados con los análisis de clasificación y ordenación; y examinar cuales fueron los grupos de discriminación, evaluando el cociente entre la disimilaridad promedio y la desviación estándar (Clarke y Warwick, 2001).

Con el propósito de determinar factores que pudieran influir en la conformación de la macrofauna asentada en los fondos blandos del área de interés, se empleó un análisis de correlación de Pearson diagramada en Rstudio. Este consiste en un análisis de relación lineal entre dos conjuntos de datos numéricos, determinando si existe una asociación estadística midiendo la fuerza de la relación. Los rangos de esta correlación van de -1 a 1, indicando un valor de 0 que no hay asociación entre las variables y mayor a 0 que la asociación es positiva y un valor menor que 0 indica una asociación negativa. En otras palabras, a medida que aumenta el valor de una variable, el valor de la otra disminuye (Clarke y Warwick, 2001).

Finalmente, para identificar las variables ambientales que ejercieron impacto en la composición de la macroinfauna, se aplicó el análisis BIO-ENV, en el programa estadístico PRIMER v 6.0 (Clarke y Warwick, 2001). Se escogieron las variables principales que mostraban una asociación directa con la comunidad. De este modo, se utilizaron como componente ambiental las siguientes variables: Profundidad en metros (Pro), Salinidad en ppm (Sal), Temperatura (T°C), Oxígeno Disuelto en ppm (OD), pH, Metano en ppm (Met), Sumatoria de Hidrocarburos en ppm (SumHi), Porcentaje de Lodos (%Lod) y Porcentaje de Arenas (%Are). Este análisis se basa en la maximización de la correlación entre los elementos de las matrices de similitud biótica (utilizando el índice de Bray-Curtis) y abiótica (calculada a partir de la Distancia Euclidiana sobre las variables ambientales normalizadas) (Clarke y Warwick, 2001) (Anexo 4). El procedimiento se repite con diferentes conjuntos de k-variables ambientales, lo que resulta en una serie de coeficientes de correlación. El coeficiente más alto obtenido entre todas las posibles combinaciones de las k-variables indica que esa combinación es la que mejor explica el patrón biológico observado en la ordenación y clasificación de los datos (Clarke y Warwick, 2001).

8.2 Resultados y Discusión de la caracterización y la correlación de la macroinfauna

8.2.1 Estructura de la Comunidad

8.2.1.1 Atributos Ecológicos

- **Composición y Densidad**

Los phyla mayores de la comunidad macroinfaunal asentada en los fondos blandos de la cuenca costa afuera del Sinú, Moñitos – Córdoba, frente al Golfo de Morrosquillo, está compuesta por 94

familias, 14 clases, 2 órdenes, 2 subórdenes, 1 infraorden, 1 subsección y 1 superfamilia, para un total de **115** taxa, distribuidos en 4 phyla: Annelida, Arthropoda, Mollusca y Echinodermata. Adicionalmente, el total de organismos registrados en las 19 estaciones muestreadas fue de 1414 individuos (Anexo 2) (Figura 8).

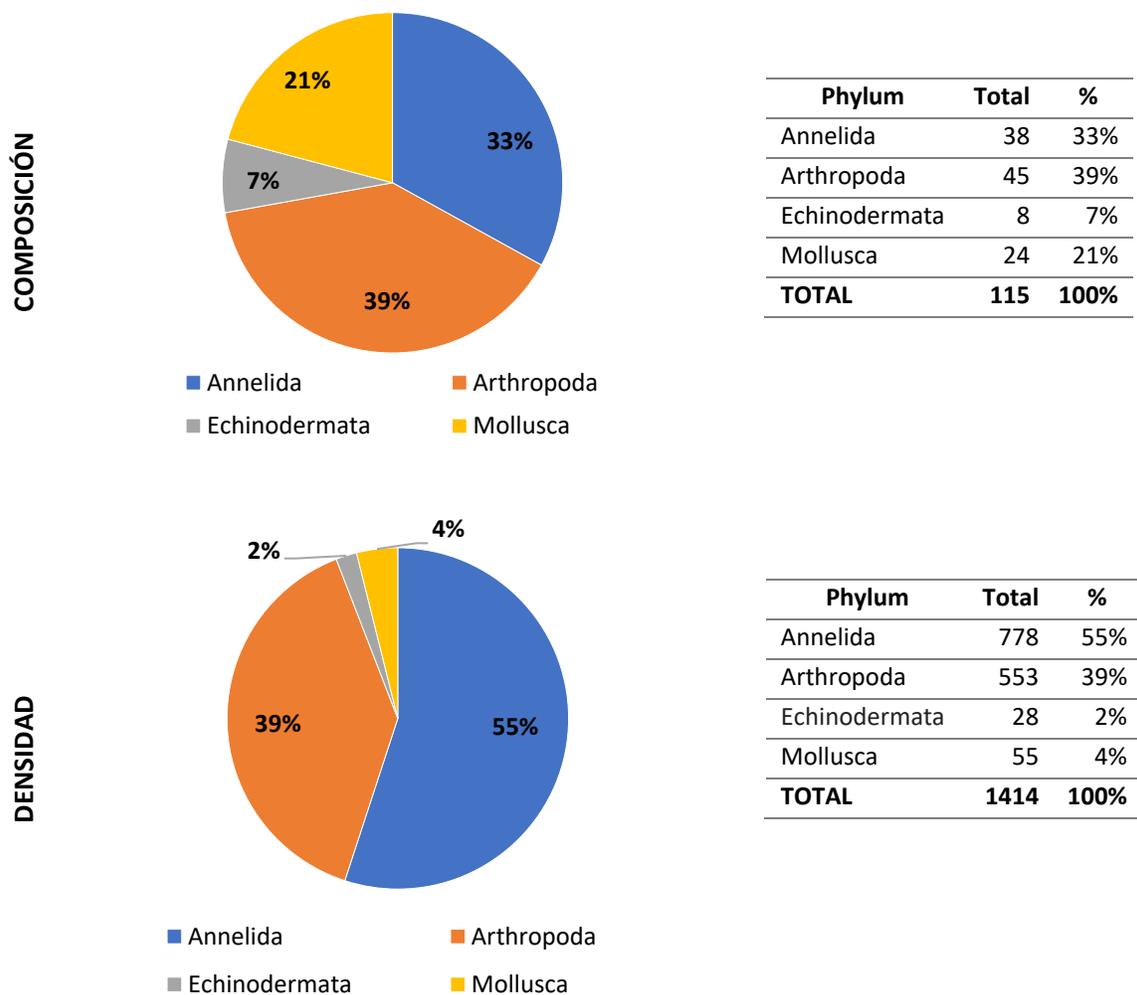


Figura 8. Contribución por phylum a la composición y densidad de la comunidad macroinfaunal asociada a filtraciones de metano, asentada en los fondos blandos de la cuenca costa afuera del Sinú, Moñitos – Córdoba, frente al Golfo de Morrosquillo.

En este muestreo se destacaron los anélidos y artrópodos por presentar el mayor número de familias en todas las estaciones. Los anélidos aportaron un 33% en la composición y un 55% en la densidad de la comunidad macroinfaunal analizada. Seguidos por los crustáceos con un 39% en ambos atributos. Esto coincide con Gray & Elliott (2009), quienes señalan que son la clase Polychaeta (Annelida) y el subphylum Crustacea (Arthropoda), los grupos de organismos más frecuentes y abundantes en la macroinfauna.

Existen varias características que justifican la dominancia en los aportes de composición y densidad por parte de los Phyla Annelida y Arthropoda en esta investigación. Los gusanos poliquetos y los

crustáceos, en especial los del superorden peracarida, son organismos exitosos en la colonización de ambientes de fondos blandos marinos, por poseer estructuras corporales para desplazarse dentro de los sedimentos, apéndices especializadas para la alimentación, tamaño corporal y ventajas reproductivas, entre otros (Fauchald y Jumars, 1979; Winfield *et al.*, 2013; Solís-Weiss *et al.*, 2014).

Dentro de la comunidad asentada en los fondos blandos del área de interés, se destacan seis (6) familias de las 115 taxa halladas, presentando contribuciones iguales o mayores al 4%, las cuales aportan en conjunto el 31,8% de toda la abundancia encontrada en el área. Se incluyen cinco (5) familias de anélidos: Syllidae (5,1%), Maldanidae (4,5%), Pilargidae (4,5%), Lumbrineridae (4,4%) y Ampharetidae (4,1%); y la familia Ampeliscidae del grupo de los crustáceos con un 9,3%, la cual fue la mayor aportante (Figura 9; Figura 17; Anexo 5).

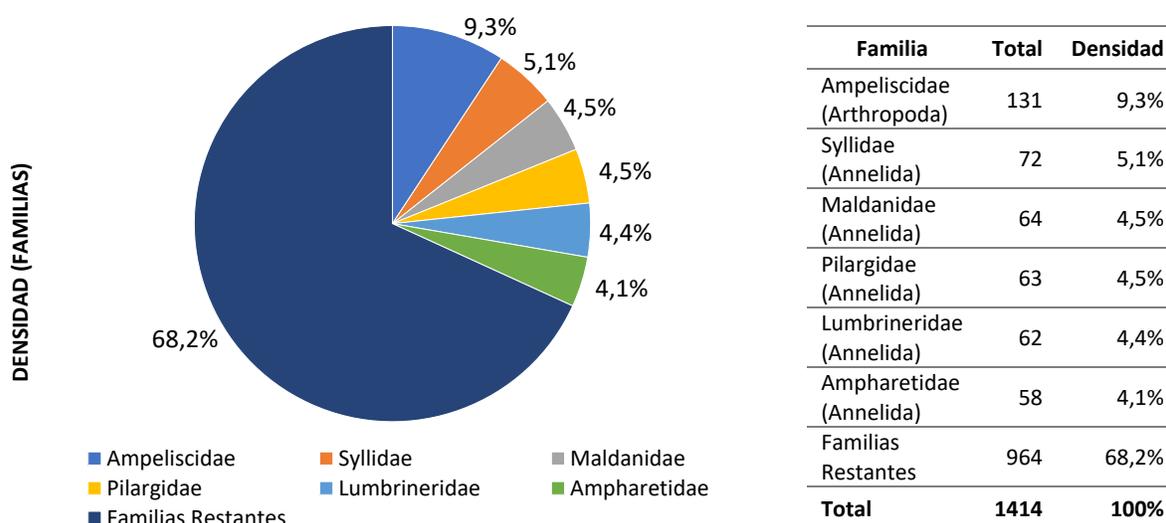


Figura 9. Contribución por familias a la densidad de la comunidad macroinfaunal asociada a filtraciones de metano, asentada en los fondos blandos de la cuenca costa afuera del Sinú, Moñitos – Córdoba, frente al Golfo de Morrosquillo.

Las estrategias adaptativas que presentan algunas familias de las comunidades bentónicas, son las que les permiten su amplia dispersión y la capacidad de formar redes tróficas en el bentos (Pocklington y Wells 1992). Ampeliscidae Krøyer, 1842 (Crustacea: Amphipoda), fue la familia más abundante con un total de 131 individuos. Esta se caracteriza por ser de amplia distribución en el mundo, a menudo siendo el grupo de anfípodos dominantes en las áreas de sedimentos finos y fondos blandos. Se alimentan por filtración de detritos orgánicos y habitan tubos que ellos mismos construyen a partir de sedimentos (King, 2009; Dauvin y Bellan, 1996).

Los gusanos poliquetos también lideraron este listado de familias más abundantes. Syllidae (aportó 72 individuos), se caracteriza por ser una familia en general tubícola, muy diversa con más de 700 especies y de amplia distribución (Aguado y Martin, 2009). Estos organismos presentan una estrategia alimenticia, la cual consiste en perforar la superficie de sus presas con su diente faríngeo y succionar con el proventrículo, encontrándose gran cantidad de estos organismos en conchas de ostras, considerados por esto carnívoros y carroñeros oportunistas en su gran mayoría; aunque

también existen registros de algunos miembros que se alimentan de algas diatomeas (Fauchald y Jumars, 1979). En el caso de los Maldanidos, son comunes en sustratos blandos y se distribuyen en todas las profundidades. Son gusanos por lo general detritívoros, tubícolas, los cuales pueden construir estos tubos durante toda su vida, para desplazarse de un lugar a otro, dependiendo esto del alimento disponible (Fauchald y Jumars, 1979; Dufour *et al.*, 2008). También se ha registrado que estos individuos pueden contribuir a la oxidación de los sedimentos que rodean sus tubos, señalan que hay un anillo de sedimento oxigenado rodeando los tubos debajo de la superficie del sedimento (Dufour *et al.*, 2008).

La familia Pilargidae, la cuarta en contribución con 63 individuos, es considerada de amplia distribución, que habita arenas y fondos blandos, desde zonas intermareales hasta aguas profundas y se especula que son omnívoras o carnívoras, puesto que no existe evidencia de eso, más allá de la observación de su anatomía (Rozbaczył y Quiroga, 2000). La familia Lumbrineridae, la siguiente en la lista, con un aporte a la densidad de 62 individuos, es considerada un grupo carnívoro y carroñero por la mayoría de autores que estudian a estos animales, aunque existen registros de estudios donde también son considerados detritívoros (Fauchald y Jumars, 1979). Son de amplia distribución, desde zonas intermareales hasta zonas profundas fangosas o arenosas, reconociendo más de 200 especies dentro de este grupo (Gomez *et al.*, 2016). Finalmente, el último aportante con 58 organismos fue la familia Ampharetidae, estos son gusanos tubícolas con amplia distribución, que se alimentan en su mayoría de detritos, utilizando sus tentáculos ciliados retractiles para recoger las partículas de alimento. Además, construyen tubos que son utilizados para la locomoción, dependiendo de la cantidad de alimento disponible (Fauchald y Jumars, 1979; Aguirrezabala y Parapar, 2014).

En general, es común la dominancia de estas familias, puesto que sus estrategias adaptativas les permite una amplia dispersión dentro de las comunidades bentónicas (Pocklington y Wells 1992; Gray y Elliott, 2009). El grupo Polychaeta es uno de los principales grupos de invertebrados a nivel mundial, son los animales más frecuentes y abundantes, al que a veces se le atribuye más de un tercio de toda la fauna macrobentónica (Knox 1977; Lara-Lara *et al.*, 2008). Es importante mencionar que las diferencias que se presentan con respecto a la abundancia y la riqueza, se deben en gran parte a la distribución por parches, característica emblemática de estas comunidades (Holme y McIntyre, 1971). Estas distribuciones no se atribuyen al azar, por el contrario, son a causa de variaciones locales o forzantes ambientales como mortalidad, épocas de reproducción, disponibilidad de alimento, reclutamiento o interacciones con otros grupos, entre otras (Fauchald y Jumars, 1979; Clarke y Warwick, 2001). El sedimento es otro factor importante en estas distribuciones, numerosos estudios soportan la idea de que la distribución infaunal se correlaciona directamente con características sedimentológicas como el tamaño del grano, revelando como ciertas especies muestran afinidad a un particular tipo de sedimento (Snelgrove y Butman, 1994).

- **Composición y Densidad por Estaciones**

La composición por estaciones reveló un promedio de 26 familias ($\pm 13,05$), con un mínimo de 12 familias en la estación MSH23 y un máximo en la MSH10 con 56 familias. Ocurriendo de manera similar con la densidad mostrada por estaciones, donde el promedio fue de 74,42 ($\pm 57,32$) individuos, donde el mínimo fue en la estación MSH12 con 19 organismos y el máximo en la MSH10 con 233 individuos (Figura 10 y Figura 5).

