

**MACROINFAUNA BENTÓNICA Y CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES EN LA
PLATAFORMA CONTINENTAL DEL CARIBE NORTE COLOMBIANO**

SHIRLY BELLO ESCOBAR

**Tesis de maestría para optar al título de
Magíster de Gestión Ambiental de Sistemas Marino Costeros**

Director

Néstor Enrique Ardila Espitia

Biólogo Marino

Doctor en Ciencias Biológicas

Codirector

Adolfo Sanjuan Muñoz

Biólogo Marino

Magíster en Gestión Ambiental en Zonas Costeras

Máster en Biodiversidad Animal

Asesor

Samuel Guillermo Núñez Ricardo

Biólogo Marino

Doctor en Oceanografía

**UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA**

PROGRAMA DE BIOLOGÍA MARINA

SANTA MARTA

2019

Macroinfauna bentónica y características ambientales en la plataforma continental del caribe norte colombiano

Shirly Bello Escobar

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Santa Marta, Colombia. shirly.belloe@utadeo.edu.co

RESUMEN

La problemática ambiental de la zona marino costera, ha llevado a la necesidad de conocer su estado a través del estudio de la macroinfauna bentónica que junto con la evaluación física, química y granulométrica pueden ser indicadores biológicos efectivos para la valoración de la calidad de los fondos blandos. Por ello, se caracterizó el ensamblaje macrobentónico infaunal asociado a la plataforma continental del Caribe norte colombiano, teniendo en cuenta la relación con algunas variables físicas y químicas del agua y los fondos blandos. Se muestrearon 14 estaciones en la época seca y 15 en la lluviosa en profundidades hasta 150 m de profundidad, en los sectores de Magdalena y La Guajira. Se midieron *in situ* con una CTDO la temperatura, la salinidad y el oxígeno en agua. Empleando una draga Van Veen (0.06 m²) se recolectó una muestra que fue usada para la caracterización del sedimento y dos dragados que conformaron una muestra para el análisis biológico. En la mayoría de las estaciones predominaron los lodos y arcillas, con sedimento tipo litoclástico y el contenido de materia orgánica fue de 8.2 ± 1.0 %. La concentración de los metales pesados fue inferior a los valores de referencia para sedimentos marinos a nivel internacional en la mayoría de las localidades e incluso hubo concentraciones inferiores al límite de detección del método analítico. La abundancia promedio de la infauna macrobentónica fue de 56.9 ± 8.3 ind $\times 0.12$ m⁻² y la biomasa promedio fue de 0.2 ± 0.04 g $\times 0.12$ m⁻² siendo en ambas variables el grupo poliquetos (51.1 % y 69.5 % respectivamente) el que mas aportó y la familia Capitellidae la más abundante (11.2 %). Se encontraron 129 taxones con 117 familias y 12 morfotipos, siendo la mayoría crustáceos (50 taxones). Las curvas ABC evidencian que no hay perturbación en el área ni temporal ni espacialmente. El ensamblaje macrobentónico, presentó un patrón de asociación espacial explicado por la profundidad y las características del sedimento.

PALABRAS CLAVE: Macroinfauna bentónica, sedimentos, Magdalena, La Guajira, metales pesados, condiciones del agua.

Benthic macroinfauna and environmental characteristics on the continental shelf of the Colombian North Caribbean

Abstract

The environmental problem of the coastal marine area has led to the need to know its status through the study of the benthic macroinfauna that together with the physical, chemical and granulometric evaluation can be effective biological indicators for the assessment of the quality of the funds soft. Therefore, the infant macrobenthic assembly associated with the continental shelf of the Colombian North Caribbean was characterized, taking into account the relationship with some physical and chemical variables of water and soft bottoms. 14 stations were sampled in the dry season and 15 in the rainy season at depths up to 150 m deep, in the Magdalena and La Guajira sectors. Temperature, salinity and oxygen in water were measured in situ with a CTDO. Using a Van Veen dredge (0.06 m^2) a sample was collected that was used for sediment characterization and two dredges that formed a sample for biological analysis. In most of the stations, sludge and clays predominated, with lithoclastic sediment and the organic matter content was $8.2 \pm 1.0 \%$. The concentration of heavy metals was lower than the reference values for marine sediments at the international level in most locations and there were even concentrations below the limit of detection of the analytical method. The average abundance of the macrobenthic infauna was $56.6 \pm 8.3 \text{ ind} \times 0.12 \text{ m}^{-2}$ and the average biomass was $0.2 \pm 0.04 \text{ g} \times 0.12 \text{ m}^{-2}$, being in both variables the polychaete group (51.1 % and 69.5 % respectively) which more contributed and the family Capitellidae the most abundant (11.2 %). 129 taxa were found with 117 families and 12 morphotypes, the majority being crustaceans (50 taxa). ABC curves show that there is no disturbance in the area either temporarily or spatially. The macrobenthic assemblage presented a pattern of the spatial association explained by the depth and characteristics of the sediment.

KEY WORDS: Benthic macrofauna, sediments, Magdalena, La Guajira, heavy metals, water conditions.

INTRODUCCIÓN

La zona marino costera del Caribe colombiano se caracteriza por tener una gran cantidad y variedad de climas, tierras aptas para la agricultura y la ganadería, aguas fluviales, recursos marinos y minerales, lo que proporciona una base para emprender un vigoroso crecimiento económico, destacándose el desarrollo del sector turístico (Observatorio del Caribe Colombiano, 2008). Sin embargo, el incremento de la actividad turística en busca de alcanzar un avance comparable con países desarrollados, ha provocado un resultado inverso en la región, presentándose un deterioro ambiental acentuado, producto de un desordenado

aprovechamiento de los recursos naturales (Rangel Buitrago, 2009). A las aguas marinas y costeras y los sedimentos marinos están llegando un sinnúmero de desechos sólidos principalmente por escorrentía, vertimientos de aguas residuales, derrames de combustibles, grasas y aceites entre otros, que no sólo afectan el bienestar y calidad de vida de la población, comprometiendo gravemente a las generaciones futuras, sino además, la reducción de las valiosas riquezas faunísticas, terrestres y marinas (Rangel Buitrago *et al.*, 2015; Alcaldía de Santa Marta, 2016; Cámara de Comercio de Santa Marta, 2017).

Esta problemática ambiental, ha llevado a la necesidad de evaluar su estado, teniendo en cuenta diferentes variables (bióticas y abióticas) dentro de los ecosistemas, que actúan como indicadores de calidad y contaminación. En este sentido, el análisis de la comunidad bentónica junto con los variables fisicoquímicas de los sedimentos y el agua, generan una herramienta efectiva para la evaluación de la calidad de los fondos blandos, facilitando el control y monitoreo de los mismos (Cañete *et al.*, 2000; Amezcua Allieri y González Macías, 2007).

Dentro de los ambientes marinos bentónicos, se puede encontrar los sustratos duros y los sedimentos (fondos blandos). Éstos últimos se definen como agregaciones de sustrato particulado de gravas, arenas, arcillas, cienos y lodos (Woodin y Jackson, 1979), que ofrecen alimento y protección a una gran cantidad de organismos denominados bentos (Díaz, 2015). Éstos, poseen una de las distribuciones más extensas del planeta, pudiendo ir desde la línea de costa hasta grandes profundidades marinas (Vegas, 1980). Su distribución en áreas someras tropicales se encuentra regulada por las lluvias, ya que la variación climática en los mares tropicales es muy pequeña (Alongi, 1989).

Estos organismos presentan diferentes formas de vida: (a) sésiles, los cuales viven unidos al sustrato, o (b) móviles, que se desplazan manteniendo contacto directo con el fondo (Hanson *et al.*, 2010). Son clasificados de acuerdo a la distribución en el sedimento como (1) hiperbentos, una asociación de organismos dependientes del fondo marino, que tienen una buena habilidad natatoria y realizan migraciones verticales diarias y estacionales por encima del fondo marino (Brunel *et al.*, 1987), (2) epifauna, organismos sésiles que se hallan sobre sustratos duros o blandos e (3) infauna, organismos en la interfase agua/sedimento cavando o perforando el sustrato (Herring, 2002). Asimismo, de acuerdo a su talla, se denominan macrofauna (organismos mayores a 500 μm), meiofauna (entre 500 y 63 μm) o microfauna (menores a 63 μm ; Fenchel, 1978). También se agrupan según el tipo de alimentación, identificándose individuos carnívoros, herbívoros, detritívoros, filtradores, omnívoros y alimentadores de depósito (Parada *et al.*, 1993).

Para efectos de este estudio, se tuvo en cuenta la macroinfauna bentónica, debido a que ha sido estudiada de forma exhaustiva dada su abundancia y a lo apropiado de su tamaño para la recolección y determinación taxonómica, lo que facilita su uso como posibles indicadores. Esta comunidad es muy diversa en taxonomía, morfología, historia de vida, movilidad y función ecológica, por lo que está representada generalmente por

organismos pertenecientes a los grupos de poliquetos, moluscos, y crustáceos, así como algunos equinodermos situados cerca al límite de la zona submareal (Lercari *et al.*, 2002). En términos de diversidad y abundancia, la clase Polychaeta es uno de los taxones más significativos en las comunidades marinas bentónicas (Hutchings, 1998; Rouse y Pleijel, 2001; Báez y Ardila, 2003).

Los factores determinantes de la composición taxonómica y la estructura de las comunidades bentónicas de fondos blandos permanentemente sumergidos son las corrientes, el oleaje y, principalmente el contenido de materia orgánica, la cantidad y tamaño de las partículas sedimentarias (Sebens, 1991). Este último es sumamente significativo, ya que poseen valor considerable de predicción, en cuanto a la clase de organismos que se pueden encontrar, debido a que el método de alimentación del bentos, experimenta un cambio a lo largo del gradiente de cieno y arena -filtración- a sustratos cenagosos o de lodo -alimentadores de depósito- (Odum, 1982; Parada *et al.*, 1993). Por otro lado, en las zonas costeras también influyen en las comunidades las variaciones de salinidad, temperatura y oxígeno disuelto en la interfase agua/sedimento (Freire *et al.*, 2002).

Estas comunidades son relevantes para el lecho marino puesto que, son los mayores consumidores secundarios, formando uno de los conjuntos vivientes donde se acumula mayor cantidad de carbono orgánico (Solano *et al.*, 2001). Asimismo, son esenciales para conjugar el aprovechamiento sostenible de los recursos marinos con el mantenimiento de los procesos ecológicos fundamentales (Freire y García Allut, 2000; Freire *et al.*, 2002), ya que son parte importante en el reciclamiento de los nutrientes de la columna de agua (Guzmán Alvis *et al.*, 2001). De igual forma, tienen un estrecho vínculo con la trama alimentaria pelágica, llevando los contaminantes hacia los niveles tróficos superiores como los peces y el hombre (Clarke y Ainsworth, 1993).

La mayoría de organismos bentónicos que están íntimamente asociados con el fondo acumulan y asimilan en sus tejidos contaminantes, actuando como indicadores de las condiciones ambientales locales (Frithsen y Holland, 1992; Buccolieri *et al.*, 2006). La acumulación y asimilación puede variar de acuerdo su sensibilidad, generando cambios en la composición, diversidad, abundancia y biomasa de las comunidades macroinfaunales. Estos cambios funcionan no sólo como indicadores de condiciones oceanográficas y sedimentológicas anormales para establecer perturbaciones naturales y/o antropogénicas, sino también son ocasionalmente empleados en programas de monitoreo, evaluación y vigilancia en algunos lugares del mundo (Theede *et al.*, 1969; Carrasco y Gallardo, 1983), que junto con el estudio de los patrones espaciales y temporales de las comunidades se ha convertido en una técnica relativamente sensible y efectiva para detectar en forma temprana cambios drásticos del ambiente (Pohle y Thomas, 2001).

En este sentido, los indicadores de calidad ambiental, con base en comunidades bentónicas tiene varias ventajas, ya que (1) presentan escasa movilidad, por lo que son más sensibles a perturbaciones físicas y químicas locales, (2) las asociaciones incluyen diversas especies que exhiben distintos grados de tolerancia

al estrés y (3) responden rápidamente a las perturbaciones, aun considerando niveles taxonómicos supraespecíficos, como géneros, familias y hasta clases (Somerfield y Clarke, 1995; Guzmán Alvis y García, 1996; Borja *et al.*, 2000).