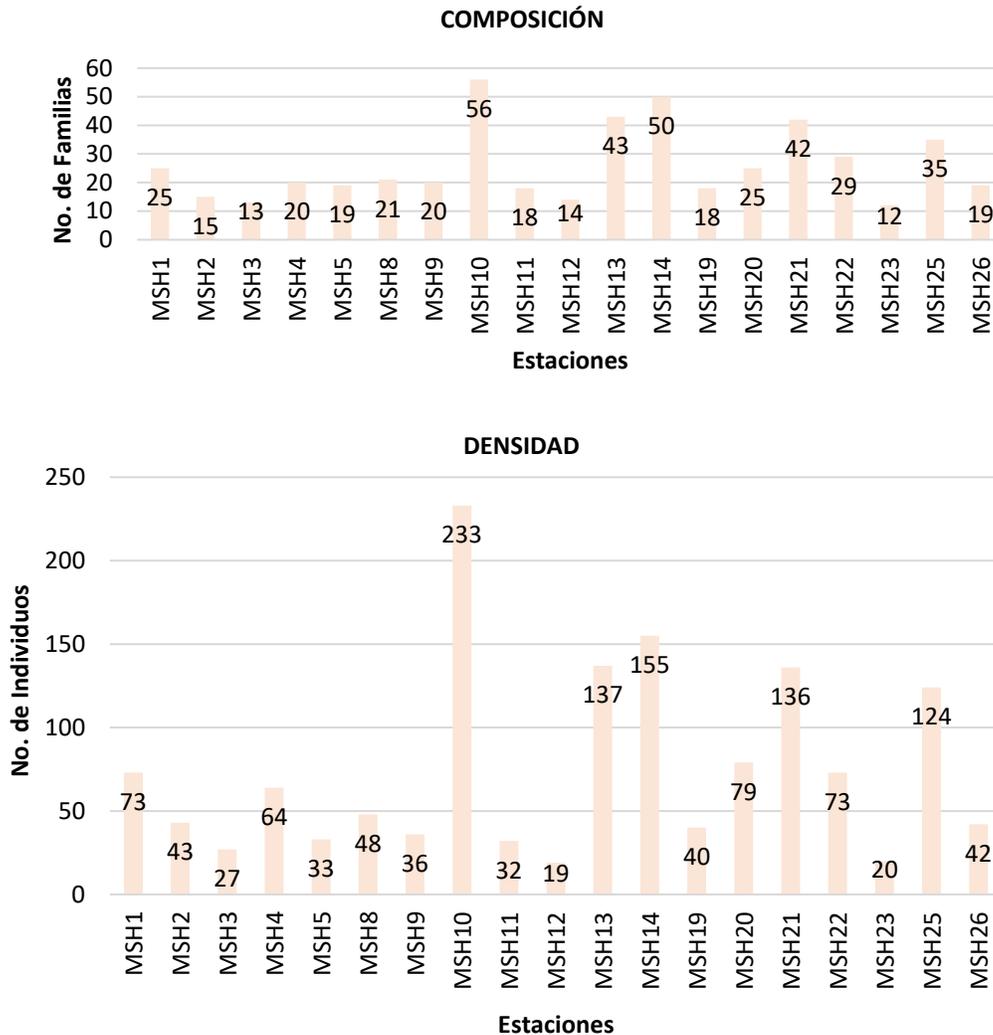


Figura 10. Contribución de la composición y densidad de la comunidad macroinfaunal asociada a filtraciones de metano, en cada estación asentada en los fondos blandos de la cuenca costa afuera del Sinú, Moñitos – Córdoba, frente al Golfo de Morrosquillo.

Estación MSH10

- **Características Generales**

Esta estación está ubicada en la parte norte del área de interés (E: 367517.80; N 1059713,50). Los datos de detección mostraron (Figura 11):

- Profundidad aproximada de 64m.
- Respuesta acústica con posibles filtraciones.
- Elevación de filtración de 20m aprox.
- Áreas con numerosos *Pockmarks.
- Nivel moderado de filtración.
- Sin detección del origen de la emanación.

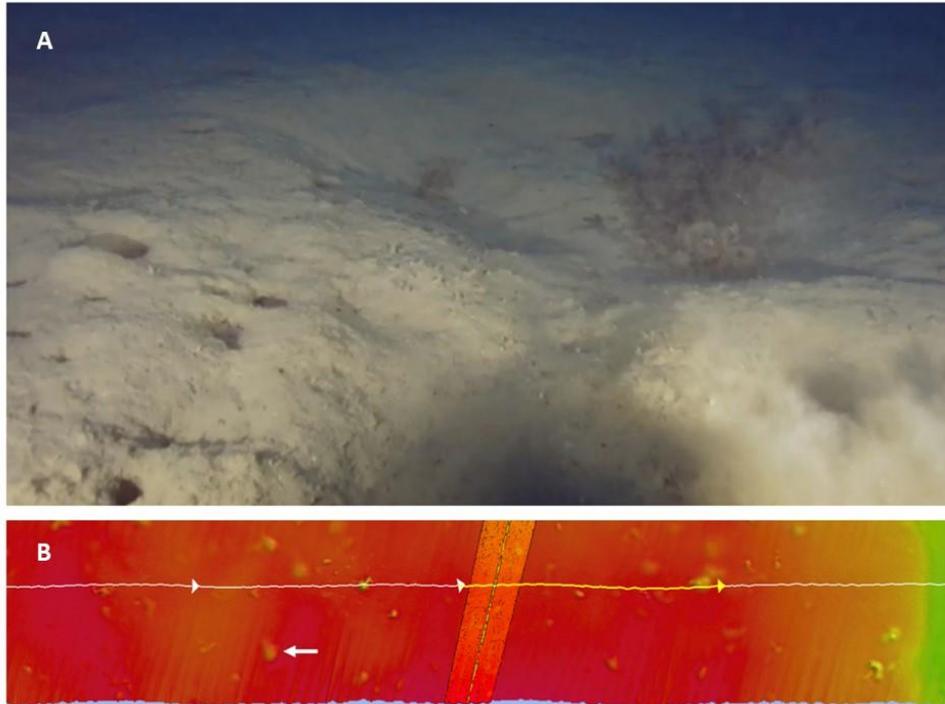
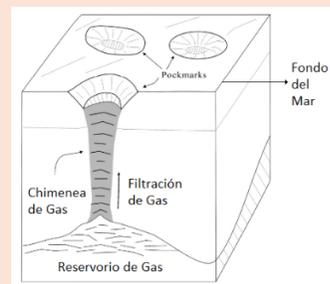


Figura 11. Imágenes tomadas por el ROV (A) y el Perfil Hidroacústico (B) de la Estación MSH10 en los fondos blandos de la cuenca costa afuera del Sinú, Moñitos – Córdoba, frente al Golfo de Morrosquillo. La flecha blanca señala como se visualizan los *Pockmarks.

*** Pockmarks** o marcas de viruela, son depresiones semicirculares en áreas donde hay gas presente en sedimentos cercanos a la superficie y se forman cuando el fluido escapa hacia arriba a través de sedimentos de grano fino del fondo marino. En estas zonas es común el escape de gas en forma de burbujas, que a su vez sustentan comunidades de respiraderos (Cathles and Chen, 2010).

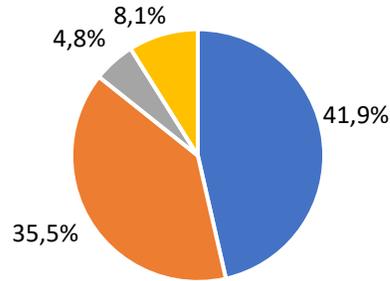
Imagen tomada y modificada de Cathles and Chen (2010)



- **Atributos Ecológicos**

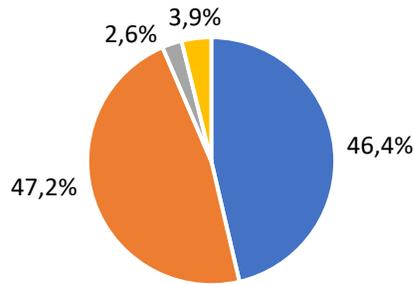
La estación MSH10 la conforma un total de **233** individuos distribuidos en **62** taxa. Los anélidos fueron el phylum con mayor aporte en la composición con un 41,9%, seguido de los artrópodos con un 35%. Con respecto a la abundancia fue el grupo de los artrópodos los más conspicuos con un 47,2%, seguido de los anélidos con un 46,4% (Figura 12).

COMPOSICIÓN



■ Annelida ■ Arthropoda ■ Echinodermata ■ Mollusca

ABUNDANCIA



■ Annelida ■ Arthropoda ■ Echinodermata ■ Mollusca

Phylum	Total	%
Annelida	26	41,9%
Arthropoda	22	35,5%
Echinodermata	3	4,8%
Mollusca	5	8,1%
TOTAL	62	100%

Phylum	Total	%
Annelida	108	46,4%
Arthropoda	110	47,2%
Echinodermata	6	2,6%
Mollusca	9	3,9%
TOTAL	233	100%

Figura 12. Contribución por phylum a la composición y densidad de la estación MSH10 en los fondos blandos asociados a filtraciones de metano de la cuenca costa afuera del Sinú, Moñitos – Córdoba, frente al Golfo de Morrosquillo.

En la estación MSH10 se destacan cinco (5) familias, presentando contribuciones iguales o mayores al 4%, las cuales aportan en conjunto el 33% de toda la abundancia encontrada en la estación. Estas familias son muy similares a las arrojadas por el análisis de este atributo de abundancia en la general en todas las estaciones estudiadas. El crustáceo de la familia Ampeliscidae sigue siendo el mayor aportante con un 12%, seguida del anélido Syllidae con un 7%. Este listado incluyó dos familias nuevas, Cirratulidae (Annelida) y Serolidae (Arthropoda), ambos con un aporte de 4% (Figura 13; Figura 17; Anexo 5).

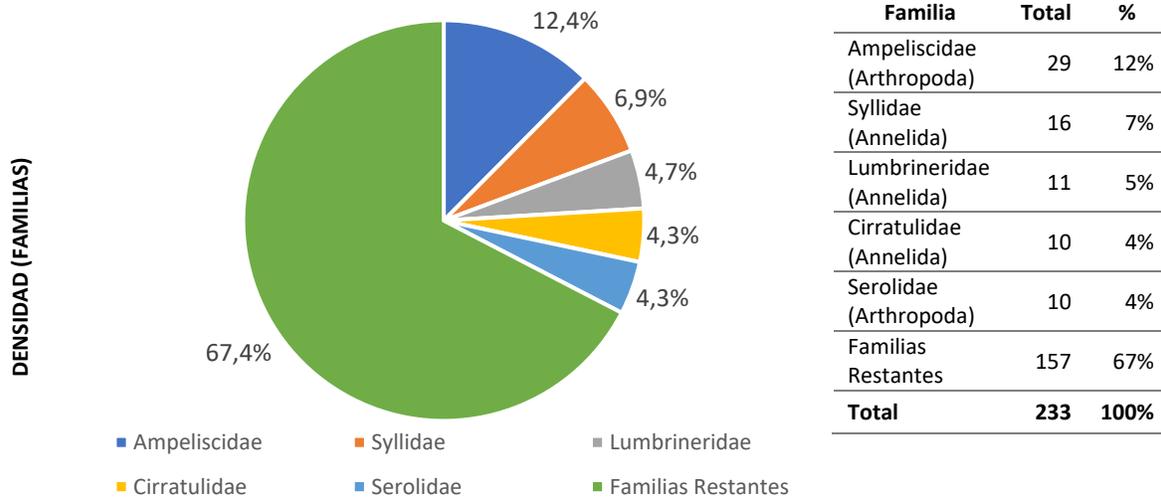


Figura 13. Contribución por familias a la densidad de la estación MSH10 en los fondos blandos asociados a filtraciones de metano de la cuenca costa afuera del Sinú, Moñitos – Córdoba, frente al Golfo de Morrosquillo.

Los cirratulidos son gusanos de vida libre, aunque algunas especies habitan en tubos calcáreos cubiertos de fango. Otras especies se registran como perforadoras de corales u otros sustratos calcáreos. Se consideran en su mayoría detritívoros, con la capacidad de vivir desde en zonas intermareales hasta en océanos profundos (Fauchald y Jumars, 1979; Díaz y Liñero, 2004). Algunas especies muestran la capacidad de habitar zonas muy contaminadas (Díaz y Liñero, 2004). La familia Serolidae (Crustacea: Isopoda), son un grupo de organismos bentónicos que se distribuyen desde las plataformas continentales hasta los océanos profundos (Held, 2000; Poore y Bruce, 2012). Es poca la información que se encuentra sobre esta familia aparte de descripciones taxonómicas o nuevas especies identificadas. Sin embargo, durante mucho tiempo se consideró que este grupo se distribuía en el hemisferio sur, específicamente en el Océano Austral y aguas Antárticas. Pero hoy se conoce que su distribución abarca aguas tropicales y subtropicales y zonas que aún quedan por descubrir (Bruce, 2009). Al igual que las familias más conspicuas señaladas a nivel general, los cirratulidos también presenta las mismas características de distribución y comportamiento, que justifican su presencia en esta zona de fondos blandos (Fauchald y Jumars, 1979).

Aunque son pocos los estudios ecológicos asociados a los Pockmarks y lo descrito son principalmente observaciones realizadas utilizando ROV durante estudios geológicos, si se ha logrado atribuir un aumento de biodiversidad en estas áreas, probablemente por otorgar refugios para la biota (Webb *et al.*, 2009), dado que la fauna allí presente excava sedimentos y los bioturba modificando la topografía de la superficie (Webb, 2009). Algunas investigaciones muestran densidades más altas de macrofauna, pero con una riqueza taxonómica menor que en los sedimentos de fondo (Menot *et al.*, 2010) y otras, productividad biológica espectacularmente mayor en comparación con los sedimentos circundantes (Hovland y Judd, 1988). Con lo que se podría justificar estos altos valores de la densidad y la riqueza en esta estación.

8.2.1.2 Índices Ecológicos

La evaluación de los índices ecológicos de la macroinfauna asentada en los fondos blandos del área de interés, muestra una comunidad con alta riqueza, diversidad y uniformidad (Figura 14). El promedio de riqueza obtenido con el índice de Margalef (d) fue de 5,8 ($\pm 1,9$), siendo este un valor alto para el área de estudio. Margalef (1995), indica que valores superiores a cinco (5) evidencia que existe una proporción relativamente alta de especies diferentes, comparado con el número total de individuos en la muestra, en otras palabras, áreas con una alta representación de su biodiversidad.

El índice de diversidad de Shannon-Weaver (H'), el cual incorpora en un solo valor a la riqueza específica y a la equitatividad, muestra también un alto valor en su promedio 4,1 ($\pm 0,5$). Los valores de este índice oscilan entre 0 y 5, siendo más cercanos a 5 a medida que las familias estén representadas por el mismo número de individuos, revelando que este valor mayor a cuatro (4) indica que la comunidad en estudio tiene un alto grado de diversidad de especies (Shannon-Weaver, 1949). Asimismo, el índice de uniformidad (J') mostró un promedio de 0,9 ($\pm 0,03$), indicando que la diversidad de especies está distribuida de manera uniforme, dando señales positivas en cuanto a la salud y estabilidad del ecosistema, debido a que estos valores se relacionan con resiliencia y capacidad de recuperación frente a perturbaciones ambientales (Magurran y McGill, 2010).