Si bien el impacto antrópico sobre los sectores del Magdalena y La Guajira, se puede medir en forma puntual mediante indicadores simples obtenidos de la columna de agua, los sedimentos o los organismos bentónicos, está ampliamente demostrado que tales indicadores analizados individualmente, no siempre son suficientes o confiables para detectar un cambio causado por la contaminación (DelValls *et al.*, 1998). Tampoco pueden evidenciar los complejos fenómenos de interacciones entre los componentes abióticos y bióticos del ecosistema sujeto a impacto ambiental. Por lo tanto, para lograr una correcta evaluación del ambiente estudiado se requiere la utilización de métodos multivariados que consideren los factores abióticos y bióticos del sistema (DelValls *et al.*, 1998).

Sin embargo, en el Caribe norte colombiano los estudios para la evaluación del macrobentos en fondos blandos, han sido desarrollados en su mayoría con énfasis taxonómicos (Pérez y Victoria, 1978; Rodríguez Gómez, 1979; Dueñas, 1980; Laverde Castillo y Rodríguez Gómez, 1987; Rodríguez Gómez, 1988) o en sitios específicos (Guzmán Alvis y Solano, 1997; Guzmán Alvis *et al.*, 2001; Barrios *et al.*, 2011; Cortés Useche y Mendoza, 2012), y en otros casos, solamente son la explicación de las variables fisicoquímicas de los sedimentos (Trujillo *et al.*, 2009; Paramo *et al.*, 2012). Igualmente la naturaleza cualitativa del concepto de organismo indicador o bioindicador de contaminación ha llevado a diferentes investigadores a sugerir la clasificación numérica de especies o comunidades como un elemento adecuado para proveer índices semicuantitativos (Carrasco y Gallardo, 1989), pero son escasos los trabajos donde se analice su distribución en función de las características de los sedimentos y se evalué el posible efecto de la contaminación sobre estos ambientes y más insuficiente aún, los estudios llevados a cabo en el Caribe colombiano.

Es por esto que se pretende caracterizar el ensamblaje macroinfaunal bentónico asociado a la plataforma continental del Caribe norte colombiano teniendo en cuenta su relación con las variables fisicoquímicas del agua y de los fondos blandos, en procura de generar una línea base que muestre información relevante sobre el papel de las comunidades macrobentónicas infaunales como indicadoras de calidad ambiental marina.

ÁREA DE ESTUDIO

Comprende la zona norte del Caribe colombiano, entre la desembocadura del río Magdalena (11° 03' 19.8" N; 74° 33' 52.9" W) y Manaure (11° 54' 34.5" N; 72° 32' 23.8" W) hasta el veril de los 150 m de profundidad (Figura 1). La plataforma continental de esta área llega hasta los 200 m de profundidad, y varía de acuerdo a la zona, por lo que al norte de la península de La Guajira la plataforma continental es muy estrecha, con profundidades de 80 a 200 m a unas 10 mn de la costa y frente a Punta Gallinas a solo unas 3 mn (Álvarez León *et al.*, 1995). Hacia el oeste, desde el Cabo de la Vela, la plataforma se ensancha y alcanza un máximo

de unas 25 mn frente a Riohacha. Luego en inmediaciones del río Palomino vuelve a reducirse y prácticamente desaparece en el sector del PNN Tayrona y Santa Marta (Álvarez León *et al.*, 1995). Esta extensión de la plataforma, condiciona el tipo de sedimento, ya que conforme aumenta la profundidad, el sustrato se hace cada vez más blando y fino, pasando de arenas en aguas someras y llegando a ser fango o arcilla en aguas más profundas (Paramo *et al.*, 2012). En el Magdalena, predominan los lodos, los cuales también están influenciados por la descarga de sedimentos de origen continental (Blanco, 1993). Por el contrario, en La Guajira prevalecen los fondos arenosos (Cantera y Contreras, 1993).

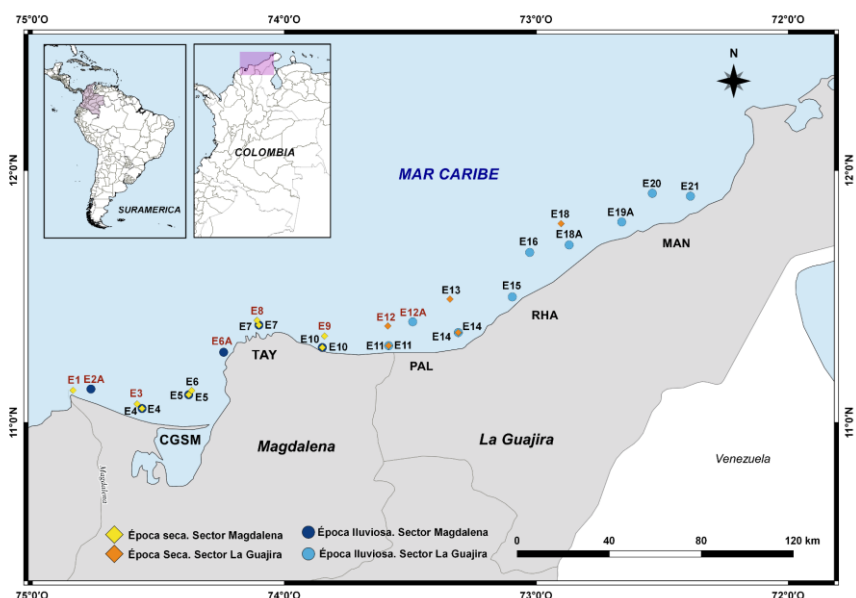


Figura 1. Área de estudio del Caribe norte de Colombia. Estaciones de muestreo frente al sector del Magdalena (CGSM: Ciénaga Grande de Santa Marta; TAY: Parque Nacional Natural Tayrona) y el sector de La Guajira (PAL: Palomino; RHA: Riohacha; MAN: Manaure) (Letra roja: zonas profundas, letra negra: zonas someras).

La plataforma continental de La Guajira se considera un modelo de plataforma carbonatada de zonas tropicales, con porcentaje de carbonato de calcio entre 80 y 90 % y aportes terrígenos bajos, por lo que se puede observar que desde el Cabo de la Vela hasta Riohacha, prevalecen los sedimentos bioclásticos. Contrariamente ocurre en la zona sur - desde Riohacha hacia Palomino-, donde el carácter carbonatado disminuye gradualmente (Álvarez León *et al.*, 1995), y hacia Santa Marta el porcentaje de carbonato de calcio muestra un predominio de arenas litobioclásticas a litoclásticas, que se mantienen constantes (25 %) (Sánchez Armenta *et al.*, 2011; Barrios *et al.*, 2011).

La región del Caribe colombiano está influenciada por la circulación atmosférica de los vientos alisios, tributarios de los centros anticiclónicos del Atlántico nororiental (Andrade *et al.*, 2003). Las épocas climáticas están regidas por el desplazamiento norte sur de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT)

que define la época lluviosa y la época seca. Durante esta última, la ZCIT se encuentra más hacia el sur y las altas presiones hacen que los vientos alisios soplen del noreste de manera constante y fuerte. Aun así, en el área eventos como El Niño y La Niña, comúnmente alteran la duración y frecuencia de estas épocas climáticas (Franco Herrera, 2005). Está modulado directamente por la corriente Caribe y por la surgencia estacional de aguas profundas que están presentes durante los periodos secos (Álvarez León *et al.*, 1995). La influencia de la surgencia es más notoria en las costas de los departamentos de La Guajira y Magdalena, en donde ascienden aguas pertenecientes a la masa de agua subtropical sumergida, provenientes de profundidades entre 100 y 200 m (Fajardo, 1979), y que se caracterizan por presentar temperaturas de 19 a 25 °C y salinidad mayor a 36.5 (Fajardo, 1979; Andrade y Barton, 2005).

La zona de estudio está irrigada por varios ríos (Garcés Ordóñez y Bayona Arenas, 2017) que fertilizan periódicamente el área marina y costera, determinando cambios en las condiciones fisicoquímicas del agua (salinidad y turbidez), y constituyendo un factor determinante en las condiciones de vida de los organismos (Márquez, 1982). En este sentido se destacan los aportes del río Magdalena, e igualmente los vertimientos de los ríos menores (Tabla 1) de la Sierra Nevada de Santa Marta (CORPES, 1992). Asimismo, los ríos Palomino y Ranchería, drenan la vertiente oriental de la Sierra Nevada de Santa Marta, y desembocan directamente en el mar (Montes *et al.*, 2010).

Tabla 1. Caudales (m³/s) de los ríos principales del Magdalena y La Guajira (Universidad de los Andes, 2014).
*Datos reportados durante el segundo semestre de 2015 y primer semestre de 2016 (Garcés Ordóñez y Bayona Arenas, 2017).

Río	Mes mínimo	Caudal medio	Caudal mínimo	Caudal*
Magdalena	-	7200	-	-
Don Diego	Febrero	18.7	4.9	5×10^{-5}
Buriticá	Febrero	59.5	5.1	6×10^{-5}
Guachaca	Marzo	11.7	2.0	2×10^{-5}
Piedras	Marzo	2.2	0.4	-
Gaira	Marzo	0.5	0.2	-
Manzanares	-	-	-	1×10^{-5}
Palomino	-	13.3	4.5	5×10^{-5}
Ranchería	-	13.8	0.4	6×10^{-5}
Cañas y Jerez	-	-	-	1×10^{-5}

MATERIALES Y MÉTODOS

Fase de campo

Se realizaron dos (2) cruceros de investigación a bordo de una embarcación. El primer crucero de investigación se realizó en mayo 2018, con una precipitación promedio de 8.3 ± 3.4 mm (entre 0 y 26 mm), considerándose un periodo seco. En contraste el segundo crucero se llevó a cabo a finales de noviembre 2018, presentándose mayor precipitación promedio de 253.7 ± 45.5 (81.5 a 449.1 mm), por lo que se constituyó en un periodo lluvioso (Figura 2). Las estaciones de muestreo se establecieron con base en

estudios previos (Paramo *et al.*, 2009; Paramo *et al.*, 2011; Paramo *et al.*, 2012), para un total de 14 estaciones de muestreo para la época seca (SC) y 15 estaciones para la lluviosa (LL). Se definieron los sectores Magdalena (M) y La Guajira (G), teniendo en cuenta la distribución del tipo de grano de acuerdo a los cambios en la plataforma continental, que describen Trujillo *et al.* (2009) y Paramo *et al.* (2012). Se abarcaron profundidades hasta los 150 m, estableciendo el estrato denominado somero (S) que comprendió profundidades entre 7 y 60 m, y el profundo (P) de 80 a 150 m (Anexo A).

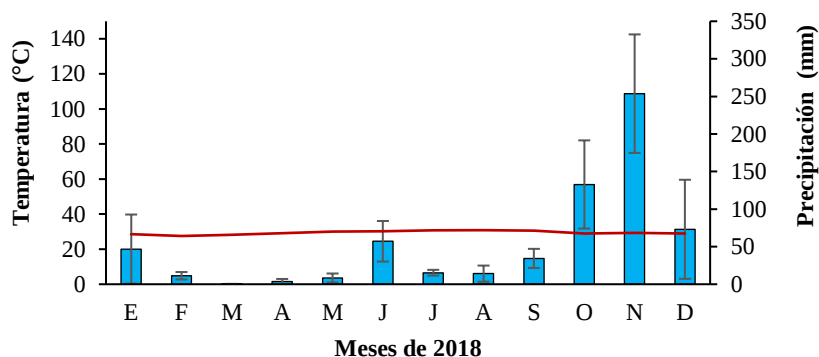


Figura 2. Climograma del año 2018. Datos del IDEAM (2018). Línea roja: temperatura (°C) y Barras azules: precipitación (mm).

Condiciones de la masa de agua

La medición del oxígeno (oxígeno disuelto y saturación de oxígeno), la conductividad, la salinidad y la temperatura se llevó a cabo *in situ* cada metro con una CTDO (equipo sonda multiparamétrica YSI modelo EXO 1) hasta 1 m antes del fondo. Los datos utilizados para el análisis fueron los obtenidos a la profundidad más cercana al fondo.

Comunidad macrobentónica y sedimentos

Se realizaron tres (3) dragados de sedimentos empleando una draga Van Veen (área de 0.06 m²), de las cuales un (1) dragado fue usado para el análisis de sedimentos y los otros dos (2) dragados, para el análisis del macrobentos (0.12 m²), superando el área mínima que se considera representativa de 0.1 m² (Eleftheriou y McIntyre, 2005). En cada estación la muestra para el análisis fisicoquímico del sedimento, se transvasó con una pala plástica, directamente de la draga evitando tocar los bordes, a bolsas plásticas debidamente etiquetadas, las cuales se colocaron en un congelador (-4 °C) para su refrigeración y posterior traslado al laboratorio. Las muestras para el análisis del macrobentos, se pasaron por un tamiz de ojo de malla de 0.5 mm, el material retenido fue almacenado en bolsas plásticas rotuladas. Los organismos fueron inicialmente relajados adicionando una solución de cloruro de magnesio diluido en agua dulce (70 g/L). Posteriormente se preservaron con formalina al 5 % en agua de mar neutralizada con bórax, y fueron teñidos con rosa de bengala (0.1 g/L) para facilitar la separación.

Fase de laboratorio

Características físicas y químicas del sedimento

Las muestras fueron secadas en horno hasta obtener peso constante (60 a 90 °C). Las características del sedimento fueron evaluadas de la siguiente manera:

Análisis granulométrico: Se realizó en seco para las muestras con un alto contenido de arenas y en húmedo para el sedimento con un alto contenido de lodos (Eleftheriou y McIntyre, 2005). Las muestras de sedimentos recolectadas en campo se secaron a temperatura ambiente. Para determinar el tipo de sedimento según su tamaño medio de grano, se pesaron 100 g de muestra en una balanza de precisión con una capacidad de 400 g (± 0.01 g) y se pasaron a través de una columna de tamices durante 15 min, graduada de la siguiente manera: 1.00 mm, 0.500 mm, 0.250 mm, 0.180 mm, 0.125 mm, 0.093, 0.063 mm y un fondo para las partículas menores a 0.063 mm (Dewis y Freitas, 1984; Eleftheriou y McIntyre, 2005). Se recogió y pesó cada fracción retenida en los tamices en un papel limpio previamente pesado utilizando una balanza analítica.

En la granulometría en húmedo se pesaron 25 g de la muestra y se secaron en el horno a una temperatura de 90 ± 5 °C, hasta peso constante. Posteriormente, se disolvieron en 250 mL de agua destilada con 10 mL de hexametáfosfato de sodio acuoso (NaPO_3)₆ al 1 % (6.2 g/L) y se mantuvieron por 24 h, para lograr la dispersión de los lodos. La muestra ya disuelta, se pasó por una columna de tamices (los mismos utilizados en la granulometría seca) y las fracciones retenidas se colocaron en crisoles previamente pesados y marcados, y se introdujeron a una mufla por 5 h a 550 °C, facilitando el secado del sedimento, para ser finalmente pesada (Eleftheriou y McIntyre, 2005).

Contenido de materia orgánica: A partir de 5 g de muestra de sedimento seco dispuestos en crisoles de porcelana (anteriormente pesados) que se llevaron a la mufla durante 5 h a 550 °C y en el desecador durante 2 h, se determinó el contenido de materia orgánica con base en la diferencia de pesos (inicial y final) obtenidos (Eleftheriou y McIntyre, 2005).

Determinación de carbonatos: Se agregaron 10 g de sedimento a 50 mL de HCL 0.5 N contenidos en un vaso precipitado de 250 mL, a continuación se colocó el vaso precipitado en calentamiento sin llegar a punto de evaporación, luego la solución se pasó por un embudo con papel filtro para retener el sedimento. A la solución filtrada se le agregaron tres (3) gotas de fenolftaleína como indicador para observar el cambio de color (viraje a rosa). Durante la titulación con NaOH 0.25 N la lectura se dio con respecto al volumen (mL) de NaOH requerido (Javelaud, 1986).

Metales pesados totales: Se colectaron 250 g de sedimento (del primer dragado) con una pala de plástico y se dispusieron en bolsas plásticas debidamente selladas y etiquetadas, las cuales fueron refrigeradas (4 °C) y transportadas al laboratorio *Chemical Laboratory (ChemiLab)* para el análisis de metales pesados en sedimentos según el *Standard Methods* (Rice *et al.*, 2012). Los metales pesados a analizar fueron cadmio

(EPA 3050 B, SM 3113 B), cromo (EPA 3050 B, SM 3113 B), cobre (EPA 3050 B, SM 3111 B), plomo (EPA 3050 B, SM 3113 B), mercurio (EPA 7471B, SM 3112 B), níquel (EPA 3050 B, SM 3113 B) y zinc (EPA 3050 B, SM 3111 B).

Comunidad macrobentónica infaunal

En el laboratorio cada una de las muestras biológicas fue (1) lavada a fin de eliminar el exceso de reactivos y de los sedimentos más finos, (2) se dispusieron los sedimentos sobre una bandeja plana en donde con ayuda de un estereoscopio se separaron los especímenes en grupos mayores: poliquetos, crustáceos, moluscos, equinodermos y sipuncúlidos (estos grupos fueron los mas representativos en abundancia y número de familias). Se guardaron en frascos con alcohol etílico al 70 %, y (3) los organismos fueron identificados con base en claves taxonómicas específicas para cada grupo a nivel de familia, el cual es equivalente taxonómico del nivel especie (Olsgard *et al.*, 1998; Giraldo Mendoza y Arellano Cruz, 2002) y se contabilizó la abundancia. La biomasa de los organismos fue determinada por medio del método de peso húmedo (Eleftheriou y McIntyre, 2005), para lo cual en una balanza analítica (± 0.0001 g) se pesaron los organismos agrupados por familia de cada estación después de dejarlos escurrir por 2 min. Los individuos pertenecientes a los taxones Annelida y Mollusca que presentaron tubos o conchas fueron separados de estas estructuras para evitar la sobrestimación de la biomasa (Cortés *et al.*, 2012).

Fase de gabinete

Análisis de sedimentos y agua

A las variables del sedimentos (metales pesados, materia orgánica y carbonato de calcio) y del agua (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y saturación de oxígeno) se les realizó un análisis exploratorio utilizando medidas de tendencia central -media aritmética- y medidas de variabilidad -error estándar, coeficiente de variación y mínimo y máximo- (Zar, 2010). El tipo y tamaño de grano se estableció en las muestras de sedimento mediante la escala propuesta de Udden-Wentworth (Wentworth, 1922; Tabla 2) y la confirmación con el programa GRADISTAT (Blott, 2001), con base en el método gráfico de Folk y Ward (1957) en escala logarítmica en base 2 con valores de phi (Φ), que presenta como ventaja convertir en términos descriptivos los valores de estos parámetros.

Para establecer variaciones espaciales del sedimento se realizó un análisis de clasificación a partir de la estandarización con logaritmo natural ($\ln$) de la matriz de las fracciones granulométricas, materia orgánica, y carbonato de calcio, aplicando la técnica de ligamento promedio no poderado (UPGMA) y el coeficiente de distancia euclidiana estandarizada (Clarke *et al.*, 2014a) En el análisis de clasificación se determinaron los grupos verdaderos recurriendo al análisis SIMPROF -*similarity profile test*- (Clarke *et al.*, 2008; Clarke *et al.*, 2014a).

Tabla 2. Escala de Udden/Wentworth basada en potencias de 2 y sus valores de phi (Φ) de 2. Modificado de Eleftheriou y McIntyre (2005).

Tipo de grano	Descripción	Escala 2 (mm)	Phi (Φ)	Tipo de grano	Descripción	Escala 2 (mm)	Phi (Φ)
Grava	Adoquín	256	-8.0	Arena	Arena fina	0.25	2.0
		128	-7.0				2.5
		64	-6.0		Arena muy fina	0.125	3.0
	Guijarro	32	-5.0				3.5
		16	-4.0	Lodos		0.062	4.0
		8	-3.0				4.5
Arena	Gránulo	4	-2.0			0.031	5.0
							5.5
	Arena muy gruesa	2	-1.0				6.0
			-0.5			0.0156	6.5
	Arena gruesa	1	0.0				7.0
			0.5			0.0078	7.5
	Arena mediana		1.0	Arcilla			8.0
		0.50	1.5			0.0039	
						< 0.0039	

Análisis del ensamblaje macrobentónico infaunal

Se construyeron matrices primarias de la abundancia (individuos $\times$ 0.12 m²) y biomasa húmeda (g) de cada taxon en cada estación y época. Se caracterizó la diversidad de taxones del ensamblaje mediante la riqueza (S), riqueza de Margalef (d), uniformidad de Pielou (J') y diversidad de Shannon-Wiener (H', ln) (Ludwig y Reynolds, 1998; McCune y Grace, 2002). Se llevó a cabo un análisis exploratorio utilizando medidas de tendencia central -media aritmética- y medidas de variabilidad -error estándar, coeficiente de variación y mínimo y máximo- (Zar, 2010). Se realizaron curvas de comparación entre abundancia y biomasa (curvas ABC por sus siglas en inglés) para determinar el grado de perturbación de la comunidad (Clarke y Ainsworth, 1993), teniendo en cuenta el estadístico W, el cual fluctúa entre -1 a 1, siendo los valores negativos indicios de estrés (-1 altamente perturbado, 0 moderado estrés y 1 área sin estrés; Warwick, 1986). Con la finalidad de establecer patrones de asociación espacial y temporal se realizó un análisis de clasificación a partir de la técnica ligamiento promedio no ponderado (UPGMA) sobre la matriz triangular que se obtuvo con el índice de similitud de Bray-Curtis, tomando como base la matriz de composición y densidad de familias/taxones. Para la determinación de grupos verdaderos se recurrió al análisis SIMPROF -similarity profile test- (Clarke *et al.*, 2008; Clarke *et al.*, 2014a), previamente se evaluó la necesidad de transformaciones de los valores de densidad con base en *shade plots* (Clarke *et al.*, 2014a; Clarke *et al.*, 2014b). Para determinar la existencia de diferencias significativas entre épocas climáticas, sectores y estratod de profundidad se realizó una prueba de PERMANOVA a tres vías cruzada (Anderson, 2001). Finalmente, se llevó a cabo un SIMPER -similarity percentage breakdowns- para encontrar cuáles fueron los taxones indicadores de diferencias entre grupos observados (cociente SIMPER) y, además de cuales

familias/morfotipos aportaron más a la disimilitud (Clarke *et al.*, 2014a). Para determinar la relación de factores bióticos y abióticos, se usó la prueba *The Best* (*BIOENV*; Clarke *et al.*, 2014a). Se consideraron las variables del agua oxígeno disuelto (mg/L), salinidad y temperatura (°C). Igualmente, las características del sedimento materia orgánica (%), carbonato de calcio (%), fracciones granulométricas (limos y arcillas -LyA-, arena muy fina -Amf-, arena fina -Af-, arena mediana -Am- y arena gruesa -Ag-) y metales pesados, teniendo en cuenta aquellos cuya concentración en al menos el 70 % de las muestras fuera mayor al límite de detección del equipo, por lo que no se incluyó en el análisis el mercurio y el cobre). Para evitar incluir variables abióticas redundantes se realizó un *draftsman plot* para definir qué variables necesitaban transformación y la existencia de altas relaciones lineales entre pares de ellas ($r > 0.95$; $P < 0.05$; Ramírez y Viña, 1998), en cuyo caso solo se tuvo en cuenta una de ellas para el análisis *BIOENV*. Por tal razón, se excluyó la saturación de oxígeno (colinealidad con oxígeno disuelto; $r = 0.99$; $p < 0.0001$ y temperatura; $r = 0.95$; $p < 0.0001$).

El *BIOENV* maximiza la correlación de los elementos de las matrices triangulares de similitud biótica (Bray-Curtis con datos transformados con logaritmo natural) y abiótica (distancia Euclidiana sobre las variables ambientales transformados con logaritmo natural y normalizados). Se utilizó el coeficiente de Spearman ponderado (ρ_w) y se aplicaron 9999 permutaciones con el fin de obtener resultados más precisos. El coeficiente máximo obtenido de todas las posibles combinaciones de las k-variables, indica que esa combinación es la que mejor explica o mejor se asocia con el patrón biológico obtenido en la ordenación y clasificación (Clarke y Warwick, 2001). Posteriormente, se hizo una superposición de las variables que tuvieron una mayor correlación en el ordenamiento de la macroinfauna obtenido a partir del nMDS (Clarke *et al.*, 2014a). Por último, para identificar el patrón de distribución de los taxones del ensamblaje macrobentónico infaunal de acuerdo con las variables ambientales de la columna del agua y el sedimento (las mismas variables utilizadas en el *BIOENV*), se llevó a cabo un Análisis de Correspondencia Canónica -CCA, por sus siglas en inglés- (McCune y Grace, 2002). Estos análisis estadísticos se realizaron en STATGRAPHICS Centurion XVIII, Primer 7 y PAST

RESULTADOS

Condiciones de la masa de agua

La temperatura del agua osciló entre 19.4 y 28.5 °C (24.6 ± 0.4 °C). La salinidad fue estable, oscilando de 36.9 a 38.2 (37.4 ± 0.05), que son valores característicos de aguas marinas. El oxígeno disuelto osciló de 4.5 a 6.3 mg/L (5.5 ± 0.1 mg/L) y la saturación de oxígeno disuelto varió entre 60.6 y 97.3 % (81.8 ± 2.0 %; Tabla 3; Anexo B).