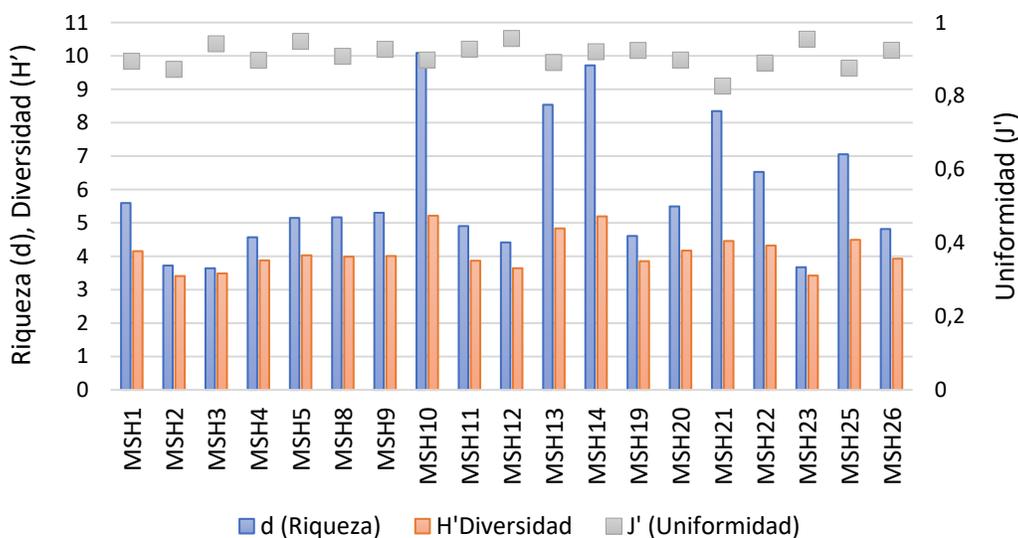


Figura 14. Descriptores comunitarios: Riqueza de Margalef (d), diversidad de Shannon-Weaver H' (\log_2) y uniformidad de Pielou (J'), de la macroinfauna encontrada.

8.2.1.3 Variación espacial

El análisis de clasificación (Figura 15), mostró cierta tendencia a la formación de dos grupos y cuatro estaciones independientes, con un porcentaje de similitud de más del 40%. El primer grupo estuvo conformado por las estaciones: MSH1, MSH2, MSH3, MSH4, MSH5, MSH8 y MSH9. El segundo grupo por MSH10, MSH13, MSH14, MSH19, MSH20, MSH21, MSH22 y MSH25 (Figura 5). Las cuatro (4) estaciones que quedaron por fuera de esta agrupación fueron la MSH11, MSH12, MSH23 y MSH26 (Figura 5). Resultado corroborado con el análisis de ordenamiento realizado por medio del escalamiento multidimensional no métrico (NMDS), donde se puede ver la separación de

estas estaciones. El valor de estrés asociado al nMDS fue de 0,1, siendo definido como bueno según Clarke y Warwick (1994), indicando que la posibilidad de que haya una mala interpretación en esta organización es muy baja.

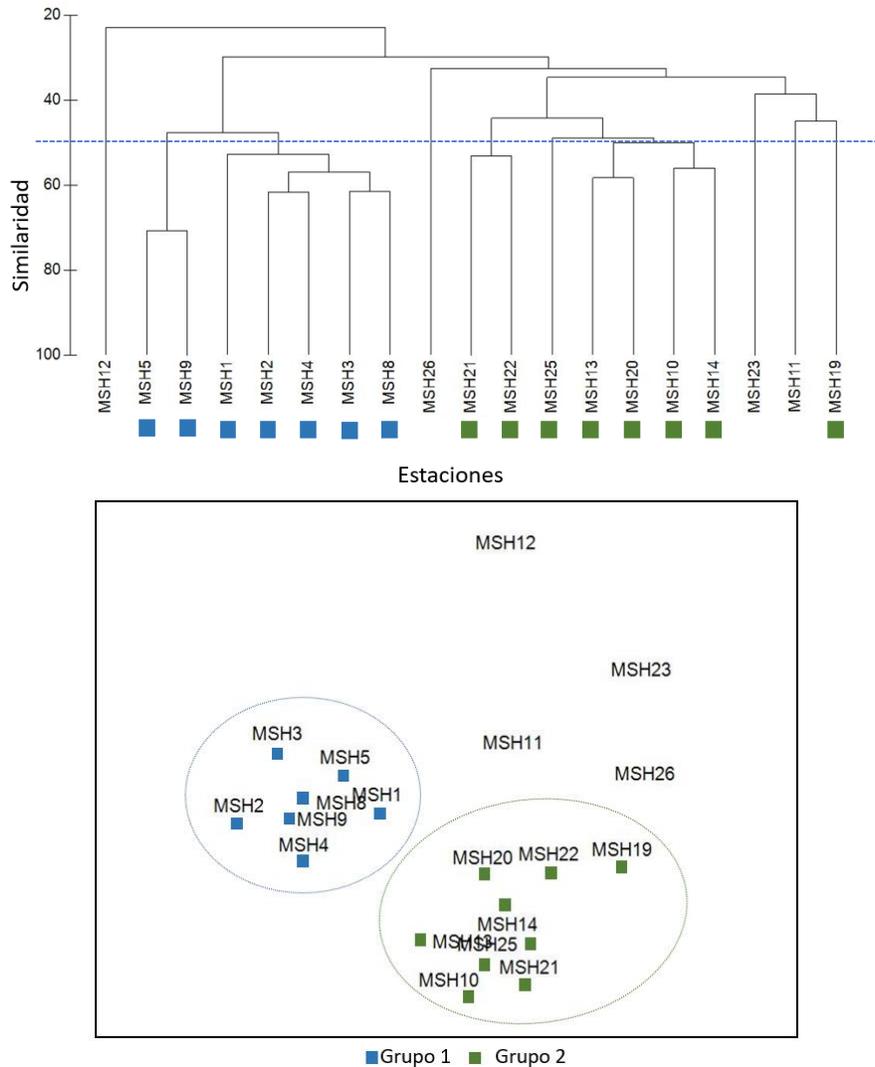


Figura 15. Análisis de clasificación y ordenación de la macroinfauna asociada a filtraciones de metano, asentada en los fondos blandos de la cuenca costa afuera del Sinú, Moñitos – Córdoba, frente al Golfo de Morrosquillo.

La prueba estadística ANOSIM a una vía, confirmó las diferencias significativas entre los grupos que se formaron en el análisis de clasificación y ordenación (Grupo 1, Grupo 2 y Grupo 3), siendo el Grupo 3 las estaciones que no quedaron agrupadas. Estos resultados se dieron con: $R= 0,849$; $p= 0,1\%$ (Tabla 2).

Tabla 2. ANOSIM a una vía para los diferentes grupos formados en el análisis de clasificación y ordenación: Grupo 1, Grupo 2 y Grupo 3, en los fondos blandos asociados a filtraciones de metano de la cuenca costa afuera del Sinú, Moñitos – Córdoba, frente al Golfo de Morrosquillo.

Grupos	R estadístico	Nivel de Significancia %
Grupo1, Grupo2	0,924	0,1
Grupo1, Grupo3	0,873	0,3
Grupo2, Grupo3	0,721	0,2

Al analizar y buscar factores que expliquen estas agrupaciones, se puede identificar que el Grupo 1 se caracteriza por sedimentos denominados Lodosos, cuyos porcentajes de lodos oscilan entre el 93 y 99%. En el Grupo 2, este porcentaje de lodos disminuye significativamente, acá los porcentajes oscilan entre el 40 y 55%, denominados Lodos Arenosos y Arenas Lodosas. La estación MSH12, fue la estación más alejada en la conformación de grupos, esto debido tal vez a que la constitución de lodos de esta área solo es del 18%, clasificándose como sedimento de Arenas. La estación MSH23, aunque dentro del rango de lodos del Grupo 2 (56%), se encuentra sobre un volcán, geoforma presente solo en esa estación. Por último, la estación MSH26, también dentro de los rangos del Grupo 2 (50%), está ubicada en otra geoforma distintiva, un domo, el cual es una estructura que se forma por la movilización de masas, abombando los estratos superiores del suelo marino¹¹. Las estaciones que conforman los Grupos 1 y 2, se localizan sobre suelos más uniformes, con atributos geomorfológicos menos abruptos (Figura 5).

Con el análisis SIMPER se muestra las familias responsables de más del 50% de las diferencias entre los grupos formados por el análisis de clasificación y ordenación: Grupo 1, Grupo 2 y Grupo 3. Según los resultados, entre el Grupo 1 y 2 existe un promedio de disimilaridad de 69,26%. Además, se puede observar como ambos grupos comparten muchas familias, pero el promedio de abundancia es mayor en el Grupo 2 (Tabla 3). Entre los Grupos 1 y 3 el promedio de disimilaridad es mucho mayor (73,88%), indicando un impacto significativo en la diferencia entre estos grupos. Aquí aparecen taxa no tan comunes y por lo general presentes solo en el Grupo 1 como Parapseudidae, Chasmocarcinidae y Cirratulidae, entre otras (Tabla 4). Finalmente, el análisis del Grupo 2 y 3 reveló un promedio de disimilaridad bastante significativo (69,91%). En este análisis se puede ver que hay taxa que no está presente en el Grupo 3 como: Cirratulidae, Eulepethidae y Synopiidae; y las abundancias promedio de la taxa que comparten son mayores en el Grupo 2 (Tabla 5). Syllidae (anélido), Spionidae (anélido), Maldanidae (anélido), Cirratulidae (anélido), chasmocarcinidae (crustáceo) y Caridea (crustáceo), fueron las familias indicadoras que consistentemente contribuyeron a las diferencias entre los grupos (Tabla 3, Tabla 4, Tabla 5), ya que ostentan los mayores cocientes SIMPER (Clarke y Warwick, 2001). Estas diferencias en el análisis SIMPER obedece más a un cambio en la composición de las familias, las cuales se mantienen en los tres (3) grupos formados. En otras palabras, es posible afirmar que la comunidad macroinfaunal es similar en todas las estaciones, con algunas variaciones de la abundancia en algunas familias.

Tabla 3. Resultados del análisis SIMPER entre los diferentes grupos formados en el análisis de clasificación y ordenación: Grupo 1 y 2. Se exponen las familias en orden decreciente de contribución a la disimilaridad promedio (Dis-Prom), hasta el acumulado que muestre el promedio de disimilaridad de cada análisis. Dis/SD, cociente Simper entre disimilaridad promedio y desviación estándar; %Dis, porcentaje de disimilaridad.

¹¹ <https://geology.com/stories/13/salt-domes/>

Familias	Abundancia Promedio		Dis-Prom 69,26	Dis/SD	%Dis	%Acum
	Grupo1	Grupo2				
Syllidae	0,14	2,74	3,04	2,77	4,39	4,39
Maldanidae	0,34	2,46	2,48	2,18	3,57	7,96
Pilargidae	0,32	2,15	2,31	1,58	3,34	11,3
Ampharetidae	0,63	2,29	2,08	1,67	3	14,29
Caridea	2,17	0,86	1,85	1,28	2,66	16,96
Chasmocarcinidae	1,47	0	1,81	2,46	2,61	19,57
Ampeliscidae	1,91	3,08	1,8	1,47	2,6	22,17
Capitellidae	0,39	1,78	1,71	1,58	2,46	24,64
Amphipoda (NC)	1,26	0	1,51	1,38	2,18	26,82
Nephtyidae	2,19	1,28	1,41	1,1	2,04	28,86
Parapseudidae	1,55	1,21	1,39	1,2	2	30,86
Eulepethidae	0	1,03	1,32	0,88	1,91	32,77
Paraonidae	1,1	1,44	1,3	1,09	1,87	34,64
Eunicidae	0,53	1,39	1,24	1,44	1,79	36,43
Synopiidae	0	1,03	1,23	1,05	1,77	38,2
Photidae	0,34	0,98	1,2	0,67	1,74	39,94
Lumbrineridae	1,93	1,72	1,15	1,03	1,66	41,61
Cirratulidae	1,29	1,57	1,1	1,13	1,59	43,19
Paratanaoidea	0	0,93	1,08	0,64	1,56	44,75
Sabellidae	0,49	1,1	1,07	1,21	1,54	46,29
Oedicerotidae	0	1,1	1,04	1,16	1,5	47,79
Spionidae	1,32	1,88	1,02	1,12	1,47	49,26
Terebellidae	0,43	0,85	1	0,92	1,45	50,71
Amphiuridae	0	1,01	0,99	1,06	1,43	52,14
Glyceridae	0	0,84	0,99	1,46	1,42	53,57
Onuphidae	0,69	0,73	0,9	1,11	1,3	54,87
Tanaidomorpha	0,14	0,83	0,89	1,17	1,29	56,16
Magelonidae	0,63	0,8	0,88	1,02	1,27	57,43
Axiidea	0,29	0,75	0,87	0,96	1,26	58,69
Dorvilleidae	0	0,63	0,84	1,14	1,21	59,9
Paranebaliidae	0	0,91	0,84	0,93	1,21	61,11
Orbiniidae	0,49	0,64	0,82	0,99	1,19	62,29
Lampropidae	0,43	0,58	0,82	0,82	1,18	63,47
Phoxocephalide	0,14	0,8	0,8	1	1,15	64,63
Aoridae	0	0,8	0,8	0,56	1,15	65,77
Serolidae	0	0,9	0,79	0,76	1,15	66,92
Nereididae	0,29	0,64	0,76	0,95	1,1	68,02
Anthuridae	0	0,6	0,75	0,72	1,09	69,11

Tabla 4. Resultados del análisis SIMPER entre los diferentes grupos formados en el análisis de clasificación y ordenación: Grupo **1 y 3**. Se exponen las familias en orden decreciente de contribución a la disimilaridad promedio (Dis-Prom), hasta el acumulado que muestre el promedio de disimilaridad de cada análisis. Dis/SD, cociente Simper entre disimilaridad promedio y desviación estándar; %Dis, porcentaje de disimilaridad.

Familias	Abundancia Promedio		Dis-Prom 73,88	Dis/SD	%Dis	%Acum
	Grupo1	Grupo3				
Caridea	2,17	0,25	4,03	2,41	5,46	5,46

Familias	Abundancia Promedio		Dis-Prom 73,88	Dis/SD	%Dis	%Acum
	Grupo1	Grupo3				
Parapseudidae	1,55	0	3,41	2,08	4,61	10,07
Chasmocarcinidae	1,47	0	3,19	2,95	4,32	14,39
Nephtyidae	2,19	0,79	3,18	1,64	4,31	18,7
Pilargidae	0,32	1,55	3,03	1,45	4,11	22,8
Lumbrineridae	1,93	0,6	2,97	1,66	4,02	26,83
Cirratulidae	1,29	0	2,72	1,85	3,68	30,51
Amphipoda (NC)	1,26	0	2,63	1,51	3,56	34,07
Eunicidae	0,53	1,45	2,5	1,41	3,39	37,46
Ampeliscidae	1,91	1,29	2,31	1,61	3,12	40,58
Spionidae	1,32	0,25	2,26	1,63	3,06	43,64
Ampharetidae	0,63	1,35	2,18	1,48	2,95	46,59
Maldanidae	0,34	1,16	2,13	1,31	2,88	49,47
Syllidae	0,14	0,85	1,91	0,98	2,58	52,05
Capitellidae	0,39	0,96	1,86	1,47	2,51	54,56
Paraonidae	1,1	0,68	1,79	1,27	2,42	56,99
Magelonidae	0,63	0,35	1,46	1,13	1,98	58,96
Onuphidae	0,69	0,5	1,31	1,14	1,78	60,74
Nuculanidae	0,63	0,25	1,25	1,05	1,69	62,43
Tellinidae	0,2	0,5	1,25	1,01	1,69	64,11
Sabellidae	0,49	0,25	1,13	0,9	1,52	65,64
Orbiniidae	0,49	0,25	1,11	0,9	1,5	67,14
Lampropidae	0,43	0,25	1,09	0,82	1,48	68,62
Polynoidae	0	0,5	1,07	0,95	1,45	70,06
Paguridae	0	0,5	1,06	0,95	1,43	71,49
Sternaspidae	0,49	0,25	1,05	0,93	1,42	72,92

Tabla 5. Resultados del análisis SIMPER entre los diferentes grupos formados en el análisis de clasificación y ordenación: Grupo 2 y 3. Se exponen las familias en orden decreciente de contribución a la disimilaridad promedio (Dis-Prom), hasta el acumulado que muestre el promedio de disimilaridad de cada análisis. Dis/SD, cociente Simper entre disimilaridad promedio y desviación estándar; %Dis, porcentaje de disimilaridad.

Familias	Abundancia Promedio		Dis-Prom 69,91	Dis/SD	%Dis	%Acum
	Grupo2	Grupo3				
Syllidae	2,74	0,85	2,51	1,84	3,6	3,6
Spionidae	1,88	0,25	2,14	2,21	3,06	6,66
Ampeliscidae	3,08	1,29	2,02	1,56	2,89	9,55
Cirratulidae	1,57	0	1,87	1,83	2,67	12,22
Maldanidae	2,46	1,16	1,83	1,43	2,62	14,84
Paraonidae	1,44	0,68	1,63	1,08	2,33	17,17
Pilargidae	2,15	1,55	1,63	1,09	2,32	19,5
Lumbrineridae	1,72	0,6	1,61	1,53	2,3	21,8
Eulepethidae	1,03	0	1,46	0,87	2,09	23,89

Familias	Abundancia Promedio		Dis-Prom 69,91	Dis/SD	%Dis	%Acum
	Grupo2	Grupo3				
Capitellidae	1,78	0,96	1,44	1,35	2,05	25,94
Synopiidae	1,03	0	1,36	1,02	1,95	27,89
Sabellidae	1,1	0,25	1,32	1,25	1,89	29,78
Parapseudidae	1,21	0	1,32	1,24	1,89	31,66
Ampharetidae	2,29	1,35	1,27	1,71	1,81	33,48
Eunicidae	1,39	1,45	1,25	1,29	1,79	35,26
Terebellidae	0,85	0,25	1,19	0,87	1,7	36,96
Paratanaoidea	0,93	0	1,18	0,64	1,68	38,65
Oedicerotidae	1,1	0,35	1,17	1,22	1,67	40,32
Nephtyidae	1,28	0,79	1,15	1,2	1,64	41,96
Photidae	0,98	0	1,1	0,52	1,58	43,54
Glyceridae	0,84	0	1,09	1,42	1,56	45,09
Amphiuridae	1,01	0,25	1,07	1,1	1,53	46,62
Tanaidomorpha	0,83	0,35	1,03	1,23	1,48	48,1
Magelonidae	0,8	0,35	1,03	0,97	1,47	49,57
Caridea	0,86	0,25	1,01	1,11	1,44	51,01
Axiidea	0,75	0,25	1	0,94	1,44	52,45
Bivalvia Morfo4	0,59	0,43	0,95	0,91	1,35	53,8
Onuphidae	0,73	0,5	0,93	1,14	1,33	55,13
Paranebaliidae	0,91	0	0,9	0,93	1,28	56,42
Aoridae	0,8	0	0,86	0,55	1,23	57,64
Serolidae	0,9	0	0,85	0,75	1,21	58,86
Nereididae	0,64	0,35	0,85	0,86	1,21	60,07
Orbiniidae	0,64	0,25	0,85	0,9	1,21	61,28
Anthuridae	0,6	0	0,84	0,71	1,2	62,48
Phoxocephalide	0,8	0	0,82	0,92	1,18	63,66
Dorvilleidae	0,63	0,25	0,79	1,01	1,13	64,79
Cirolanidae	0,68	0	0,79	1,23	1,13	65,92
Lampropidae	0,58	0,25	0,78	0,82	1,12	67,05
Bivalvia Morfo2	0,5	0	0,77	0,91	1,1	68,14
Tellinidae	0,22	0,5	0,76	1	1,08	69,23

8.2.2 Correlación de la comunidad con las variables ambientales

La correlación de Pearson, para el análisis de las variables ambientales, en primera instancia, no mostró relaciones significativas claras. Por el contrario, reveló datos que por su alta correlación señalan que existe una fuerte similitud en sus patrones de comportamiento. Esta similitud indicó que ambas variables están midiendo esencialmente lo mismo o que están influenciadas por factores muy similares. Tal es el caso de las abundancias de las familias más conspicuas en el muestreo con los índices de diversidad. En estos casos se selecciona una de las dos variables para evitar la redundancia de información (Figura 16).

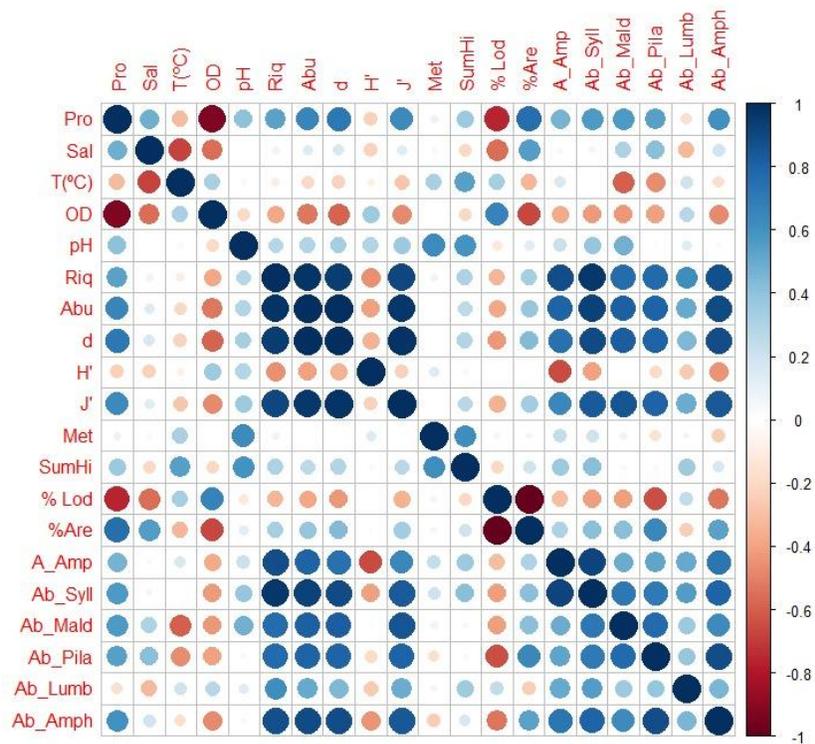


Figura 16. Matriz de Correlación de Pearson con las variables: Profundidad (Pro), Salinidad (Sal), Temperatura (T°C), Oxígeno Disuelto (OD), pH, Riqueza (Riq), Abundancia (Abu), Riqueza de Margalef (d), Diversidad de Shannon-Weaver (H'), Uniformidad de Pielou (J'), Metano en ppm (Met), Sumatorio de los Hidrocarburos en ppm (SumHi), Porcentaje de Lodos (%Lod), Porcentaje de Arenas (%Are), Abundancia de Ampeliscidae (A_Amp), Abundancia de Syllidae (Ab_Syll), Abundancia de Maldanidae (Ab_Mald), Abundancia de Pilargidae (Ab_Pila), Abundancia de Lumbrineridae (Ab_Lumb) y Abundancia de Ampharetidae (Ab_Amph).

De acuerdo con el análisis BIO-ENV, el valor Rho de 0,788 indica una correlación relativamente fuerte entre las variables bióticas y abióticas analizadas. Las variables más frecuentes en aparición en este análisis son el porcentaje de lodos (%Lod) y porcentaje de arenas (%Are). Sugiriendo con esto que, estas variables tienen una influencia significativa en la estructura de la comunidad biológica estudiada, como se indica en la sección 9.2.1.3. El nivel de significancia de 0,1 indica que esta correlación es estadísticamente significativa al nivel del 10%, lo que significa que es poco probable que se deba al azar (Tabla 6).

Tabla 6. Análisis BIO-ENV entre las variables ambientales y la información de la comunidad macroinfaunal asentada en los fondos blandos de la cuenca costa afuera del Sinú, Moñitos – Córdoba, frente al Golfo de Morrosquillo; mediante el coeficiente de correlación armónico por rangos de Spearman Rho: 0,788. Se muestran los mejores 10 resultados y la relación con el metano en el ranking 34.

Ranking	Correlación	Pro	Sal	T(°C)	OD	Met	%Lod	%Are
1	0,788		x				x	x
2	0,777						x	
3	0,777							x

Ranking	Correlación	Pro	Sal	T(°C)	OD	Met	% Lod	%Are
4	0,777						x	x
5	0,769		x				x	
6	0,769		x					x
7	0,767	x	x				x	x
8	0,748		x	x			x	x
9	0,743	x		x			x	x
10	0,742		x		x		x	x
34	0,67	x	x			x	x	x

Todos estos análisis sugieren que los factores ambientales desempeñan un papel predominante en la regulación de la distribución de organismos a gran escala (Wiens, 1989). Estos factores no solo influyen en la diversidad dentro de los ecosistemas, sino que también afectan a los sedimentos que sustentan estas comunidades (Dernie *et al.*, 2003). Los resultados obtenidos indican que las variables ambientales, como el porcentaje de arenas y el porcentaje de lodos, están fuertemente asociadas con la composición de la comunidad biológica. Esto coincide con investigaciones previas sobre macrofauna bentónica (Morales, 2001; Cortés, 2010; Sánchez-Ramírez *et al.*, 2011; Bolaño, 2019), que sugieren que el tamaño de grano de los sedimentos desempeña un papel crucial en la abundancia y distribución de estas comunidades (Guzman-Alvis y Diaz, 1996; Gray y Elliotts, 2009). Además, el tipo de sedimento también influye en la porosidad, compactación, absorción de materia orgánica y actividad microbiana, todos ellos factores importantes que afectan la abundancia y distribución de estas comunidades (Gray, 1980; De la Lanza, 1986; Calnan y Littelton, 1989; Bolaño, 2019).

Se empleó el análisis BIO-ENV para evaluar la correlación entre la presencia de metano y la estructura de la comunidad macroinfaunal. Los resultados revelaron una correlación con un valor de 0,67, lo que indica una relación moderadamente fuerte. Esto significa que a medida que varía la concentración de metano en partes por millón, también se observan cambios en la composición de la comunidad biológica. Además, el nivel de significancia fue de 0,1, lo que respalda la conclusión de que esta correlación es estadísticamente significativa y no es producto del azar.

Los estudios sobre la macroinfauna en áreas de filtraciones de metano y otros ecosistemas reductores son limitados (Graham, 1999; Levin, 2005; Gracia *et al.*, 2012; Levin *et al.*, 2016; Demopoulos *et al.*, 2018), lo que dificulta la comprensión de esta relación. A pesar de ello, se han propuesto tres (3) hipótesis para explicar la presencia de la macroinfauna en estos entornos, donde a pesar de la escasez de estudios en este campo, estas hipótesis ofrecen perspectivas valiosas:

1) *Heterogeneidad y geoquímica del hábitat*: Esta hipótesis sugiere que la estructura de la comunidad de macroinfauna está influenciada por la heterogeneidad del hábitat y las características geoquímicas de los sedimentos (Demopoulos *et al.*, 2018; Pereira *et al.*, 2021). Según este enfoque, la diversidad y abundancia de la macroinfauna están determinadas por las propiedades específicas del entorno.

Este estudio reveló una formación clara de grupos y una notable separación entre las estaciones, en función de la granulometría de los sedimentos. Un ejemplo destacado de esta divergencia se observó en la estación MSH12 (Figura 5), que presentó una disimilaridad significativamente alta, debido a que fue la única estación que presentó un bajo porcentaje de lodos, tan solo un 18%, en contraste con el resto de las estaciones, que registraron más del 40% de este tipo de sedimentos.

Sin olvidar, que la formación de los dos grandes grupos se debió al porcentaje de lodos registrado (Grupo 1: 93 al 99% y Grupo 2: 40 a 55%) (Figura 15). Sugiriendo esto que la heterogeneidad del hábitat pudo desempeñar un papel fundamental en la estructura de la comunidad macroinfaunal del área de interés.

II) *El Flujo de fluidos de filtración*: Esta hipótesis plantea que la diversidad y abundancia de la macroinfauna están vinculadas a las tasas de flujo de fluidos de filtración. Sugiere que estos factores alcanzan su punto máximo en valores intermedios de flujo de fluido y disminuyen cuando la reducción de la toxicidad del flujo de fluido supera los beneficios del enriquecimiento orgánico (Bernardino *et al.*, 2010). En otras palabras, podría requerirse un rango óptimo de flujo de fluido para que las comunidades de macroinfauna prosperen.

Aunque este estudio no tuvo como objetivo medir directamente el flujo y el fluido de las filtraciones, si se recolectaron muestras de hidrocarburos en el agua circundante de cada estación. Estos resultados revelaron la presencia de metano alrededor de todas las estaciones, lo que podría influir en la cantidad de metano presente en el sedimento. En consecuencia, la presencia de macroinfauna en estos entornos podría explicarse por el tamaño de estos individuos, que les posibilita realizar migraciones verticales en el sedimento. Esto les permite desplazarse entre las diversas fuentes acumuladas, como oxígeno, sulfuro, metano, entre otros, que se encuentran en las diferentes capas del sedimento, otorgándoles la capacidad de almacenar uno u otro recurso según sea necesario (Levin *et al.*, 2003; Levin, 2005).

III) *La variabilidad en las comparaciones de densidad*: Levin (2005), señala que existe variabilidad en la comparación de densidades de macroinfauna en áreas de filtraciones y en ambientes sin filtraciones. Esto sugiere que la relación entre la macroinfauna y la geoquímica es compleja y podría no tener una correlación simple.

Inicialmente, en el diseño del muestreo se seleccionaron dos (2) estaciones blanco o de control, una somera MSH5 y otra profunda MSH25 (Figura 5). Estas estaciones se escogieron con el propósito de realizar comparaciones con el resto de las estaciones incluidas en el estudio. La elección de estas áreas se basó en la falta de evidencia de filtraciones, según los resultados del levantamiento batimétrico multihaz y del perfilador de subsuelo (sub-bottom profiler). Sin embargo, los resultados obtenidos no revelaron diferencias significativas entre estas áreas de control y las demás estaciones. Esto confirma que las correlaciones entre las variables ambientales y la macroinfauna no son de naturaleza sencilla, como señaló Levin (2005), y que aún queda mucho por comprender acerca de estos ecosistemas.

No obstante, la homogeneidad mostrada en el área de interés podría tener otra explicación. Varios investigadores han sugerido que el área de influencia de los ecosistemas de filtración se extiende espacialmente más allá de lo esperado (Demopoulos *et al.*, 2018; Toone y Washburn, 2020). Toone y Washburn (2020) por ejemplo, registraron evidencia de quimiosíntesis, en un sitio con filtración fósil y en otro sin rastro de filtración en el prisma de acreción de Barbados, con lo que sugieren que la filtración podría ser un fenómeno generalizado y difuso en estas áreas.

Por otro lado, Demopoulos *et al.* (2018), en un estudio llevado a cabo al norte del Golfo de México, descubrieron que la mayoría de los taxa examinados (86%), se encontraron a una distancia de hasta 16 metros de los hábitats de filtración. Sugiriendo con esto qué, las comunidades macroinfaunales dependen en gran medida de la materia orgánica que se origina en las filtraciones. Revalidando la

idea de que la esfera de influencia que rodea la filtración puede ser mayor de lo que se pensaba originalmente.