Tabla 3. Estadígrafos en el agua y el sedimento por profundidad, sector y época climática del oxígeno disuelto (OD), saturación de oxígeno disuelto (SOD), salinidad (Sa), temperatura (Te), materia orgánica (Mo), carbonato de calcio (Cc), tamaño medio del grano (ϕ) y metales pesados. Promedio ($\bar{X}$), error estándar (EE) coeficiente de variación (CV), mínimo (MIN) y máximo (MAX).

Sector Magdalena		Época	Seca				LLuviosa							Seca					LLuviosa				
			Variable	Ẍ	EE	CV	MAX	MIN	Ẍ	EE	CV			MAX	MIN	Ẍ	EE	CV	MAX	MIN			
			OD (mg/L)	6.10	0.07	0.03	6.30	5.90	5.70	0.16	0.06			6.00	5.30	5.63	0.09	0.03	5.80	5.50	5.56	0.10	0.05
Sector Magdalena	Estrato somero	SOD (%)	93.10	1.42	0.03	96.20	88.70	87.05	3.26	0.07	93.20	78.70	84.20	1.63	0.03	87.40	82.10	83.71	2.06	0.07	95.10	78.50	
		Sa	37.13	0.02	0.00	37.20	37.10	37.28	0.07	0.00	37.40	37.10	37.37	0.03	0.00	37.40	37.30	37.50	0.02	0.00	37.60	37.40	
		Te (°C)	26.30	0.16	0.01	26.60	25.90	26.15	0.47	0.04	27.00	25.10	25.07	0.17	0.01	25.40	24.90	25.43	0.47	0.05	28.50	24.40	
		Mo (%)	4.38	0.39	0.20	4.95	3.09	4.19	0.38	0.18	4.80	3.21	3.90	0.29	0.13	4.48	3.53	1.88	0.41	0.61	4.28	0.69	
		Cc (%)	12.29	4.09	0.74	24.45	2.52	6.72	1.65	0.49	10.80	3.21	9.49	2.30	0.42	12.93	5.12	5.01	1.07	0.60	12.06	2.50	
		ϕ	12.38	1.73	0.31	14.60	6.60	8.75	2.16	0.49	12.40	3.70	14.70	0.00	0.00	14.70	14.70	12.35	0.03	0.01	12.50	12.20	
		Cd (mg/kg)	0.15	0.05	0.69	0.25	< 0.05	0.04	0.01	0.45	0.06	< 0.05	0.07	0.01	0.24	0.09	0.05	0.05	0.01	0.42	0.08	< 0.05	
		Cu (mg/kg)	10.00	0.00	0.00	10.00	< 20.00	10.00	0.00	0.00	10.00	< 20.00	10.00	0.00	0.00	10.00	< 20.00	10.00	0.00	0.00	10.00	< 20.00	
		Cr (mg/kg)	10.53	2.23	0.47	15.80	3.83	4.47	0.39	0.17	5.19	3.58	2.56	1.03	0.70	3.91	0.53	10.29	2.21	0.61	22.60	2.44	
		Hg (mg/kg)	< 0.20	0.00	0.00	< 0.20	< 0.20	< 0.20	0.00	0.00	< 0.20	< 0.20	< 0.20	0.00	0.00	< 0.20	< 0.20	< 0.20	0.00	0.00	< 0.20	< 0.20	
		Ni (mg/kg)	14.50	0.96	0.15	16.20	11.40	14.70	1.64	0.22	17.60	10.80	10.15	0.88	0.15	11.60	8.55	8.97	1.21	0.38	15.30	3.12	
		Pb (mg/kg)	10.65	1.95	0.41	16.50	6.25	10.46	2.69	0.51	17.40	4.28	17.63	2.21	0.22	21.90	14.50	26.98	2.91	0.31	36.30	11.90	
		Zn (mg/kg)	56.48	8.60	0.34	79.00	39.30	34.98	10.32	0.59	48.60	< 10.0	26.37	11.09	0.73	42.20	< 10.0	11.10	4.34	1.11	40.50	< 10.0	
	Estrato profundo	OD (mg/L)	5.20	0.37	0.16	6.30	4.60	5.15	0.05	0.01	5.20	5.10	4.80	0.10	0.03	5.30	5.10	4.50	-	-	4.50	4.50	
		SOD (%)	76.36	7.26	0.21	97.30	64.20	76.35	1.55	0.03	77.90	74.80	66.58	1.95	0.04	78.70	74.80	60.60	-	-	60.60	60.60	
		Sa	37.24	0.12	0.01	37.50	36.90	37.90	0.30	0.01	38.20	37.60	37.40	0.10	0.00	37.60	37.40	37.40	-	-	37.40	37.40	
		Te (°C)	23.48	1.24	0.12	26.70	21.30	24.00	0.40	0.02	24.40	23.60	20.80	0.75	0.05	25.10	23.60	19.40	-	-	19.40	19.40	
		Mo (%)	3.87	0.49	0.28	4.73	2.08	5.44	0.47	0.12	5.91	4.97	3.77	0.11	0.04	4.97	4.76	3.15	-	-	3.15	3.15	
		Cc (%)	6.49	1.51	0.52	10.23	1.48	12.70	3.21	0.36	15.91	9.49	15.43	0.86	0.08	9.49	7.77	4.53	-	-	4.53	4.53	
		ϕ	9.30	2.17	0.52	14.60	2.40	7.05	2.05	0.41	9.10	5.00	14.50	1.25	0.12	9.10	6.60	11.90	-	-	11.90	11.90	
		Cd (mg/kg)	0.24	0.03	0.32	0.32	0.16	0.28	0.14	0.69	0.41	0.14	0.05	0.04	1.26	0.14	0.06	0.03	-	-	0.03	< 0.05	
		Cu (mg/kg)	10.00	0.00	0.00	10.00	< 20.00	15.40	5.40	0.50	20.80	< 20.00	10.00	0.00	0.00	10.00	< 20.00	10.00	-	-	10.00	< 20.00	
		Cr (mg/kg)	51.01	40.98	1.80	214.70	6.04	9.00	2.41	0.38	11.40	6.59	5.53	3.18	0.81	11.40	5.04	2.21	-	-	2.21	2.21	
		Hg (mg/kg)	< 0.20	0.00	0.00	< 0.20	< 0.20	< 0.20	0.00	0.00	< 0.20	< 0.20	< 0.20	0.00	0.00	< 0.20	< 0.20	< 0.20	0.00	0.00	< 0.20	< 0.20	
		Ni (mg/kg)	14.70	1.39	0.21	18.90	10.40	24.35	2.55	0.15	26.90	21.80	10.95	2.10	0.27	21.80	17.60	13.50	-	-	13.50	13.50	
		Pb (mg/kg)	9.46	1.74	0.41	14.40	3.62	13.10	0.10	0.01	13.20	13.00	13.10	1.40	0.15	13.20	10.40	17.80	-	-	17.80	17.80	
		Zn (mg/kg)	65.56	10.67	0.36	101.00	34.90	51.20	11.50	0.32	62.70	39.70	185.00	4.45	0.03	48.60	39.70	36.10	-	-	36.10	36.10	

Características físicas y químicas del sedimento

En general, se presentó predominio de lodos y arcillas (cieno o limos) en el 44.8 % de las muestras en las que el tamaño medio del grano fluctuó entre 0.6 y 5.9 (Tabla 3; Anexo B). En la época seca los lodos y arcillas dominaron en el 57.1 % de las muestras y se encontraron dos sectores con características distintas. El primero desde la CGSM hasta Tayrona -TAY- (lodos y arcillas) y el segundo desde Palomino -PAL- hasta Manaure -MAN- (arena muy fina). En la época lluviosa, prevalecieron los lodos y la arena mediana (en el 33.0 % de las muestras cada una), predominando los lodos y arenas muy finas desde la CGSM hasta TAY (lodos y arena muy fina) y arena mediana desde PAL hasta MAN (Anexo D). La clasificación del sedimento con base en el carbonato de calcio mostró un predominio de arenas litoclásticas con un 79.3 %, exceptuando en el sector de La Guajira en la época seca cuando se encontraron arenas litobioclásticas (Anexo E). El contenido de materia orgánica en el sedimento varió de 1.5 a 24.5 % (8.2 ± 1.0 %), presentándose en el sector del Magdalena un promedio mayor que en el de La Guajira (Tabla 3; Anexo F).

En el análisis de clasificación, se vislumbra un agrupamiento especialmente por el tipo de grano del sedimento según el tamaño medio de grano. La prueba SIMPROF, mostró la formación de seis (6) grupos y de cuatro (4) muestras aisladas (Figura 3). En el grupo I conformado por muestras de la época lluviosa del sector La Guajira y del estrato somero, hubo predominio de arena mediana, tipo litoclástica y bajas concentraciones de materia orgánica, al igual que ocurrió en el grupo II. El grupo III, muestras en su mayoría de la época seca y del estrato somero, se evidenció predominio de lodos y arcillas (75 %), donde el 50 % de las muestras tuvieron sedimento tipo litobioclástico, exhibiendo una variación del contenido de materia orgánica. El grupo IV, conformado sólo por dos muestras del sector La Guajira, comparten sedimento de arena muy fina tipo litoclástica y litobioclástica respectivamente, presentando una baja carga orgánica. En el grupo V, del sector del Magdalena y especialmente muestras profundas (66.6 %) tuvieron presencia del limos y arcillas (83 %) tipo litoclástico, con un porcentaje de materia orgánica entre 7.7 y 13.7 % principalmente. Finalmente, en el grupo VI hubo mayor número de muestras con sedimento arena muy fina tipo litoclástica con bajos valores de materia orgánica. Las muestras individuales (LL-E2A-M-P, SC-E9-M-P, LL-E14-G-S y LL-E7-MS), tuvieron dominancia de sedimentos lodos y arcillas, arena fina, arenas muy fina, siendo solamente la SC-E9-M-P de sedimento tipo Litobioclástico. En cuanto al contenido de materia orgánica, la LL-2A-M-P, exhibió la mayor carga con respecto a las muestras aisladas, siendo la tercera concentración más alta en todo el estudio.

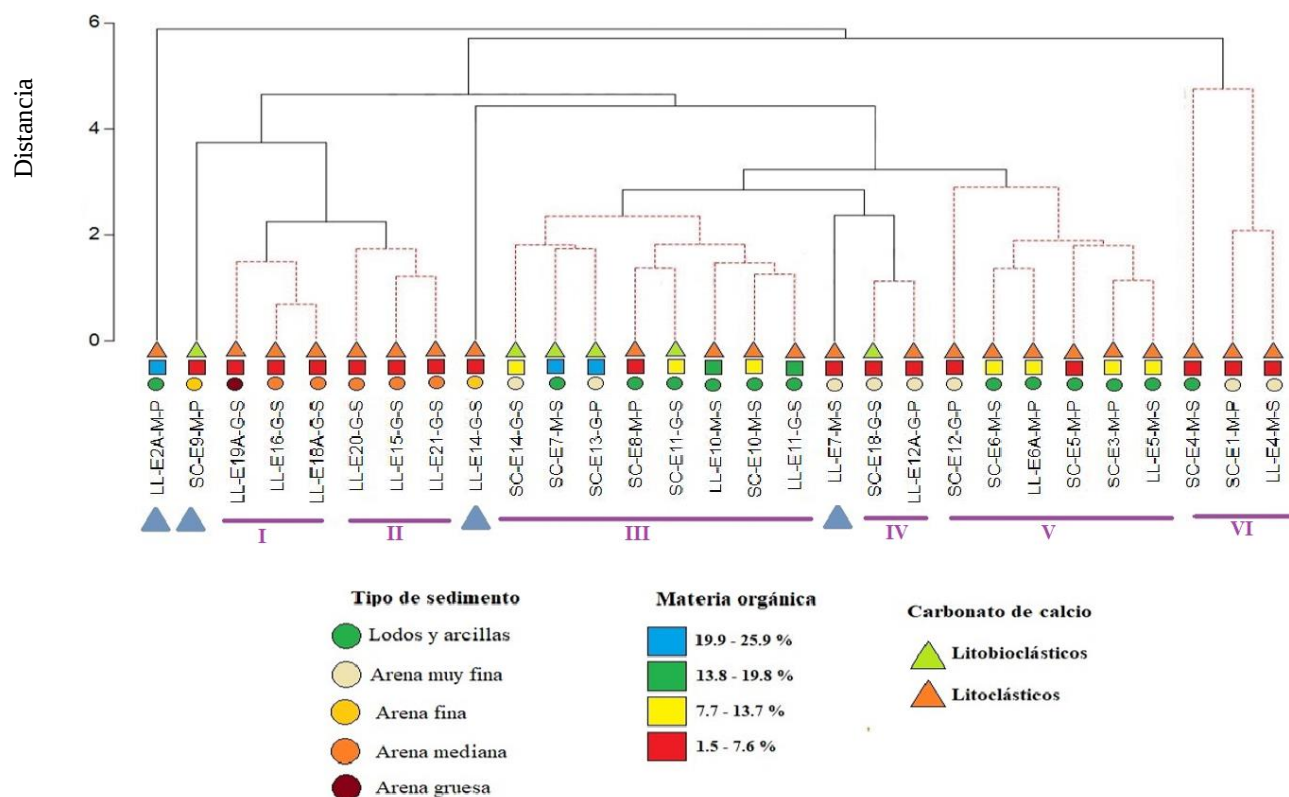


Figura 3. Análisis de clasificación con distancia Euclidiana estandarizada a partir de la matriz de datos de tipo de sedimentos, materia orgánica y contenido de carbonato de cal transformados con $\ln(x_{ij}+1)$. SC: época seca, LL: época lluviosa, M: sector Magdalena, G: sector La Guajira, S: somero y P: profundo. Índice cofenético: 0.82.