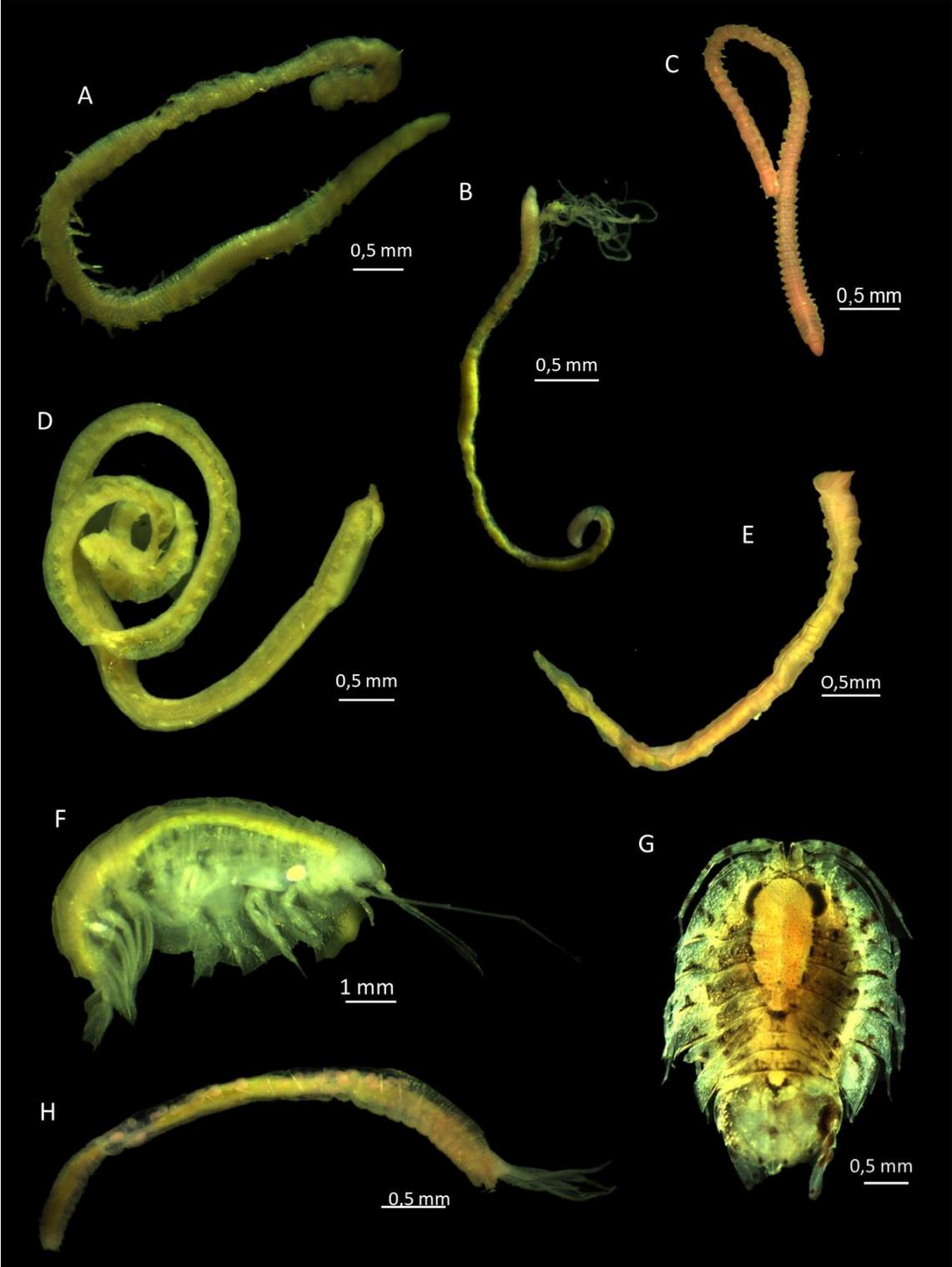


Figura 17. Familias representativas en abundancia de la macroinfauna bentónica asociada a las filtraciones de metano en los fondos blandos de la cuenca costa afuera del Sinú, Moñitos – Córdoba, frente al Golfo de Morrosquillo. A. Syllidae; B. Cirratulida; C. Lumbrineridae; D. Pilargidae; E. Maldanidae; F. Ampeliscidae; G. Serolidae; H. Ampharetidae

9 Conclusiones

La UNESCO¹², a través de su Declaración sobre la Ciencia y el Uso del Conocimiento Científico, anticipa avances sin precedentes en el campo de la ciencia, lo que requiere un debate enérgico sobre la generación y el uso del conocimiento. En este contexto, el conocimiento científico adquirido gracias a la aplicación de tecnologías en nuevos campos de investigación, se ha vuelto esencial para la toma de decisiones en procesos tanto públicos como privados. Esto refuerza la importancia de establecer disposiciones relacionadas con políticas regulatorias que incluyan la transparencia y una revisión adecuada de las prioridades. Este enfoque resulta fundamental, ya que las aplicaciones derivadas de estos avances científicos pueden traducirse en beneficios significativos para el crecimiento económico y el desarrollo humano sostenible.

Este trabajo ha tenido la oportunidad de aportar de manera significativa en el avance del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) No.14, que se enfoca en "Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos". Dentro de este ODS, la meta 14^a se centra en aumentar los conocimientos científicos, desarrollar la capacidad de investigación y transferir tecnología marina. Esto se lleva a cabo teniendo en cuenta los Criterios y Directrices para la Transferencia de Tecnología Marina de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental. El propósito de estas acciones es mejorar la salud de los océanos y potenciar la contribución de la biodiversidad marina al desarrollo de los países en desarrollo, en particular los pequeños. Estados insulares en desarrollo y los países menos adelantados. Este trabajo, al contribuir a la generación de conocimiento científico y la promoción de la tecnología marina, ha sido un actor clave en el avance de esta meta, que es esencial para preservar y aprovechar de manera sostenible los recursos marinos.

La información analizada en el transcurso de esta investigación ha permitido identificar notables brechas de conocimiento, en lo que respecta a las asociaciones de comunidades macroinfaunales en áreas de filtraciones de metano. Además, ha resaltado la limitada disponibilidad de datos en el Atlántico occidental en lo que concierne a la naturaleza y origen de los fluidos de las filtraciones, las características de los fondos marinos relacionados, así como el flujo y la composición química de los fluidos emitidos.

La implementación del "Protocolo de Muestreo, Fijación y Laboratorio para las Comunidades Bentónicas Marinas Extraídas Con Box Corer", posibilita la aplicación altamente eficiente y eficaz de este método para la manipulación, fijación y procesamiento de muestras de comunidades bentónicas marinas, asociadas a filtraciones de metano mediante el uso del Box Corer. Esta investigación allanó el camino para la expansión de metodologías previamente establecidas, en la

¹² UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) (1999), "World Conference on Science", Science Agenda/Framework for Action (Budapest, Hungary, 26 June - 1 July 1999). [www.unesco.org/science/wcs/eng/framework].

exploración de nuevos ecosistemas. Este protocolo se destaca por su elevado nivel de rigurosidad, claridad y capacidad de replicación, tal como se aplicó en el marco del proyecto "Methane Seep Hunting: A Multi-scale and Multi Method Approach".

La comunidad macroinfaunal que habita en las áreas de filtración de metano en los fondos blandos de la cuenca costa afuera del Sinú, Moñitos – Córdoba, frente al Golfo de Morrosquillo, estuvo compuesta por grupos taxonómicos que son típicos en las comunidades bentónicas de fondos blandos. En términos de riqueza de familias y abundancia, los crustáceos y los anélidos se destacaron como los grupos dominantes, lo cual concuerda con lo observado en estudios previos de fondos blandos.

El tipo de sedimento puede tener un impacto significativo en la composición de la macroinfauna que habita en los fondos blandos asociados a filtraciones de metano. Los porcentajes de lodo y arena se consideran parámetros críticos que afectan la abundancia y distribución de los organismos bentónicos marinos. Esto se debe principalmente a que el tamaño de grano del sedimento desempeña un papel fundamental en la presencia y los patrones de distribución de estas comunidades (Snelgrove y Butman, 1994; Guzman-Alvis y Diaz, 1996; Gray y Elliots, 2009). Además, la presencia de metano indica una correlación moderada con la comunidad macroinfaunal. Esta correlación puede estar influenciada por factores clave como la proximidad a los sitios de filtración, la geoquímica del sedimento y la disponibilidad de recursos alimentarios, los cuales están relacionados con la idea de que estas comunidades dependen en gran medida de la materia orgánica que proviene de las filtraciones.

10 Recomendaciones

Se recomienda facilitar la investigación para fortalecer a las instituciones científicas, universidades y organizaciones relevantes en su búsqueda de nuevos conocimientos científicos. Esto implica promover la publicación y la amplia difusión de los resultados de investigaciones, en particular aquellas que emplean nuevas tecnologías con el propósito de abordar necesidades de la población, mejorar el entorno ambiental, preservar la diversidad biológica, comprender los ciclos bioquímicos, afrontar el cambio climático y mitigar desastres naturales. Estos esfuerzos contribuyen de manera significativa al progreso de países en desarrollo, como Colombia, al fomentar la innovación y la aplicación de conocimientos científicos para abordar desafíos críticos y mejorar la calidad de vida de la población.

A pesar de las investigaciones previas sobre la fauna asociada a las filtraciones, el conocimiento acerca de la macroinfauna que habita en las filtraciones del Atlántico Occidental, el Caribe y Colombia sigue siendo limitado. Se requieren investigaciones exhaustivas que ofrezcan una comprensión integral de las comunidades de filtración, abordando aspectos tales como: I) los vínculos entre comunidades microbianas y metazoarias, II) estudios geológicos que muestren la heterogeneidad de las geofomas y su relación con las comunidades biológicas, o III) investigaciones que integren procesos geofísicos, geoquímicos, microbianos y biológicos. Además, es necesario llevar a cabo estudios destinados a cuantificar tanto el flujo y la composición del gas metano liberado por las filtraciones, como la cantidad y la tipología de hidrocarburos presentes en los sedimentos. Estas áreas representan desafíos cruciales para una comprensión completa de los ecosistemas de filtración en esta región.

11 Referencias

- Aguado, M. T., y Martín, G. S. (2009). Phylogeny of Syllidae (Polychaeta) based on morphological data. *Zoologica Scripta*, 38(4), 379-402.
- Aguirrezabalaga, F., y Parapar, J. (2014). Deep-sea Ampharetidae (Polychaeta) from Capbreton Canyon (north-east Atlantic) with the description of a new species. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 94(5), 947-967.
- Amon, D. J., Gobin, J., Van Dover, C. L., Levin, L. A., Marsh, L., y Raineault, N. A. (2017). Characterization of methane-seep communities in a deep-sea area designated for oil and natural gas exploitation off Trinidad and Tobago. *Frontiers in Marine Science*, 4, 342.
- ANH (2007). Colombian Sedimentary Basins: Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a new proposal. ISBN: 978-958-98237-0-5
- Artigas, C., y Escobar, J. (2001). *Perfil de la cooperación para la investigación científica marina en América Latina y el Caribe*. CEPAL.
- Baéz-Polo, A. (2013). Manual de métodos de ecosistemas marinos y costeros con miras a establecer impactos ambientales. Convenio para establecer el fortalecimiento de los métodos de investigación marina para actividades costa afuera por parte del sector de hidrocarburos. Invemar-ANH, Santa Marta.
- Baguley, J.G, P.A. Montagna, L.J. Hyde, R.D. Kalke Y G.T. Rowe. Metazoan meiofauna abundance in relation to environmental variables in the northern Gulf of Mexico deep sea. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*. 2006. 53, 1344-1362.
- Bayer, F. M., Voss, G. L., & Robins, C. R. (1970). *Report On The Marine Fauna And Benthic Shelf--Slope Communities Of The Isthmian Region. Bioenvironmental and Radiological-Safety Feasibility Studies, Atlantic--Pacific Interoceanic Canal* (No. BMI-171-38). Miami Univ., Fla. Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Sciences.
- Bernardino, A. F., Smith, C. R., Baco, A., Altamira, I., y Sumida, P. Y. (2010). Macrofaunal succession in sediments around kelp and wood falls in the deep NE Pacific and community overlap with other reducing habitats. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 57(5), 708-723.
- Belan, T. A. (2004). Marine environmental quality assessment using polychaete taxocene characteristics in Vancouver Harbour. *Marine environmental research*, 57(1-2), 89-101.
- Boland, G. S., y Rowe, G. T. (1991). Deep-sea benthic sampling with the GOMEX box corer. *Limnology and Oceanography*, 36(5), 1015-1020.
- Bolaño Lara, M. P. (2019). 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).

- Bowden, D.A., Rowden, A.A., Thurber, A.R., Baco, A.R., Levin, L.A. y C.R. Smith. (2013). Cold seep epifaunal communities on the Hikurangi Margin, New Zealand: Composition, succession, and vulnerability to human activities. *PLoS ONE* 8(10): e76869. doi:10.1371/journal.pone.0076869.
- Brooks, J. M., Kennicutt, M. C., Fisher, C. R., Macko, S. A., Cole, K., Childress, J. J., ... y Vetter, R. D. (1987). Deep-sea hydrocarbon seep communities: evidence for energy and nutritional carbon sources. *Science*, 238(4830), 1138-1142.
- Brown, K. and Westbrook, G. K. (1988) Mud diapirism and subcretion in the Barbados ridge accretionary complex: the role of fluids in accretionary processes. *Tectonics*, 7, 613640.
- Brothers, L. L., Van Dover, C. L., German, C. R., Kaiser, C. L., Yoerger, D. R., Ruppel, C. D., ... & Wagner, J. K. S. (2013). Evidence for extensive methane venting on the southeastern US Atlantic margin. *Geology*, 41(7), 807-810.
- Bruce, N. L. (2009). New genera and species of the marine isopod family Serolidae (Crustacea, Sphaeromatidea) from the southwestern Pacific. *ZooKeys*, 18, 17-76.
- Calnan, T. R., y Littleton, T. G. (1989). Correlation of live mollusks with sediment and bathymetry on the Texas inner shelf. *The Veliger*, 32(2): 130-146.
- Cathles, L. M., Su, Z., y Chen, D. (2010). The physics of gas chimney and pockmark formation, with implications for assessment of seafloor hazards and gas sequestration. *Marine and Petroleum Geology*, 27(1), 82-91.
- Carey, S., Ballard, R., Bell, K. L., Bell, R. J., Connally, P., Dondin, F., ... & Smart, C. (2014). Cold seeps associated with a submarine debris avalanche deposit at Kick'em Jenny volcano, Grenada (Lesser Antilles). *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 93, 156-160.
- Carvajal-Arenas, L. C., Torrado, L., Mann, P., y English, J. (2020). Basin modeling of Late Cretaceous/Mio-Pliocene (.) petroleum system of the deep-water eastern Colombian Basin and South Caribbean Deformed Belt. *Marine and Petroleum Geology*, 121, 104511.
- Chowdhury, T., Sathianarayanan, D., Palaniappan, M., Ramesh, S., y Ramadass, G. A. (2022). Jettisoning Systems of Deep-sea Manned Submersibles: A Review. *OCEANS 2022-Chennai*, 1-13.
- Clarke K.R. y Warwick R.M. 1990. Statistical analysis and interpretation of marine community data. I.O.C. Draft, Manuals and Guides 22, UNESCO, 52 p.
- Clarke K.R. y R.M. Warwick. 1994. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, 144 p.
- Clarke, K.R. y Warwick R.M. 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. Plymouth Marine Laboratory, Second Edition. PRIMER-E Ltd. United Kingdom; 165p.

- Colín-García, M., Heredia, A., Cordero, G., Camprubí, A., Negrón-Mendoza, A., Ortega-Gutiérrez, F., ... y Ramos-Bernal, S. (2016). Hydrothermal vents and prebiotic chemistry: a review. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 68(3), 599-620.
- Cordes, E. E., Carney, S. L., Hourdez, S., Carney, R. S., Brooks, J. M., y Fisher, C. R. (2007). Cold seeps of the deep Gulf of Mexico: community structure and biogeographic comparisons to Atlantic equatorial belt seep communities. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 54(4), 637-653.
- Cordes, E. E., Bergquist, D. C., & Fisher, C. R. (2009). Macro-ecology of Gulf of Mexico cold seeps. *Annual Review of Marine Science*, 1, 143-168.
- Cordes, E.E., Cunha, M.R. Galéron, J., Mora, C., Olu-Le Roy, K., Sibuet, M., Van Gaever, S., Vanreusel, A. y L.A. Levin. (2010). The influence of geological, geochemical, and biogenic habitat heterogeneity on seep biodiversity. *Marine Ecology*, 31: 51-65.
- Cortés, F. A. (2010). *Estratificación vertical y distribución horizontal de la comunidad macroinfaunal sublitoral en los sedimentos marinos* (Doctoral dissertation, Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Colombia).
- Cortes, J. E., Aguilera, R., Wilches, O., Osorno, J. F., y Cortes, S. I. (2018). Organic geochemical insights from oil seeps, tars, rocks, and mud volcanoes on the petroleum systems of the Sinú-San Jacinto basin, Northwestern, Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*, 86, 318-341.
- Crisp, D. J. (1984). Energy flow measurements. In: Holme N.A. y A.D. McIntyre (eds). *Methods for the study of the marine benthos*. IBP Handbook 16. Blackwell, Oxford. pp.284-367.
- Dauvin, J. C., y Bellan-Santini, D. (1996). Ampeliscidae (Amphipoda) from the bay of Biscay. *Journal of Crustacean Biology*, 16(1), 149-168.
- 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. Aunton. México*, 13(1), 251-286.
- Demopoulos, A. W., Bourque, J. R., Durkin, A., y Cordes, E. E. (2018). The influence of seep habitats on sediment macrofaunal biodiversity and functional traits. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 142, 77-93.
- Dernie, K. M., Kaiser, M. J., y Warwick, R. M. (2003). Recovery rates of benthic communities following physical disturbance. *Journal of animal ecology*, 72(6), 1043-1056.
- Díaz, O., y Liñero, I. (2004). Cirratulidae (Annelida: Polychaeta) de la costa oriental de Venezuela.
- Duenas, L. F., Puentes, V., León, J., & Herrera, S. (2021). Fauna associated with cold seeps in the deep Colombian Caribbean. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 103552.

- Dueñas, P. R., Campos, N. H., & Quirós, J. (2006). Composición y cambios estacionales de las poblaciones de crustáceos decápodos del departamento de Córdoba. *Universidad de Córdoba. Facultad de Ciencias Básicas e Ingenierías*, 98.
- Dufour, S. C., White, C., Desrosiers, G., y Juniper, S. K. (2008). Structure and composition of the consolidated mud tube of *Maldane sarsi* (Polychaeta: Maldanidae). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 78(2), 360-368.
- 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. y D. C. Moore. (2005). Macrofauna Techniques. 160-228 p. En: Eleftheriou, A. y A. McIntyre (eds.). *Methods for the study of marine benthos*. 3rd ed. Blackwell Science Ltd. U.K. 418 p.
- Fauchald, K., y Jumars, P. A. (1979). The diet of worms: a study of polychaete feeding guilds. *Oceanography and marine Biology annual review*.
- Gallardo, V. A., Espinoza, C., Fonseca, A., y Musleh, S. (2013). Las grandes bacterias del Sulfureto de Humboldt. *Gayana (Concepción)*, 77(2), 136-170.
- Gill, F. L., Harding, I. C., Little, C. T., y Todd, J. A. (2005). Palaeogene and Neogene cold seep communities in Barbados, Trinidad and Venezuela: An overview. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 227(1-3), 191-209.
- Gómez, S. G., Carrera-Parra, L. F., Mas, F. A., Freitas, R., y Martins, R. (2016). Novel insights on the diversity and ecology of the Family Lumbrineridae (Polychaeta) along the Iberian Peninsula coasts. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 96(7), 1427-1435.
- Gracia, A., Rangel-Buitrago, N., y Sellanes, J. (2012). Methane seep molluscs from the Sinú–San Jacinto fold belt in the Caribbean Sea of Colombia. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 92(6), 1367-1377.
- Gracia Clavijo, M. A. (2018). Meio-epifauna of Costa Rican Cold Seeps. *Centro de Estudios de Ciencias del Mar*.
- Graham, J. (1999). A new species of *Pseudotanais* (Crustacea, Tanaidacea) from cold seeps in the deep Caribbean, collected by the French submersible *Nautile*. *Zoosystema*, 21(3).
- Gray J. S. (1980). Why do ecological monitoring? *Mar. Pollut. Bull.* 11: 62–65.
- Gray, J. S., y Elliott, M. (2009). *Ecology of marine sediments: from science to management*. Oxford University Press.
- Guerra, M. T., Freitas, R., y Gaudêncio, M. J. (2012). Recommended Operational Guidelines (ROG) for grab sampling and sorting and treatment of samples. *Mesh Atlantic*, 15.

- Guzman-Alvis, A. I., y Diaz, J. M. (1996). Soft Bottom Macrobenthic Assemblages off Santa Marta, Caribbean Coast of Colombia. *Caribbean Journal of Science*, 32, 176-186.
- Guzmán-Alvis, A., O.D. Solano, M.E. Córdoba-Tejada Y A.C. López-Rodríguez. (2001). Comunidad macroinfaunal de fondos blandos someros tropicales, Caribe colombiano. *Bol. Ins. Invest. Mar. Cost.* Vol, 30: 39-66.
- Held, C. (2000). Phylogeny and biogeography of serolid isopods (Crustacea, Isopoda, Serolidae) and the use of ribosomal expansion segments in molecular systematics. *Molecular phylogenetics and evolution*, 15(2), 165-178.
- Hessler, R. R., y Jumars, P. A. (1974, March). Abyssal community analysis from replicate cores in the central North Pacific. In *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts* (Vol. 21, No. 3, pp. 185-209). Elsevier.
- Holme, N.A., A.D. McIntyre. 1971. Methods of the study of marine benthos, IPB Handbook N°16. Blackwell Sci.
- Hovland M, Judd AG (1988) Seabed pockmarks and seepages. Impact on geology, biology and the marine environment. Graham & Trotman, London
- INVEMAR. 2005. Informe del Estado de los Ambientes Marinos y Costeros en Colombia: Año 2005. (Serie de publicaciones periódicas/INVEMAR; No.8) Santa Marta. 360 p.
- ISO/FDIS 16665:2005. Water quality — Guidelines for quantitative sampling and sample processing of marine soft-bottom macrofauna. ISO/FDIS 16665. International Standard.
- Jollivet, D., Faugeres, J. C., Griboulard, R., Desbruyers, D., & Blanc, G. (1990). Composition and spatial organization of a cold seep community on the South Barbados accretionary prism: tectonic, geochemical and sedimentary context. *Progress in Oceanography*, 24(1-4), 25-45.
- Kiel, S., & Hansen, B. T. (2015). Cenozoic methane-seep faunas of the Caribbean region. *PLoS one*, 10(10), e0140788.
- Kiel, S. (2016). A biogeographic network reveals evolutionary links between deep-sea hydrothermal vent and methane seep faunas. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283(1844), 20162337.
- King, R. A. (2009). Ampeliscidae. *Zootaxa*, 2260(1), 132-142.
- Knox, G. (1977). The role of polychaetes in benthic softbottom communities, en D. Reish y K. Fauchald (eds.), *Essays of polychaetous annelids in memory of Dr. Olga Hartman*. Allan Hancock Foundation, Los Ángeles, pp. 547604
- Lalli, C., y Parsons, T. R. (1997). *Biological oceanography: an introduction*. Elsevier.

- Lara-Lara, J. R., Arenas-Fuentes, V., Bazán-Guzmán, C., Díaz-Castañeda, V., Escobar-Briones, E., García-Abad, M. D. L. C., ... y Valdez-Holguín, J. E. (2008). Los ecosistemas marinos. *Capital natural de México*, 1, 135-159.
- Levin, L. A., y Michener, R. H. (2002). Isotopic evidence for chemosynthesis-based nutrition of macrobenthos: The lightness of being at Pacific methane seeps. *Limnology and Oceanography*, 47(5), 1336-1345.
- Levin, L. A., Ziebis, W., Mendoza, G. F., Growney, V. A., Tryon, M. D., Brown, K. M., ... y Rathburn, A. E. (2003). Spatial heterogeneity of macrofauna at northern California methane seeps: influence of sulfide concentration and fluid flow. *Marine Ecology Progress Series*, 265, 123-139.
- Levin, L.A. (2005). Ecology of cold seep sediments: interactions of fauna with flow, chemistry and microbes. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 43: 1-46.
- Levin, L.A., Orphan, V.J., Rouse, G.W., Rathburn, A.E., Ussler, W., Cook, G.S., Goffredi, S.K. Perez, E.M. Waren, A., Grupe, B.M. Chadwick, G. y B. Strickrott. (2012). A hydrothermal seep on the Costa Rica margin: middle ground in a continuum of reducing ecosystems. *Proceedings of the Royal Society B*, 279 (1738): 2580-2588.
- Levin, L. A., Baco, A. R., Bowden, D. A., Colaco, A., Cordes, E. E., Cunha, M. R., ... y Watling, L. (2016). Hydrothermal vents and methane seeps: rethinking the sphere of influence. *Frontiers in Marine Science*, 3, 72.
- Longhurst, A. R. y D. Pauly. (1987). *Ecology of tropical oceans*. Academic Press, San Diego, 407p.
- Macdonald, T.A., B. J. Burd, V. I. Macdonald y A. Van Roodselaar. 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.
- Macpherson, E. (1994). Occurrence of two lithodid crabs (Crustacea: Decapoda: Lithodidae) in the cold seep zone of the South Barbados accretionary prism. *PROCEEDINGS-BIOLOGICAL SOCIETY OF WASHINGTON*, 107, 465-465.
- Magurran, A. E., y McGill, B. J. (Eds.). (2010). *Biological diversity: frontiers in measurement and assessment*. OUP Oxford.
- Mason, W. T., y 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.
- Margalef, R. (1958). Temporal succession and spatial heterogeneity in natural phytoplankton.
- Margalef, R. (1995). La ecología, entre la vida real y la física teórica. *Investigación y ciencia*, 225(1), 995.
- Mason, W.T. Y P.P. Yevich (1967). The use of phloxine B and rose bengal stains to facilitate sorting benthic samples. *Transactions of the American Microscopical Society*. 1967. 86(2), 221-223.

- Menot, L., Galéron, J., Olu, K., Caprais, J. C., Crassous, P., Khripounoff, A., y Sibuet, M. (2010). Spatial heterogeneity of macrofaunal communities in and near a giant pockmark area in the deep Gulf of Guinea. *Marine Ecology*, 31(1), 78-93.
- Morales Nuñez, A. G. (2001). Caracterización espacial en la época seca de la taxocenosis Annelida-crustacea-mollusca asociada a fondos blandos someros vegetados del costado nororiental de la Isla de San Andrés, Colombia.
- Nagano, Y., Nagahama, T., Hatada, Y., Nunoura, T., Takami, H., Miyazaki, J., ... y Horikoshi, K. (2010). Fungal diversity in deep-sea sediments—the presence of novel fungal groups. *Fungal Ecology*, 3(4), 316-325.
- Olu, K., Sibuet, M., Harmegnies, F., Foucher, J. P., y Fiala-Medioni, A. (1996). Spatial distribution of diverse cold seep communities living on various diapiric structures of the southern Barbados prism. *Progress in Oceanography*, 38(4), 347-376.
- Olu, K., Lance, S., Sibuet, M., Henry, P., Fiala-Médioni, A., y Dinét, A. (1997). Cold seep communities as indicators of fluid expulsion patterns through mud volcanoes seaward of the Barbados accretionary prism. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 44(5), 811-841.
- Olu-Le Roy, K., Von Cosel, R., Hourdez, S., Carney, S. L., y Jollivet, D. (2007). Amphi-Atlantic cold-seep *Bathymodiolus* species complexes across the equatorial belt. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 54(11), 1890-1911.
- Olu, K., Cordes, E. E., Fisher, C. R., Brooks, J. M., Sibuet, M., & Desbruyères, D. (2010). Biogeography and potential exchanges among the Atlantic equatorial belt cold-seep faunas. *PLoS one*, 5(8), e11967.
- Paull, C. K., Hecker, B., Commeau, R., Freeman-Lynde, R. P., Neumann, C., Corso, W. P., ... y Curray, J. (1984). Biological communities at the Florida Escarpment resemble hydrothermal vent taxa. *Science*, 226(4677), 965-967.
- Pereira, O. S., Gonzalez, J., Mendoza, G. F., Le, J., Coscino, C. L., Lee, R. W., ... y Levin, L. A. (2021). The dynamic influence of methane seepage on macrofauna inhabiting authigenic carbonates. *Ecosphere*, 12(10), e03744.
- Pielou, E. C. (1969). *An introduction to mathematical ecology*. New York, USA, Wiley-Inter-science.
- Philippi, T., Dixon, P., y Taylor, B. (1998). Detecting trends in species composition. En: *Ecological applications*. Vol 8. No 2. 1998. p 300-308.
- Pocklington, P., y Wells, P. G. (1992). Polychaetes key taxa for marine environmental quality monitoring. *Marine Pollution Bulletin*, 24(12), 593-598.
- Powell, E.N. & Bright, T.J. (1981). A thibios does exist — gnathostomulid domination of the canyon community at the East Flower Garden Brine Seep. *Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie* 66, 675–683.

- Powell, E.N., Bright, T.J., Woods, A. & Gittings, S. 1983. Meiofauna and the thiobios in the East Flower Garden Brine Seep. *Marine Biology* 73, 269–283.
- Robinson, C. A., Bernhard, J. M., Levin, L. A., Mendoza, G. F., y Blanks, J. K. (2004). Surficial hydrocarbon seep infauna from the Blake Ridge (Atlantic Ocean, 2150 m) and the Gulf of Mexico (690–2240 m). *Marine Ecology*, 25(4), 313-336.
- Rodríguez, B. D. (1982). Los cangrejos de la familia Portunidae (Decapoda: Brachyura) del Caribe colombiano. *An. Inst. Inv. Mar. Punta Betín*, 12: 137-184.
- Román-Berdiel, T., y Otín, P. S. (2012). Cómo reproducir diapiros en el aula. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 20(3), 262-262.
- Rozbaczył, N., y Quiroga, E. (2000). Family Pilargidae (Polychaeta): new distributional ranges and a new. *Revista chilena de historia natural*, 73, 643-651.
- Sagalevich, Anatoly M. (2018). 30 years experience of Mir submersibles for the ocean operations, Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, Volume 155, 2018, Pages 83-95, ISSN 0967-0645.
- Sánchez, C., y Permanyer, A. (2006). Origin and alteration of oils and oil seeps from the Sinú-San Jacinto Basin, Colombia. *Organic geochemistry*, 37(12), 1831-1845.
- Sánchez-Ramírez, C, J.P. Parra, D. Vega Y M.P. Bolaño. 2011. Calidad de aguas, sedimentos y comunidades hidrobiológicas en el golfo de Morrosquillo. INVEMAR, Coordinación de Servicios Científicos. Informe Técnico Final, para Araújo Ibarra S.A. Agosto. Santa Marta. 241 p. + Anexos y Mapas.
- Sanz Lázaro, C. (2011). La macrofauna del fondo marino. *Eubacteria*, nº 26 (2011).
- Sapir, A., Dillman, A.R., Connon, S.A., Grupe, B., Ingels, J., Mundo-Ocampo, M., Levin, L.A., Baldwin, J.G., Orphan, V.J. & P.W. Sternberg. (2014). Microsporidia- nematode associations in methane seeps reveal basal fungal parasitism in the deep sea. *Frontiers in microbiology*, 5(43):1-12.
- Sassen, R., MacDonald, I. R., Requejo, A. G., Guinasso, N. L., Kennicutt, M. C., Sweet, S. T., & Brooks, J. M. (1994). Organic geochemistry of sediments from chemosynthetic communities, Gulf of Mexico slope. *Geo-Marine Letters*, 14(2), 110-119.
- Shannon, C.E. y W. Weaver. 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. University Illinois Press, Urbana, IL.
- Sibuet, M., and K. Olu. 1998. Biogeography, biodiversity and fluid dependence of deep-sea cold-seep communities at active and passive margins. *Deep-Sea Research II*, 45:51–567
- Smith, E. B., Scott, K. M., Nix, E. R., Korte, C., y Fisher, C. R. (2000). Growth and condition of seep mussels (*Bathymodiolus childressi*) at a Gulf of Mexico brine pool. *Ecology*, 81(9), 2392-2403.