Metales pesados

El cadmio fluctuó entre < 0.05 y 0.4 mg/kg (0.1 ± 0.02 mg/kg), y el 27.6 % de las muestras tuvieron concentraciones menores a las detectadas por el procedimiento analítico (< 0.05 mg/kg). El cobre fue estable (CV= 0.2 %), con una variación entre el mínimo de detección (< 20.0 mg/kg) y 20.8 mg/kg; el 96.6 % de las muestras tuvieron valores por debajo del límite de detección. El cromo osciló de 0.5 a 214.7 mg/kg (15.0 ± 7.2 mg/kg), el níquel varió entre 3.1 y 26.9 mg/kg (13.0 ± 0.9 mg/kg) y el plomo estuvo de 3.6 a 36.3 mg/kg (6.2 ± 1.6 mg/kg), estos tres metales no tuvieron muestras con concentraciones menores al límite de detección. El zinc varió de 10.0 a 328 mg/kg con promedio de 47.2 ± 11.1 mg/kg, teniendo concentraciones inferiores al mínimo de detección el 24.1 % de las muestras. El mercurio en todas las estaciones tuvo concentraciones inferiores al mínimo de detección (< 0.2 mg/kg; Tabla 3; Anexo B).

En la época seca en el sector del Magdalena, los estratos de profundidad presentaron la misma concentración de cadmio, a diferencia del sector de La Guajira, donde la concentración fue ligeramente mayor en el somero. En época lluviosa las concentraciones fueron similares en LL-M-S, LL-G-S y LL-G-P pero más

alta en la LL-M-P. El cromo en la época seca y en la lluviosa, en el estrato somero del Magdalena hubo una menor concentración que en el profundo, pero para el sector de La Guajira, sólo en la seca se dio el mismo comportamiento. El níquel, en la época seca en el sector del Magdalena se presentaron concentraciones similares en los estratos y, de igual forma sucedió en el sector de La Guajira. En la época lluviosa, tanto en el sector del Magdalena como en el de La Guajira, en el estrato profundo fue mayor la concentración. El zinc, fue mayor en la época seca que en la lluviosa siendo más alta en estratos profundos. Finalmente, el plomo, en la época seca en el sector del Magdalena fue mayor en el estrato somero al igual que en La Guajira y, en lluviosa en el Magdalena fue mayor en el estrato profundo y, en el sector de La Guajira fue menor en este estrato. (Tabla 3; Anexo B).

Composición, abundancia y biomasa de la comunidad macrobentónica infaunal

La composición faunística estuvo representada por 129 taxones (117 familias y 12 morfotipos; 4.5 taxones $\times$ 0.12 m⁻²) en total (Tabla 4; Anexo C). Los taxones estuvieron distribuidos entre crustáceos (S= 50), poliquetos (S= 41), moluscos (S= 26), equinodermos (S= 9) y sipunculidos (S= 3). La cantidad de taxones tuvo una variación del 48.7 % entre las muestras oscilando entre 4 taxones (SC-E1-M) y 38 taxones (LL-E14-G) con una media de 19.9 ± 1.8 taxones $\times$ muestra (Figura 4). Los grupos funcionales mejor representados fueron los carnívoros (Ca), seguido de alimentadores de depósito (Ad), suspensívoros (Su), herbívoros (He) y por último se presentaron cuatro (4) familias parásitas (Pa; principalmente isópodos; Tabla 4).

Tabla 4. Abundancia relativa (%) de los taxones del macrobentos de fondos blandos. Clase taxonómica (Cl), abundancia relativa (Ab.), morfotipo (M). Entre paréntesis están los grupos funcionales. Carnívoros (Ca), alimentadores de depósito (Ad), suspensívoros (Su), herbívoros (He) y parásitos (Pa). *Taxones que son Ca, Ad, Su y He.

Cl	Taxón	Ab.	Cl	Taxón	Ab.	Cl	Taxón	Ab.
Malacostraca	Ampeliscaidae (Su)	6.73	Malacostraca	Ocypodida (Ad)	0.06	Polychaeta	Polychaeta M2	0.06
	Platyschnopidae (Ad)	1.88		Ogyrididae (Ca)	0.06		Polychaeta M4	0.06
	Dexaminidae (Su)	1.39		Parthenopidae (Ca)	0.06		Polychaeta M5	0.06
	Anthuridae (Ad)	1.15		Pasiphaeidae (Ca)	0.06		Polychaeta M6	0.06
	Callianassidae (Ad)	1.15		Raninidae (Ca)	0.06		Polychaeta M8	0.06
	Phoxocephalidae (Ca)	1.09	Polychaeta	Sebidae (Su)	0.06	Bivalvia	Nuculidae (Su)	0.85
	Solenoceridae (Ca)	0.79		Serolidae (Ca)	0.06		Tellinidae (Su)	0.85
	Axiidae (Ca)	0.73		Capitellidae (Ad)	11.10		Nuculanidae (Su)	0.61
	Aoridae (Ad)	0.67		Lumbrineridae (Ca)	5.76		Semelidae (Su)	0.18
	Colomastigidae (Su)	0.42		Paraonidae (Ad)	4.55		Arcidae (Su)	0.06
	Leuconidae (Ad)	0.36		Magelonidae (Ad)	3.76		Cardiidae (Su)	0.06
	Caprellidae*	0.30		Orbiniidae (Ad)	3.58		Macridae (Su)	0.06
	Eusiridae (Ca)	0.24		Nephtyidae (Ad)	3.34		Mytilidae (Su)	0.06
	Lysianassidae (Ca)	0.24		Spionidae (Su)	3.03	Gastropoda	Pectinidae (Su)	0.06
	Melitidae (Su)	0.24		Onuphidae*	2.97		Vesicomyidae (Ca)	0.06
	Nebaliidae (Su)	0.24		Ampharetidae (Ad)	2.49		Olividae (Ca)	0.97
	Paguridae (Ad)	0.24		Cirratulidae (Ad)	2.49		Nassariidae (Ca)	0.73
	Bateidae (He)	0.18		Glyceridae (Ca)	2.30		Rissoinidae (Ca)	0.49

Continuación Tabla 5. Abundancia relativa (%) de los taxones del macrobentos de fondos blandos. Clase taxonómica (Cl), abundancia relativa (Ab.), morfotipo (M). Entre paréntesis están los grupos funcionales (Fauchald y Jumars, 1979). Carnívoros (Ca), alimentadores de depósito (Ad), suspensívoros (Su), herbívoros (He) y parásitos (Pa). *Taxones que son Ca, Ad, Su y He.

Cl	Taxón	Ab.	Cl	Taxón	Ab.	Cl	Taxón
Malacostraca	Hyalidae (He)	0.18	Polychaeta	Polychaeta 1	2.06	Gastropoda	Pyramidellidae (Ca)
	Hyalellidae (Ad/Ca)	0.18		Sabellidae (Su)	1.94		Cystiscidae (Ca)
	Sergestidae*	0.18		Cossuridae (Ad)	1.76		Costellariidae (Ca)
	Alpheidae (Ca)	0.12		Eunicidae (Ad/He)	1.70		Mangeliidae (Ca)
	Bresiliidae (Su)	0.12		Opheliidae (Ad)	1.46		Cerithiopsidae (Ca)
	Cirolanidae (Ca)	0.12		Sternaspidae (Ad)	1.39		Conidae (Ca)
	Gnathiidae (Pa)	0.12		Dorvilleidae (Ca)	1.27		Cymatiidae (Ca)
	Pinnotheridae (Pa)	0.12		Maldanidae (Ad)	1.27		Ellobiidae (Su/Ca/He)
	Podoceridae (Ad)	0.12		Terebellidae (Su)	1.27		Muricidae (Ca)
	Pontoporeiidae (Ad)	0.12		Syllidae (Ad/Ca)	1.21		Naticidae (Ca)
	Sesarmidae (He)	0.12		Phyllodocidae (Ca)	1.15		Retusidae (Ca)
	Squillidae (Ca)	0.12		Amphinomidae (Ad/Su/Ca)	1.09	Polyplacophora	Leptochitonidae (Su/Ca/He)
	Aegidae (Pa)	0.06		Nereididae*	0.85	Scaphopoda	Dentaliidae (Ca)
	Ammonotheidae (Ca)	0.06		Trichobranchidae (Ad)	0.85	Holothuroidea	Holothuroidea M1
	Anamixidae (Su)	0.06		Oeonidae (Ca)	0.79		Phylloporidae (Ad/Su)
	Bodotriidae (Su)	0.06		Scalibregmatidae (Ad)	0.79	Ophiuroidea	Amphiuridae (Ad/Su)
	Cheluridae (Su)	0.06		Eulepethidae (Ca)	0.61		Ophiuridae (Ad/Su/Ca)
	Corallanidae (Pa)	0.06		Oweniidae (Su)	0.55		Ophiolepididae (Ad/Su)
	Gecarcinidae (He)	0.06		Goniadidae (Ca)	0.42		Ophiopsilidae (Su)
	Goneplacidae (Ca)	0.06		Sigalionidae (Ca)	0.36		Ophiuroidea M1
	Grapsidae (Ca)	0.06		Hesionidae (Ad/Ca/He)	0.18	Echinoidea	Spatangoida M1
	Idoteidae (Ca)	0.06		Polychaeta M3	0.18		Spatangoida M2
	Leucosiidae (Ca)	0.06		Pectinariidae (Ad)	0.12	Phascolosomatidea	Aspidosiphonidae (Ad)
	Majidae*	0.06		Polychaeta M7	0.12		Phascolosomatidae (Ad)
	Nannosquillidae (Ca)	0.06		Pholoidae (Ca)	0.06	Sipunculidea	Golfingiidae (Ad)

En la época seca, el sector del Magdalena en el estrato somero se presentó un número de taxones mayor ($S=113$; 28.25 ± 4.5 taxones $\times 0.12 \text{ m}^{-2}$) que lo encontrado en el profundo ($S=105$; 21.0 ± 4.9 taxones $\times 0.12 \text{ m}^{-2}$), igualmente ocurrió en el sector de La Guajira ($S=84$; 28.0 ± 2.1 taxones $\times 0.12 \text{ m}^{-2}$ en somero y $S=28$; 14.0 ± 2.0 taxones $\times 0.12 \text{ m}^{-2}$ en profundo). En la época lluviosa, se exhibió el mismo comportamiento, donde el sector del Magdalena en el estrato somero, se encontraron más taxones ($S=79$; 19.8 ± 3.1 taxones $\times 0.12 \text{ m}^{-2}$) que en el profundo ($S=14$; 7.0 ± 2.0 taxones $\times 0.12 \text{ m}^{-2}$) al igual que en el sector de La Guajira ($S=149$; 18.6 ± 3.4 taxones $\times 0.12 \text{ m}^{-2}$ en somero y $S=10.0$ en profundo; Figura 4).