- Snelgrove, P. V. R., y Butman, C. A. (1995). Animal-sediment relationships revisited: cause versus effect. *Oceanographic Literature Review*, 8(42), 668.
- Steele, J.H. (Ed.). (1970). Marine food chains. University of California Press, Berkeley and Los Angeles, 552 pp.
- Solís-Weiss, V., Alcántara, P., y Barba, A. (2014). Los anélidos poliquetos del mar profundo en México. *La frontera final: el océano profundo. México: INECC-SERMANAT*, 175-214.
- Soltwedel, T. (2000). Metazoan meiobenthos along continental margins: a review. *Progress in oceanography*, 46(1), 59-84.
- Sun, Y., Gong, S., Li, N., Peckmann, J., Jin, M., Roberts, H. H., ... & Feng, D. (2020). A new approach to discern the hydrocarbon sources (oil vs. methane) of authigenic carbonates forming at marine seeps. *Marine and Petroleum Geology*, 114, 104230.
- Taylor, L. 1961. Aggregation, variance, and the mean. *Nature (Lond.)*, Vol 189: 732-735 pp.
- Thaler, A. D., Van Dover, C. L., y Vilgalys, R. (2012). Ascomycete phylotypes recovered from a Gulf of Mexico methane seep are identical to an uncultured deep-sea fungal clade from the Pacific. *fungal ecology*, 5(2), 270-273.
- Toone, T. A., y Washburn, T. W. (2020). Phytodetritus, chemosynthesis, and the dark biosphere: Does depth influence trophic relationships at deep-sea Barbados seeps. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 165, 103367.
- Tumbiolo, M. L., y Downing, J. A. (1994). An empirical model for the prediction of secondary production in marine benthic invertebrate populations. *Marine Ecol*
- Turnipseed, M., Jenkins, C. D., & Van Dover, C. L. (2004). Community structure in florida Escarpment seep and Snake Pit (Mid-Atlantic Ridge) vent mussel beds. *Marine Biology*, 145, 121-132.
- Valentine, D. L., Kessler, J. D., Redmond, M. C., Mendes, S. D., Heintz, M. B., Farwell, C., ... y Villanueva, C. J. (2010). Propane respiration jump-starts microbial response to a deep oil spill. *Science*, 330(6001), 208-211.
- Valiela, I. (1995). Marine ecological processes. Springer-Verlag, New York, 686 pp.
- Van Dover, C. L., y Lichtwardt, R. W. (1986). A new trichomycete commensal with a galatheid squat lobster from deep-sea hydrothermal vents. *The Biological Bulletin*, 171(2), 461-468.
- Vargas, C.A. (2012). Evaluating total Yet-to-Find hydrocarbon volume in Colombia. *Earth Sci. Res. J*
- Viñas, J. M. (2008). Burbujas de Metano. Tercer Milenio. Suplemento Heraldo de Aragón nº 495 (2-12-2008).

- Watanabe, H., Fujikura, K., Kojima, S., Miyazaki, J. I. y Fujiwara, Y. (2010) Japan: vents and seeps in close proximity. In *The vent and seep biota: aspects from microbes to ecosystems* (ed. S. Kiel), pp. 379–401. Netherlands: Springer. (doi:10.1007/978-90-481-9572-5_12)
- Webb, K. E. (2009). Ecology and geology of pockmarks.
- Webb, K. E., Barnes, D. K., y Gray, J. S. (2009). Benthic ecology of pockmarks in the Inner Oslofjord, Norway. *Marine Ecology Progress Series*, 387, 15-25.
- Wiens, J. A. (1989). Spatial scaling in ecology. *Functional ecology*, 3(4), 385-397.
- Winfield, I., Ortiz, M., Cházaro-Olvera, S., Lozano-Aburto, M. A., y Barrera-Escorcía, H. (2013). Peracaridos marinos bentónicos (Amphipoda, Cumacea, Isopoda y Tanaidacea). *Manual de laboratorio y campo*.
- Zande, J. M. (1999). An ascomycete commensal on the gills of *Bathynnerita naticoidea*, the dominant gastropod at Gulf of Mexico hydrocarbon seeps. *Invertebrate Biology*, 57-62.
- Zhang, T., Tang, J., Qin, S., y Wang, X. (2019). Review of navigation and positioning of deep-sea manned submersibles. *The Journal of Navigation*, 72(4), 1021-1034.

12 Anexos

Anexo 1. Información sobre el año, área, muestreador y análisis, de cada una de las investigaciones examinadas, asociadas con comunidades biológicas en filtraciones de metano.

AÑO	TÍTULO	ÁREA	MUESTREADOR	ANÁLISIS	REFERENCIA
2017	Characterization of Methane-Seep Communities in a Deep-Sea Area Designated for Oil and Natural Gas Exploitation Off Trinidad and Tobago.	Trinidad y Tobago	Vehículo de inmersión profunda (ROV/AUV)	Describe las comunidades quimiosintéticas y los ecotonos	Amon <i>et al.</i> , 2017
2012	Macrofaunal succession in sediments around kelp and wood falls in the deep NE Pacific and community overlap with other reducing habitats.	Pacífico nororiental	Vehículo de inmersión profunda (ROV/AUV)	Investigan estructura macroinfaunal implantando parcelas de algas y madera	Bernardino <i>et al.</i> , 2012
2013	Cold Seep Epifaunal Communities on the Hikurangi Margin, New Zealand: Composition, Succession, and Vulnerability to Human Activities.	Nueva Zelanda	Análisis de videos	Revisión de la ecología de la megafauna de los sitios de filtración	Bowden <i>et al.</i> , 2013
1987	Deep-sea hydrocarbon seep communities: evidence for energy and nutritional carbon sources.	Golfo de México	Vehículo de inmersión profunda (ROV/AUV)	Ensayos de enzimas, análisis de azufre elemental y estudios de moda de dióxido de carbono.	Brooks <i>et al.</i> , 1987
1988	Mud diapirism and subcretion in the Barbados ridge accretionary complex: the role of fluids in accretionary processes.	Prisma de acreción de Barbados	Seismic reflection sections and GLORIA sonographs	Análisis de Imágenes	Brown y Westbrook, 1988
2014	Cold seeps associated with a submarine debris avalanche deposit at Kick'em Jenny volcano, Grenada (Lesser Antilles).	Kick'em Jenny	Vehículo de inmersión profunda (ROV/AUV)	Observaciones preliminares de los organismos que habitan en los respiraderos, y modelo para la formación de los sumideros	Carey <i>et al.</i> , 2014
2007	Cold seeps of the deep Gulf of Mexico: Community structure and biogeographic comparisons to Atlantic equatorial belt seep communities.	Gulf of Mexico	Vehículo de inmersión profunda (ROV/AUV)	Análisis de Macro y megafauna	Cordes <i>et al.</i> , 2007
2009	Macro-Ecology of Gulf of Mexico Cold Seeps	Golfo de México	Revisión Bibliográfica	Estado actual del conocimiento de las	Cordes <i>et al.</i> , 2009

AÑO	TÍTULO	ÁREA	MUESTREADOR	ANÁLISIS	REFERENCIA
				filtraciones del norte del GoM	
2010	The influence of geological, geochemical, and biogenic habitat heterogeneity on seep biodiversity.	Mundial	Revisión Bibliográfica	Patrones e impulsores de biodiversidad en filtraciones profundas	Cordes <i>et al.</i> , 2010
2018	The influence of seep habitats on sediment macrofaunal biodiversity and functional traits.	Golfo de México	Box Corer y Vehículo de inmersión profunda (ROV/AUV)	Examinan la estructura de la comunidad de macrofauna y características ambientales en sitios de filtración	Demopoulos <i>et al.</i> , 2018
2021	Fauna associated with cold seeps in the deep Colombian Caribbean	Colombia	Sistema Towed camera	Análisis de Imágenes	Duenas <i>et al.</i> , 2021
2005	Palaeogene and Neogene cold seep communities in Barbados, Trinidad and Venezuela: An overview.	Barbados, Trinidad y Venezuela	Material de Museos de Historia Natural	Análisis de los carbonatos del Caribe del Eoceno-Mioceno y sus faunas.	Gill <i>et al.</i> , 2005
2012	Methane seep molluscs from the Sinu' –San Jacinto fold belt in the Caribbean Sea of Colombia.	Colombia	Red Semiballoon trawling	Patrones biogeográficos de los ensamblajes quimio-simbióticos	Gracia <i>et al.</i> , 2012
2018	Meio-epifauna of Costa Rican Cold Seeps.	Costa Rica	Vehículo de inmersión profunda (ROV/AUV)	Meio-epifauna, que habita en superficies sólidas (rocas, madera, material biogénico)	Gracia, 2018
1999	A new species of Pseudotanaid (Crustacea, Tanaidacea) from cold seeps in the deep Caribbean, collected by the French submersible Nautille.	Prisma de acreción de Barbados	Vehículo de inmersión profunda (ROV/AUV)	Descripción de dos tanaidáceos de filtraciones frías	Graham, 1999
1990	Composition and spatial organization of a cold seep community on the South Barbados accretionary prism: tectonic, geochemical and sedimentary context	Prisma de acreción de Barbados	Análisis de Imágenes	Observaciones de ensamblajes profundos de fauna en filtraciones frías	Jollivet <i>et al.</i> , 1990
2015	Cenozoic Methane-Seep Faunas of the Caribbean Region.	República Dominicana, Cuba, Trinidad, Venezuela y Colombia	Material de Museos de Historia Natural	Informe de nueva fauna de filtración e intentos de mejorar la datación.	Kiel and Hansen, 2015

AÑO	TÍTULO	ÁREA	MUESTREADOR	ANÁLISIS	REFERENCIA
2016	A biogeographic network reveals evolutionary links between deep-sea hydrothermal vent and methane seep faunas.	Mundial	Data set compiled from published faunal and site descriptions	Análisis de comunidades de fumarolas, filtraciones y caídas de ballenas	Kiel, 2016
2002	Isotopic evidence for chemosynthesis-based nutrition of macrobenthos: The lightness of being at Pacific methane seeps.	Pacífico norte	Vehículo de inmersión profunda (ROV/AUV)	Evaluación de la importancia del carbono derivado del metano y de la quimiosíntesis para la nutrición de la macrofauna	Levin y Michener, 2002
2003	Spatial heterogeneity of macrofauna at northern California methane seeps: influence of sulfide concentration and fluid flow.	Norte de California continental	Vehículo de inmersión profunda (ROV/AUV)	Caracterización de la estructura de la macrofauna filtrada en relación con el flujo de fluidos y la geoquímica del agua intersticial	Levin <i>et al.</i> , 2003
2005	Ecology of cold seep sediments: interactions of fauna with flow, chemistry and microbes.	Mundial	Revisión Bibliográfica	Aborda las comunidades de macrofauna y meiofauna que habitan en sedimentos de filtraciones frías, enfocándose en la interacción con procesos biogeoquímicos	Levin, 2005
2012	A hydrothermal seep on the Costa Rica margin: middle ground in a continuum of reducing ecosystems.	Costa Rica	Vehículo de inmersión profunda (ROV/AUV)	Informan sobre un ecosistema de filtración hidrotermal que representa un intermedio entre los ecosistemas de ventilación y filtración	Levin <i>et al.</i> , 2012
2016	Hydrothermal Vents and Methane Seeps: Rethinking the Sphere of Influence.	Mundial	Revisión Bibliográfica	Información general	Levin <i>et al.</i> , 2016
1994	Occurrence of Two Lithodid Crabs (Crustacea: Decapoda: Lithodidae) In The Cold Seep Zone Of The South Barbados Accretionary Prism	Prisma de acreación de Barbados	Material de Museos de Historia Natural	Se reportan dos especies de cangrejos litódidos de un área de filtraciones frías	Macpherson, 1994
2010	Fungal diversity in deep-sea sediments – the presence of novel fungal groups.	Japón	Vehículo de inmersión profunda (ROV/AUV)	Diversidad de hongos en muestras de sedimentos de aguas profundas	Nagano <i>et al.</i> , 2010

AÑO	TÍTULO	ÁREA	MUESTREADOR	ANÁLISIS	REFERENCIA
1996	Spatial distribution of diverse cold seep communities living on various diapiric structures of the southern Barbados prism.	Prisma de acreación de Barbados	Vehículo de inmersión profunda (ROV/AUV)	Descubrimiento de comunidades bénticas basadas en quimiosíntesis en estructuras afectadas por el diapirismo, incluidos volcanes de lodo, domos y una cresta anticlinal	Olu <i>et al.</i> , 1996
1997	Cold seep communities as indicators of fluid expulsion patterns through mud volcanoes seaward of the Barbados accretionary prism.	Prisma de acreación de Barbados	Vehículo de inmersión profunda (ROV/AUV)	Descripción de las comunidades a partir de registros de video y fotografías, así como muestras	Olu <i>et al.</i> , 1997
2007	Amphi-Atlantic cold-seep <i>Bathymodiolus</i> species complexes across the equatorial belt.	Anfiatlántico a través del cinturón ecuatorial	Vehículo de inmersión profunda (ROV/AUV)	Estudio morfológico de <i>Bathymodiolus</i> de Amphi-Atlantic	Olu <i>et al.</i> , 2007
2010	Biogeography and Potential Exchanges Among the Atlantic Equatorial Belt Cold-Seep Faunas.	Cinturón Ecuatorial Atlántico	Revisión Bibliográfica	Un nuevo análisis de similitud entre colecciones de fauna	Olu <i>et al.</i> , 2010
1984	Biological Communities at the Florida Escarpment Resemble Hydrothermal Vent Taxa.	The Florida Escarpment	Vehículo de inmersión profunda (ROV/AUV)	Descubrimiento de densas comunidades biológicas de grandes taxones de epifauna que se encuentran a lo largo de los respiraderos	Paull <i>et al.</i> , 1984
2021	The dynamic influence of methane seepage on macrofauna inhabiting authigenic carbonates.	Costa Rica	Vehículo de inmersión profunda (ROV/AUV)	Analizan la composición de la comunidad, densidad y estructura trófica de invertebrados en carbonatos autigénicos.	Pereira <i>et al.</i> , 2021
1981	A Thiobios Does Exist - Gnathostomulid Domination of the Canyon Community at the East Flower Garden Brine Seep	East Flower Garden Bank, Golfo de México	Vehículo de inmersión profunda (ROV/AUV)	Nueva comunidad de organismos dominada por gnatostomúlidos	Powell and Bright, 1981
1983	Meiofauna and the Thiobios in the East Flower Garden Brine Seep.	East Flower Garden Bank, Golfo de México	Vehículo de inmersión profunda (ROV/AUV)	Examinar la estructura de la comunidad de los tiobios y el límite oxibiótico-hiobiótico	Powell <i>et al.</i> , 1983
2004	Surficial Hydrocarbon Seep Infauna from the Blake Ridge (Atlantic Ocean, 2150 m) and the Gulf of Mexico (690–2240 m).	Golfo de México	Vehículo de inmersión profunda (ROV/AUV)	Análisis de Infauna, incluidos foraminíferos y metazoosna	Robinson <i>et al.</i> , 2004