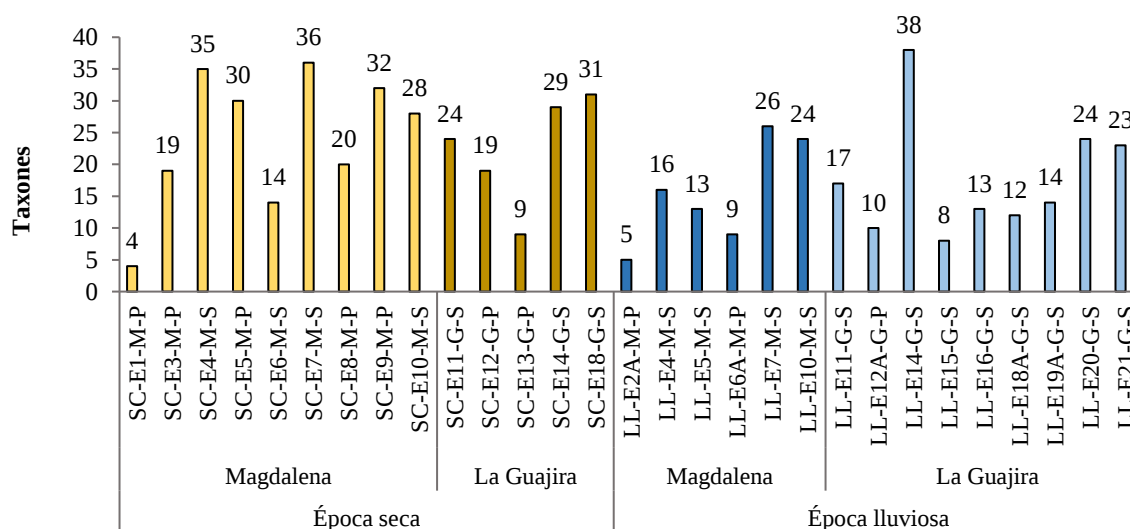


Figura 4. Número de taxones del macrobentos infaunal en cada muestra.

Las familias dominantes fueron Capitellidae con 11.1 %, Ampeliscidae con 6.7 % y Lumbrineridae con 5.8 %, las demás familias tuvieron abundancias menores al 5 %. En la época seca, en el sector del Magdalena en el estrato somero la familia más conspicua fue Capitellidae (17.6 %) y en el profundo fue Ampeliscidae (12.6 %), por el contrario en La Guajira en el somero se destacó Lumbrineridae (13.2 %) y en el profundo Amphiuiridae (11.3 %). En la época lluviosa, en el sector del Magdalena en el estrato somero Capitellidae fue la familia dominante (19.6 %) a diferencia del profundo, donde fue dominó Amphiuiridae (15.8 %) y en el sector de La Guajira en el somero fue dominante la familia Paraonidae (7.6 %) y en el profundo Dorvilleidae (21.1 %; Figura 5)

La densidad varió entre $7 \text{ ind} \times 0.12 \text{ m}^{-2}$ (LL-E2A-M) y $186 \text{ ind} \times 0.12 \text{ m}^{-2}$ (SC-E4-M), con promedio de $56.9 \pm 8.3 \text{ ind} \times 0.12 \text{ m}^{-2}$ (1649 individuos en total), con una alta variación (78.9 %) entre las muestras. El 69.1 % de los ejemplares fueron anélidos, el 20.9 % crustáceos, el 7.0 % moluscos, el 2.6 % equinodermos y el 0.4 % sipunculidos. En la época seca, el Magdalena en el estrato somero se obtuvo una densidad mayor ($97.8 \pm 30.3 \times 0.12 \text{ m}^{-2}$) que en el profundo ($59.2 \pm 20.6 \text{ ind} \times 0.12 \text{ m}^{-2}$). Asimismo, en el sector de La Guajira, el estrato profundo tuvo una menor densidad ($26.5 \pm 9 \text{ ind} \times 0.12 \text{ m}^{-2}$), que el somero ($73.0 \pm 9.5 \text{ ind} \times 0.12 \text{ m}^{-2}$). En la época lluviosa, se evidenció el mismo comportamiento, ya que en el Magdalena en el estrato somero hubo una mayor densidad ($44.8 \pm 10.4 \text{ ind} \times 0.12 \text{ m}^{-2}$) que en el profundo ($9.5 \pm 2.5 \text{ ind} \times 0.12 \text{ m}^{-2}$) e igualmente sucedió en el sector de La Guajira ($59.1 \pm 16.8 \text{ ind} \times 0.12 \text{ m}^{-2}$ en somero y 19 ind en profundo; Figura 6).

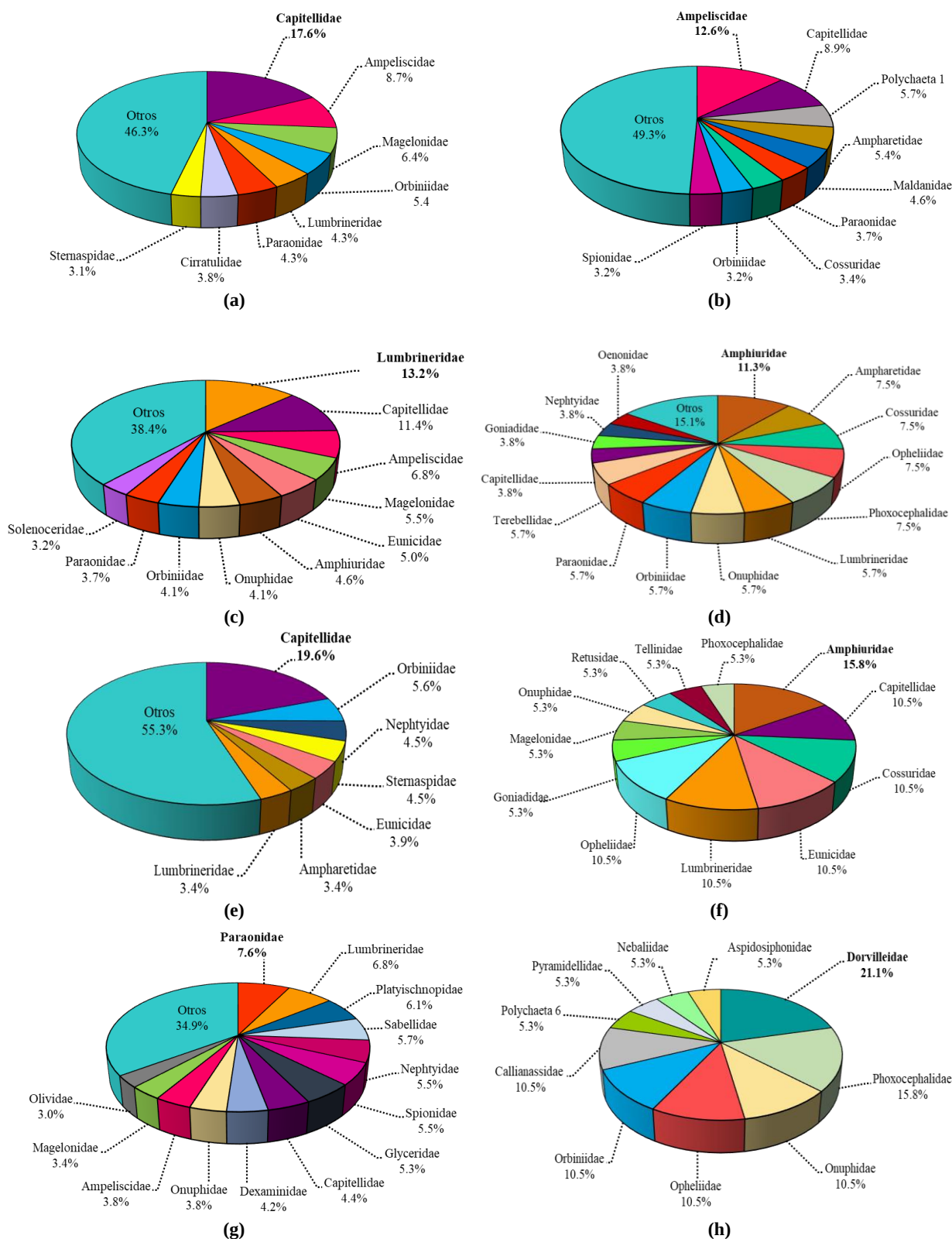


Figura 5. Densidad relativa (%) de las principales familias (abundancia mayor al 3 %) y tipos de alimentación del macrobentos de fondos blandos. **(a)** SC-M-S, **(b)** SC-M-P, **(c)** SC-G-S, **(d)** SC-G-P, **(e)** LL-M-S, **(f)** LL-M-P, **(g)** LL-G-S y **(h)** LL-G-P

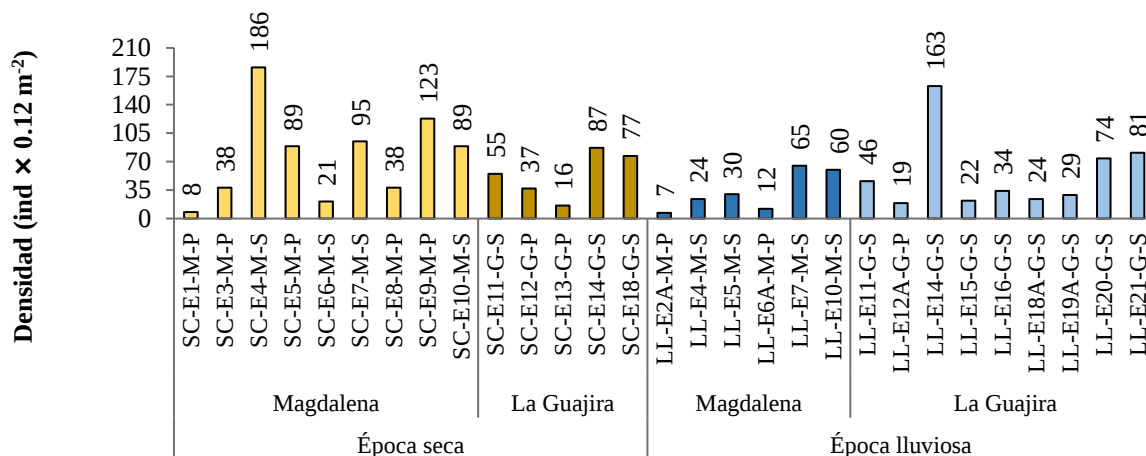


Figura 6. Densidad (ind $\times$ 0.12 m⁻²) del macrobentos infaunal en cada muestra.

La biomasa húmeda osciló entre 0.01 y 0.70 g $\times$ 0.12 m⁻² (0.21 ± 0.04 g $\times$ 0.12 m⁻²), observándose una alta variación (91.9 %) entre las muestras. Los anélidos aportaron el 51.1 %, los equinodermos el 30.3 %, los crustáceos el 4.1 %, los moluscos el 14.3 % y los sipunculidos el 0.01 %. En la época seca en el Magdalena en el estrato somero (0.31 ± 0.12 g $\times$ 0.12 m⁻²) exhibió una biomasa ligeramente mayor a la encontrada en el profundo (0.25 ± 0.13 g $\times$ 0.12 m⁻²) y, a diferencia del sector de La Guajira donde el estrato somero tuvo una menor biomasa (0.23 ± 0.12 g $\times$ 0.12 m⁻²) que el profundo (0.31 ± 0.05 g $\times$ 0.12 m⁻²). En la época lluviosa, el sector del Magdalena en el estrato somero (0.21 ± 0.07 g $\times$ 0.12 m⁻²) tuvo una mayor biomasa que lo evidenciado en el profundo ($0.01 \pm 2.5 \times 10^{-5}$ g $\times$ 0.12 m⁻²) de igual forma ocurrió en el sector de La Guajira ($s = 0.18 \pm 0.03$ g $\times$ 0.12 m⁻² y $p = 0.04$). La estación con mayor biomasa fue SC-E10-M-S y la menor se presentó en las estaciones SC-E1-M-P, la LL-E2A-M-P y la LL-E6A-M-P (Figura 7).

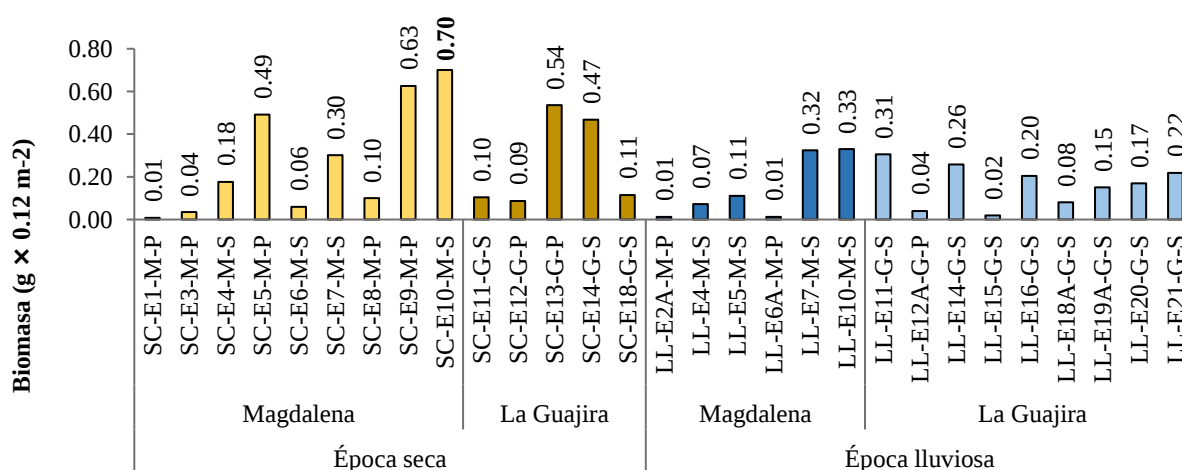


Figura 5. Biomasa húmeda total (g $\times$ 0.12 m⁻²) del macrobentos infaunal en cada muestra.