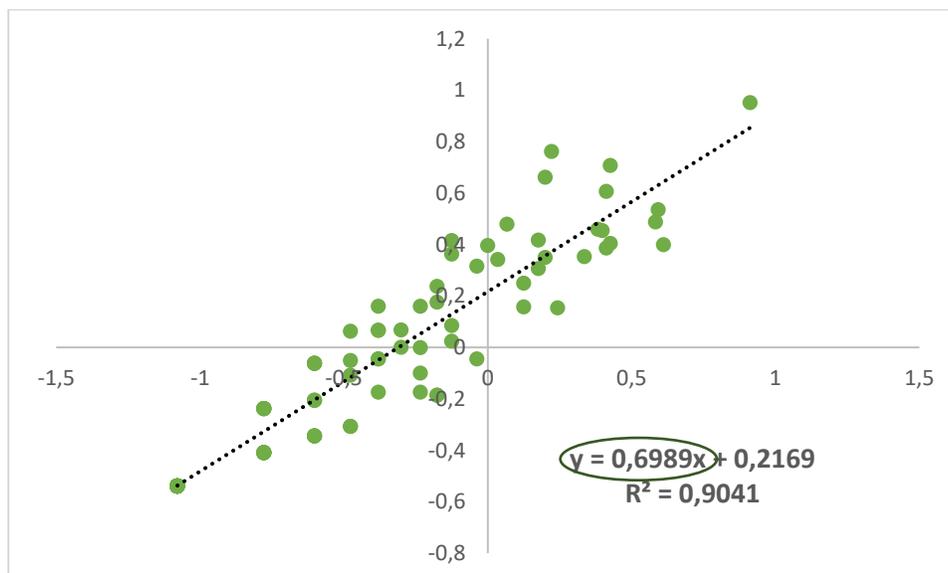
AÑO	TÍTULO	ÁREA	MUESTREADOR	ANÁLISIS	REFERENCIA
2014	Microsporidia-nematode associations in methane seeps reveal basal fungal parasitism in the deep sea.	Hydrate Ridge - Océano Pacífico	Análisis filogenéticos	Descubrimiento de un microsporidio parásito relacionado con hongos	Sapir <i>et al.</i> , 2014
1994	Organic geochemistry of sediments from chemosynthetic communities, Gulf of Mexico slope.	Golfo de México	Vehículo de inmersión profunda (ROV/AUV)	Documentación de la composición de los hidrocarburos en los sedimentos de las comunidades quimiosintéticas	Sassen <i>et al.</i> , 1994
1998	Biogeography, biodiversity and fluid dependence of deep-sea cold-seep communities at active and passive margins.	Mundial	Revisión Bibliográfica	Analizar las principales características faunísticas y ambientales de las filtraciones frías profundas	Sibuet y Olu, 1998
2020	A new approach to discern the hydrocarbon sources (oil vs. methane) of authigenic carbonates forming at marine seeps.	Golfo de México	Vehículo de inmersión profunda (ROV/AUV)	Estudio comparativo de carbonatos autígenicos de dominancia de petróleo y dominancia de metano	Sun <i>et al.</i> , 2020
2012	Ascomycete phylotypes recovered from a Gulf of Mexico methane seep are identical to an uncultured deep-sea fungal clade from the Pacific.	Golfo de México	Box Corer	Análisis de la diversidad fúngica se evaluada mediante la secuenciación de genes	Thaler <i>et al.</i> , 2012
2020	Phytodetritus, chemosynthesis, and the dark biosphere: Does depth influence trophic relationships at deep-sea Barbados seeps.	Prisma de acreación de Barbados	Vehículo de inmersión profunda (ROV/AUV)	Explora el papel del carbono derivado de la fotosíntesis en las comunidades de filtraciones batiales menos profundas y en filtraciones abisales	Toone and Washburn, 2020
2004	Community structure in Florida Escarpment seep and Snake Pit (Mid-Atlantic Ridge) vent mussel beds.	Golfo de México y Snake Pit en la Cordillera del Atlántico Medio.	Vehículo de inmersión profunda (ROV/AUV)	Comparación de la estructura comunitaria en bancos de mejillones en el sitio de filtración	Turnipseed <i>et al.</i> , 2004
1986	A new trichomycete commensal with a galatheid squat lobster from deep-sea hydrothermal vents.	Galápagos	Vehículo de inmersión profunda (ROV/AUV)	Descubrimiento de una nueva especie de hongo ecocrínido en la langosta galatheid <i>Munidopsis subsquamosa</i> .	Van Dover y Lichtwardt, 1986

AÑO	TÍTULO	ÁREA	MUESTREADOR	ANÁLISIS	REFERENCIA
2010	Japan: Vents and Seeps in Close Proximity.	Japón	Revisión Bibliográfica	Similitudes entre las comunidades de megafauna que habitan en respiraderos y filtraciones.	Watanabe <i>et al.</i> , 2010
1999	An Ascomycete Commensal on the Gills of <i>Bathynnerita naticoidea</i> , the Dominant Gastropod at Gulf of Mexico Hydrocarbon Seeps.	Golfo de México	Vehículo de inmersión profunda (ROV/AUV)	Descubrimiento de un hongo comensal en las branquias de <i>Bathynnerita naticoidea</i> , el gasterópodo dominante en las comunidades de filtraciones de petróleo	Zande, 1999

Phylum	Familia	MSH 1	MSH 2	MSH 3	MSH 4	MSH 5	MSH 8	MSH 9	MSH 10	MSH 11	MSH 12	MSH 13	MSH 14	MSH 19	MSH 20	MSH 21	MSH 22	MSH 23	MSH 25	MSH 26
Arthropoda	Iphimediidae	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4	0	0	2	0
Arthropoda	Synopiidae	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	7	3	0	2	1	0	0	0
Arthropoda	Oedicerotidae	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	1	5	0	0	3	0	0	1	2
Arthropoda	Paraneballidae	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	1	4	0	0	0	0	0	2	0
Arthropoda	Tryphosidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	0	0	1	0	0	0	0
Arthropoda	Eusiridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0
Arthropoda	Eriopisidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0
Arthropoda	Sthenothoidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Arthropoda	Leucothoidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Echinodermata	Amphiuridae	0	0	0	0	0	0	0	4	1	0	7	1	0	0	1	0	0	2	0
Echinodermata	Ophiuridae	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Echinodermata	Synaptidae	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
Echinodermata	Ophiopsilidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Echinodermata	Palaeotropidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Echinodermata	Pseudostichopodidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Echinodermata	Phyllophoridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Echinodermata	Apoda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Mollusca	Nuculanidae	1	0	1	2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mollusca	Lyonsiidae	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mollusca	Tellinidae	0	0	2	0	0	0	0	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mollusca	Olividae	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mollusca	Crassatellidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mollusca	Arcidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mollusca	Veneridae	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mollusca	Pectinidae	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mollusca	Limidae	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mollusca	Mytilidae	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mollusca	Bivalvia Morfo1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Mollusca	Bivalvia Morfo2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0
Mollusca	Bivalvia Morfo3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	1	0	0	0	0
Mollusca	Bivalvia Morfo4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	3	0	0	3
Mollusca	Bivalvia Morfo5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Mollusca	Bivalvia Morfo6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Mollusca	Bivalvia Morfo7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Mollusca	Bivalvia Morfo8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Mollusca	Gastropoda Morfo1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
Mollusca	Gastropoda Morfo2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Mollusca	Gastropoda Morfo3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Mollusca	Caudofoveata Morfo1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Mollusca	Caudofoveata Morfo2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

Phylum	Familia	MSH 1	MSH 2	MSH 3	MSH 4	MSH 5	MSH 8	MSH 9	MSH 10	MSH 11	MSH 12	MSH 13	MSH 14	MSH 19	MSH 20	MSH 21	MSH 22	MSH 23	MSH 25	MSH 26
Mollusca	Caudofoveata Morfo3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

Anexo 3. Distribución de los datos de abundancia, según la prueba de umbrales de la Ley de Taylor, de la comunidad macroinfaunal asociada a filtraciones de metano, asentada en los fondos blandos de la cuenca costa afuera del Sinú, Moñitos – Córdoba, frente al Golfo de Morrosquillo.



Anexo 4. Variables ambientales utilizadas para la correlación de la macroinfauna asociada a filtraciones de metano, asentada en los fondos blandos de la cuenca costa afuera del Sinú, Moñitos – Córdoba, frente al Golfo de Morrosquillo. Profundidad en metros (Pro), Salinidad en ppm (Sal), Temperatura (T°C), Oxígeno Disuelto en ppm (OD), pH, Metano en ppm (Met), Sumatoria de Hidrocarburos en ppm (SumHi), Porcentaje de Lodos (%Lod) y Porcentaje de Arenas (%Are).

Estaciones	Pro	Sal	T(°C)	OD	pH	Met	SumHi	% Lod	%Are
MSH1	48	33,30	27,5	7,79	8,62	0,29	0,63	92,99	7,01
MSH2	48	32,74	27,7	7,57	8,7	1,32	1,12	98,63	1,37
MSH3	47	32,67	27,6	7,75	8,7	0,96	0,06	98,69	1,31
MSH4	56	32,74	27,6	7,69	8,74	1,58	1,07	98,51	1,49
MSH5	59	32,39	28	7,42	8,76	2	1,92	98,02	1,98
MSH8	63	32,60	27,7	7,32	8,72	0,79	1,38	95,80	4,20
MSH9	64	33,37	27,4	7,46	8,82	1,15	1,5	97,89	2,11
MSH10	70	32,81	27,8	7,43	8,82	1,92	2,34	57,26	42,74
MSH12	70	33,30	27,6	7,32	8,73	1,18	1,59	17,59	82,41
MSH14	77	33,73	26,8	7,02	8,75	0,62	0,52	54,94	45,06
MSH21	84	34,91	27,6	6,73	8,7	1,09	1,34	41,71	58,29
MSH26	66	36,38	26,9	7,25	8,75	1,73	0,85	50,39	49,61

Anexo 5. Clasificación taxonómica de la macroinfauna asentada en los fondos blandos asociados a filtraciones de metano, de la cuenca costa afuera del Sinú, Moñitos – Córdoba, frente al Golfo de Morrosquillo.

Phylum	Clase	Orden	Familia
Annelida		Amphinomida	Amphinomidae (Lamarck, 1818)
		Eunicida	Dorvilleidae (Chamberlin, 1919)
			Eunicidae (Berthold, 1827)
			Lumbrineridae (Schmarda, 1861)
			Oeonidae (Kinberg, 1865)
			Onuphidae (Kinberg, 1865)
		Phyllodocida	Eulepethidae (Chamberlin, 1919)
			Glyceridae (Grube, 1850)
			Goniadidae (Kinberg, 1866)
			Hesionidae Grube, 1850)
			Nephtyidae (Grube, 1850)
			Nereididae (Blainville, 1818)
			Phyllodocidae (Ørsted, 1843)
			Pilargidae (de Saint-Joseph, 1899)
			Pholoidae (Kinberg, 1858)
	Polynoidae (Kinberg, 1856)		
	Sigalionidae (Malmgren, 1867)		
	Polychaeta	Sabellida	Syllidae (Grube, 1850)
			Oweniidae (Rioja, 1917)
			Sabellidae (Latreille, 1825)
		Scolecida	Serpulidae (Rafinesque, 1815)
			Capitellidae (Grube, 1862)
			Cossuridae (Day, 1963)
			Maldanidae (Malmgren, 1867)
			Opheliidae (Malmgren, 1867)
			Orbiniidae (Hartman, 1942)
		Sedentaria	Chaetopteridae (Audouin y Milne Edwards, 1833)
			Magelonidae (Cunningham & Ramage, 1888)
			Poecilochaetidae (Hannerz, 1956)
			Spionidae (Hannerz, 1956)
			Ampharetidae (Malmgren, 1866)
			Cirratulidae (Carus, 1863)
			Flabelligeridae (de Saint-Joseph, 1894)
Pectinariidae (Quatrefages, 1866)			
Sternaspidae (Carus, 1863)			
Terebellida	Terebellidae (Johnston, 1846)		
Arthropoda	Malacostraca	Amphipoda	Trichobranchidae (Malmgren, 1866)
			Ampeliscidae (Krøyer, 1842)
			Amphilocheidae (Boeck, 1871)
			Aoridae (Stebbing, 1899)
			Eriopisidae (Lowry & Myers, 2013)
			Eusiridae (Stebbing, 1888)
			Iphimediidae (Boeck, 1871)

Phylum	Clase	Orden	Familia	
			Leucothoidae (Dana, 1852)	
			Liljeborgiidae (Stebbing, 1899)	
			Lysianassidae (Dana, 1849)	
			Melitidae (Bousfield, 1973)	
			Oedicerotidae (Lilljeborg, 1865)	
			Photidae (Boeck, 1871)	
			Phoxocephalidae (G.O. Sars, 1891)	
			Synopiidae (Dana, 1853)	
			Tryphosidae (Lowry & Stoddart, 1997)	
			Unciolidae (Myers & Lowry, 2003)	
	Cumacea			Bodotriidae (T. Scott, 1901)
				Diastylidae (Bate, 1856)
				Nannastacidae (Bate, 1866)
				Lampropidae (Sars, 1878)
	Decapoda			Leuconidae (Sars, 1878)
				Axiidea (de Saint Laurent, 1979)
				Caridea (Dana, 1852)
				Chasmocarcinidae (Serène, 1964)
				Diogenidae (Ortmann, 1892)
				Heterotremata (Guinot, 1977)
				Paguridae (Latreille, 1802)
				Portunidae (Rafinesque, 1815)
				Raninidae (De Haan, 1839)
				Isopoda
	Arcturidae (Dana, 1849)			
	Cirolanidae (Dana, 1852)			
	Gnathiidae (Leach, 1814)			
	Hyssuridae (Wägele, 1981)			
	Idoteidae (Samouelle, 1819)			
	Serolidae (Dana, 1852)			
	Leptostraca			Sphaeromatidae (Latreille, 1825)
				Paranebaliidae (Walker-Smith & Poore, 2001)
	Tanaidacea			Apseudidae (Leach, 1814)
Apseudomorpha (Sieg, 1980)				
Leptocheliidae (Lang, 1973)				
Parapseudidae (Gutu, 1981)				
Paratanaoidea (Lang, 1949)				
Tanaidomorpha (Sieg, 1980)				
Echinodermata	Echinoidea	Spatangoida	Palaeotropidae (Lambert, 1896)	
		Apodida	Synaptidae (Burmeister, 1837)	
	Holothuroidea	Dendrochirotida	Phylloporidae (Östergren, 1907)	
		Persiculida	Pseudostichopodidae (Miller <i>et al.</i> , 2017)	
	Ophiuroidea	Amphilepidida	Amphiuridae (Ljungman, 1867)	
		Ophiurida	Ophiuridae (Müller & Troschel, 1840)	
Ophiuroidea		Ophiopsilidae (Matsumoto, 1915)		
Mollusca	Bivalvia	Anomalodesmata	Lyonsiidae cf. (P. Fischer, 1887)	
		Arcoida	Arcidae (Lamarck, 1809)	

Phylum	Clase	Orden	Familia
		Carditoida	Crassatellidae (Férussac, 1822)
		Limida	Limidae (Rafinesque, 1815)
		Mytilida	Mytilidae (Rafinesque, 1815)
		Nuculanoida	Nuculanidae [H. Adams & A. Adams, 1858 (1854)]
		Pectinida	Pectinidae (Rafinesque, 1815)
		Veneroida	Tellinidae (Blainville, 1814)
			Veneridae (Rafinesque, 1815)
	Gastropoda	Neogastropoda	Olividae (Latreille, 1825)