Diversidad de taxones

La riqueza de Margalef fluctuó entre 1.4 y 7.7 (4.7 ± 0.3) con una variación de 34.6 % entre las muestras. Tanto en la época seca como en la lluviosa, en el Magdalena, el estrato somero se presentó una riqueza promedio mayor ($d = 6.07 \pm 0.71$ en seca y $d = 4.96 \pm 0.55$ en lluviosa) que en el profundo ($d = 4.82 \pm 0.90$ en seca y $d = 2.64 \pm 0.58$ en profundo). El sector La Guajira, exhibió el mismo comportamiento siendo mayor el estrato somero ($d = 6.23 \pm 0.40$ en seca y $d = 4.35 \pm 0.54$ en lluviosa) que en el estrato profundo ($d = 3.81 \pm 0.93$ en seca y $d = 2.77$ en lluviosa; Figura 8a). La uniformidad de Pielou fue alta en todas las muestras, oscilando entre 0.8 y 1.0 ($J' = 0.90 \pm 0.01$), indicando que los valores de abundancia tienden a distribuirse de forma equitativa entre los taxones encontrados en cada estación. En la época seca, en el Magdalena presentaron promedios similares en los estratos ($J' = 0.88 \pm 0.04$ en somero y $J' = 0.89 \pm 0.03$ en profundo), a diferencia del sector La Guajira, donde fue mayor en el somero ($J' = 0.89 \pm 0.04$) que en el profundo ($J' = 0.94 \pm 0.02$; Figura 8b). La diversidad de Shannon-Wiener varió entre 1.3 y 3.3 nits ($H' = 2.5 \pm 0.1$ nits). En la época seca, en el estrato somero hubo una menor diversidad ($H' = 2.9 \pm 0.1$ nits) que en el profundo ($H' = 2.5 \pm 0.3$ nits), de igual forma sucedió en La Guajira ($H' = 3.0 \pm 0.1$ nits en somero y $H' = 2.4 \pm 0.4$ nits en profundo). Este mismo comportamiento se dio en la época lluviosa, tanto en el Magdalena ($H' = 2.7 \pm 0.1$ nits en somero y $H' = 1.8 \pm 0.3$ nits en profundo) como en el sector de La Guajira ($H' = 2.5 \pm 0.1$ nits en somero y $H' = 2.1$ en profundo; Figura 8c).

Curva de abundancia y biomasa

En las curvas de comparación de abundancia-biomasa se evidencia que la abundancia estuvo por debajo de la biomasa en todos los casos, con una oscilación del estadístico W de 0.230 a 0.628. Tanto en la época seca como en la lluviosa, en el sector del Magdalena, el estrato somero exhibió un estadístico W más bajo que el estrato profundo, al igual que lo ocurrido en el sector de La Guajira (Figura 9). Teniendo en cuenta cada estación, los valores del estadístico W fluctuaron entre 0.147 y 0.647 (Tabla 5). En las curvas de cada taxón, los equinodermos presentaron un estadístico W más bajo y los crustáceos el más alto (Anexo G).

Tabla 5. Valores de los estadísticos W en cada muestra.

	Estación	W	Estación	W		Estación	W	Estación	W
Época seca	M-E1-P	0.580	G-E11-S	0.404	Época Lluviosa	M-E2A-P	0.598	G-E10-S	0.377
	M-E3-P	0.427	G-E12-P	0.421		M-E4-S	0.506	G-E11-S	0.425
	M-E4-S	0.147	G-E13-P	0.647		M-E5-S	0.396	G-E12A-P	0.550
	M-E5-P	0.412	G-E14-S	0.284		M-E6A-P	0.514	G-E14-S	0.282
	M-E6-S	0.580	G-E18-S	0.447		M-E7-S	0.478	G-E15-S	0.570
	M-E7-S	0.443						G-E16-S	0.499
	M-E8-P	0.511						G-E18A-S	0.421
	M-E9-P	0.445						G-E19A-S	0.570
	M-E10-S	0.377						G-E20-S	0.350
								G-E21-S	0.354

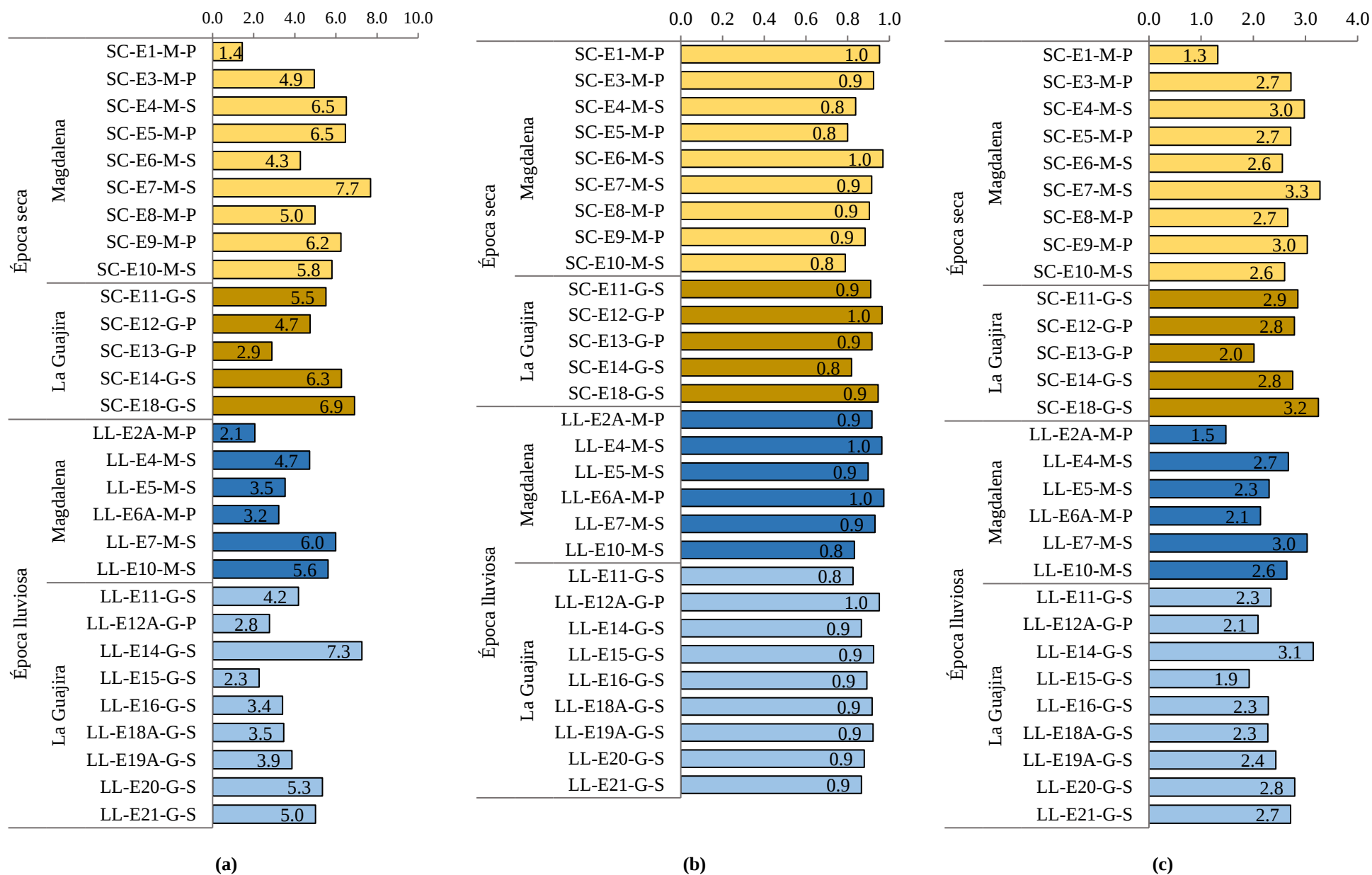


Figura 6. Medidas de diversidad de la comunidad macrobentónica en el Caribe colombiano. **(a)** riqueza de Margalef, **(b)** uniformidad de Pielou y **(c)** diversidad de Shannon-Wiener.

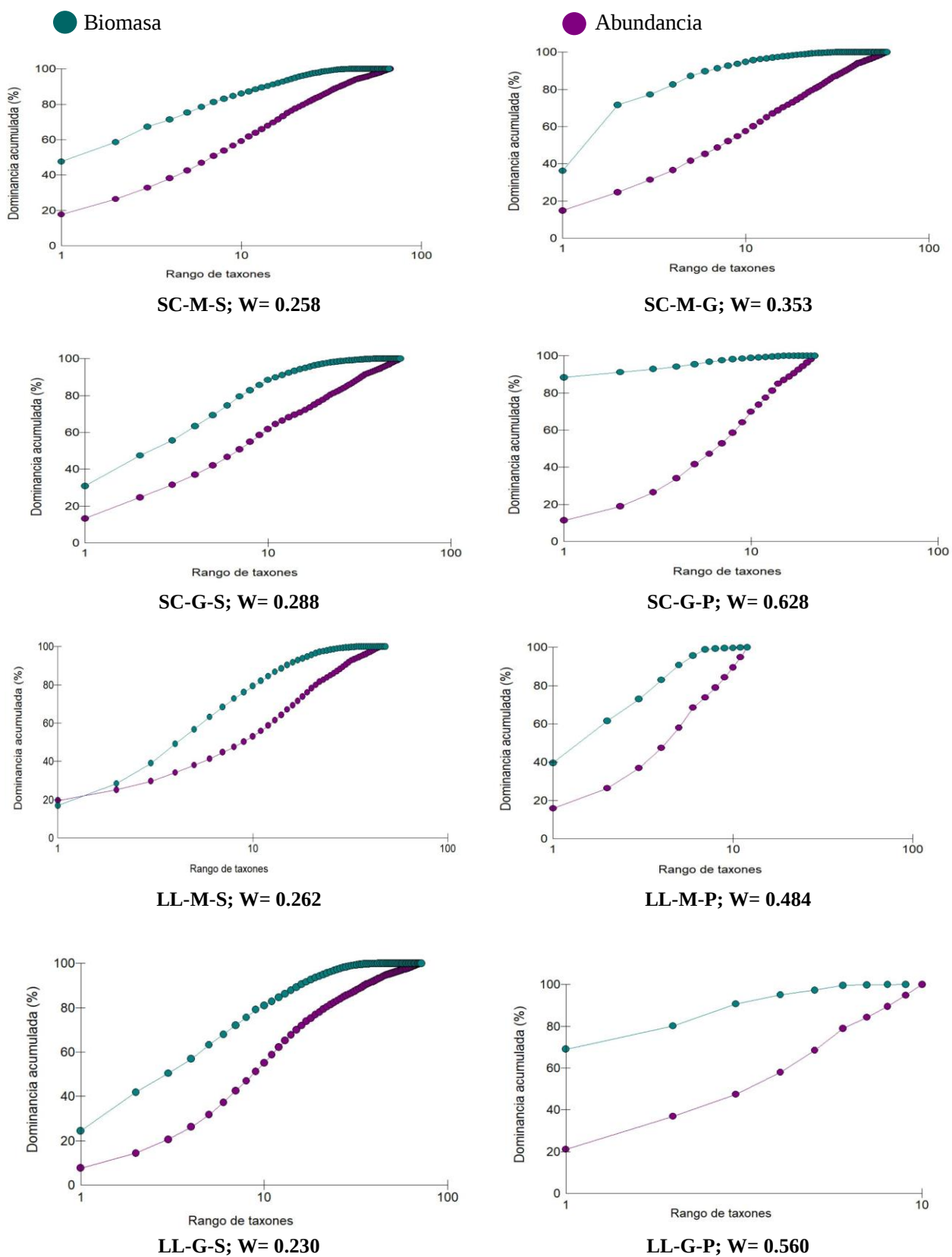


Figura 9. Curvas ABC de los estratos de profundidad en los sectores por época climática.

Asociaciones biológicas

En los grupos formados por el análisis de clasificación, no se observa una segregación clara por épocas o sectores, pero si por estratos de profundidad. La prueba SIMPROF, mostró la formación de cuatro (4) grupos y tres (3) muestras aisladas (Figura 10). En el grupo I, las estaciones pertenecen a la misma época (LL), sector (G) y profundidad (S), evidenciándose las medidas de diversidad más altas. De igual forma, comparten las familias Glyceridae, Lumbrineridae (excepto en la LL-E21-G-S) y Nephtyidae (excepto en LL-E15-G-S). En el grupo II, el 81.8 % de las estaciones corresponden a la época seca en el estrato somero y el 54 % estuvieron ubicadas en el sector del Magdalena, compartiendo las familias Capitellidae y Lumbrineridae. En el grupo III, la mayoría de las muestras pertenecen a la época lluviosa en el sector del Magdalena del estrato somero (75 %), hubo un dominio de la familia Capitellidae y comparten además de esta a la familia Cossuridae. En el grupo IV, el 60 % de las muestras estuvieron en la época lluviosa en el sector del Magdalena y el 80 % en el estrato profundo, las familias Lumbrineridae y Cossuridae estuvieron en casi todas las estaciones (excepto la LL-E12A-G-P). Las muestras individuales fueron SC-E1-M-P en la que domina Ampeliscidae, SC-E3-M-P en donde abunda Amphinomidae y LL-E4-M-S en donde predominan Callaniassidae y Nuculidae. SC-E1-M-P tuvo la menor abundancia de individuos ($n=8$) en cuatro familias (Nephtyidae, Onuphidae Ampeliscidae y Melitidae), lo que puede explicar que fue la menos similar al resto de las muestras.

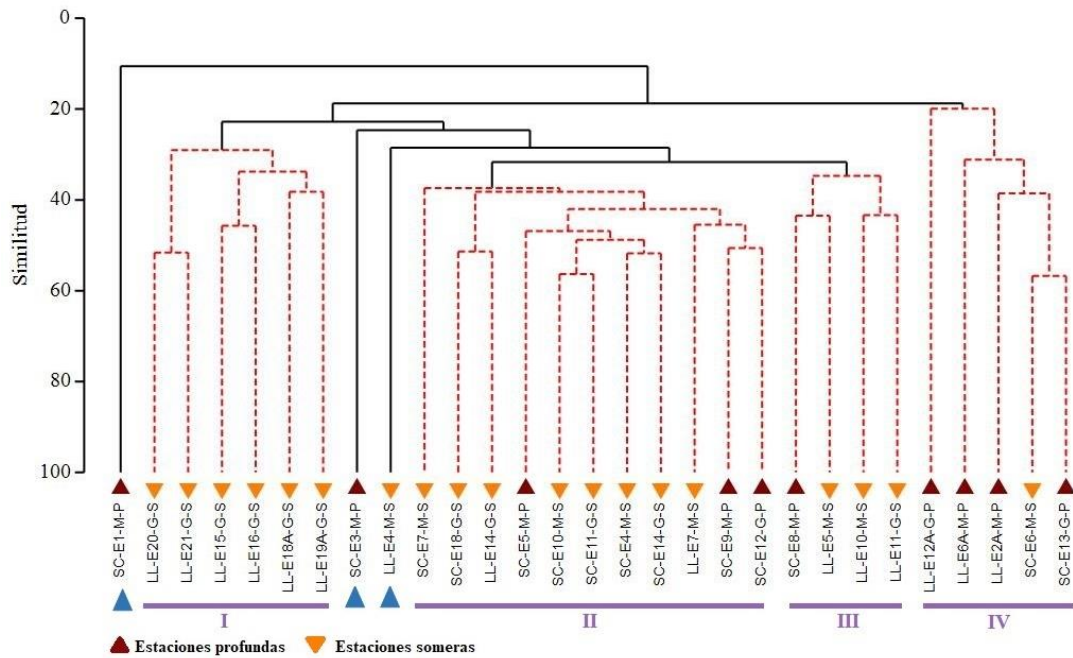


Figura 10. Dendrograma del análisis de clasificación utilizando el índice de similitud de Bray-Curtis a partir de la matriz de datos transformados con $\ln(x_{ij}+1)$. **SC:** época seca, **LL:** época lluviosa, **M:** sector Magdalena, **G:** sector La Guajira, **S:** somero y **P:** profundo. **Índice cofenético:** 0.78.

El PERMANOVA no evidenció diferencias significativas ni entre las épocas ($F_{(1,21)} = 1.27$; $P = 0.21$) ni entre sectores ($F_{(1,21)} = 1.47$; $P = 0.08$), pero si entre profundidades ($F_{(1,21)} = 2.58$; $P = 0.003$). Se realizó un SIMPER (Tabla 6), el cual muestra 33 familias que más aportaron a la disimilitud entre profundidades a un corte de 70 %, obteniendo un promedio de disimilitud de 76.97 % (Tabla 6). Se puede evidenciar que, la familia Capitellidae fue la que tuvo la mayor contribución, sin embargo, la abundancia de las familias Magelonidae y Orbiniidae fueron las responsables en mayor parte en aportar diferencias, ya que tiene el cociente SIMPER más alto.

Tabla 6. Análisis del porcentaje de contribución SIMPER. Familias que más contribuyen a la disimilitud entre las comunidades macrobentónicas infaunales de los estratos profundos y someros. Cociente SIMPER entre disimilitud promedio (D) y desviación estándar (DE). * Contribución mayor al 2%.

Familia	Abundancia Media Profunda	Abundancia Media Somera	D/DE	Contribución (%)*	Contribución Acumulada (%)
Capitellidae	1.03	1.54	1.15	4.43	4.43
Ampeliscidae	0.81	0.88	1.12	3.35	7.79
Magelonidae	0.21	1.05	1.23	3.24	11.02
Lumbrineridae	0.64	1.37	1.06	3.20	14.22
Nephtyidae	0.50	0.94	1.05	2.88	17.10
Paraonidae	0.50	0.87	1.00	2.85	19.95
Glyceridae	0.28	0.77	0.87	2.84	22.78
Orbiniidae	0.61	0.88	1.16	2.74	25.52
Onuphidae	0.68	0.74	1.07	2.48	28.00
Cossuridae	0.60	0.33	0.96	2.47	30.47
Cirratulidae	0.43	0.71	1.10	2.43	32.90
Spionidae	0.50	0.72	0.98	2.41	35.31
Amphiuridae	0.55	0.50	0.90	2.41	37.72
Opheliidae	0.61	0.31	0.99	2.14	39.86
Ampharetidae	0.49	0.46	0.89	2.06	41.92
Polychaeta 1	0.44	0.30	0.63	2.05	43.97

Relación variables abióticas con bióticas

El *BIOENV*, indica que las variables que mejor se relacionan con la estructura del ensamblaje son la salinidad, temperatura del agua, carbonato de calcio, tamaño medio del grano, proporción de lodos y arcillas con una correlación máxima de 0.584 (Tabla 7). En la Figura 11, se muestra el comportamiento de las variables que tuvieron la máxima correlación superpuesta al ordenamiento (nMDS) del componente biológico. En la mayoría de los grupos, se puede evidenciar que la influencia de las variables es estable en las estaciones de los grupos II, III y IV, a diferencia de las muestras que se encuentran en el grupo I, de la época lluviosa del sector de La Guajira y la mayoría del estrato somero, las cuales no tienen influencia de sedimentos tipo lodos. En cuanto a las muestras o grupos externos, en la SC-E1-M-P, se puede evidenciar que las variables que mayor influyen son la temperatura y tamaño medio del grano, en la SC-E3-M-P el tamaño medio del grano y lodos tienen la mayor influencia y, en la LL-E4-M-S la temperatura y el tamaño medio del grano tienen el mayor efecto.

Tabla 7. Resultado del análisis *BIOENV* de la combinación de ocho (8) variables que son consideradas en las 10 mejores correlaciones armónicas de Spearman (ρ_w). Salinidad (Sa), temperatura (Te), materia orgánica (Mo), carbonato de calcio (Cc), tamaño medio del grano (ϕ), arena mediana (Am), lodos y arcillas (LyA), plomo (Pb), zinc (Zn) y níquel (Ni). El primer valor (en negrita) indica la máxima correlación encontrada.

ρ_w	Sa	Te	Mo	Cc	ϕ	Am	LyA	Pb	Zn	Ni
0.584	x	x		x	x		x			
0.576	x	x		x	x	x	x			
0.570	x	x		x		x	x			
0.570	x	x	x	x	x	x				
0.569	x	x		x			x			
0.568	x	x	x	x	x		x			
0.565	x	x		x	x		x	x		
0.564	x	x		x	x		x		x	
0.561	x	x	x	x		x	x			
0.561	x	x		x	x		x			x

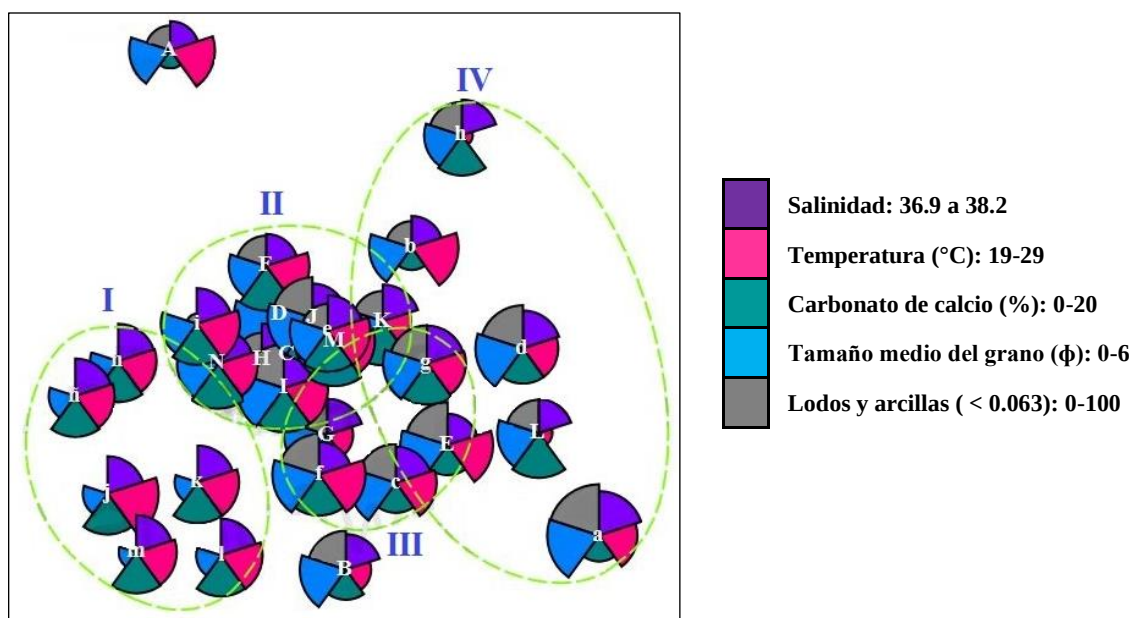


Figura 11. Superposición de variables del sedimento y la columna de agua en el ordenamiento de la macroinfauna obtenido a partir del nMDS (estrés = 0.2). El tamaño de los círculos es proporcional al valor de cada variable, siendo la escala de variación diferente para cada ordenación. Donde, SC-M: (A) E1-P, (B) E3-P, (C) E4-S, (D) E5-P, (E) E6-S, (F) E7-S, (G) E8-P, (H) E9-P, (I) E10-S. SC-G: (J) E11-S, (K) E12-P, (L) E13-P, (M) E14-S, (N) E18-S. LL: (a) E2A-P, (b) E4-S, (c) E5-S, (d) E6A-P, (e) E7-S, (f) E10-S. LL-G: (g) E11-S, (h) E12A-P, (i) E14-S, (j) E15-S, (k) E16-S, (l) E18A-S, (m) E19A-S, (n) E20-S y (ñ) E21-S.

En el análisis de correlación canónica se evidencia que el 25.8 % de los taxones están más relacionados con las variables, materia orgánica, níquel, cadmio, zinc, arena muy fina, lodos y arcillas (Figura 12, elipse c). El 22.6 % están ligados a los cambios en temperatura, salinidad, plomo, carbonato de calcio, arenas medianas y arena gruesa (Figura 12, elipse a). El 19.3 % de los taxones están influenciados principalmente por cromo (Figura 12, elipse b) y el 16.1 % por el oxígeno disuelto y arena fina (Figura 12 elipse d). La mayoría de las estaciones de la época seca en el sector del Magdalena, se encuentran mayormente afectadas por el cromo (Figura 12, elipse b), a diferencia de las estaciones del sector de La Guajira (Figura 12, elipse c). La muestras de la época lluviosa en el Magdalena están relacionadas con temperatura, salinidad, carbonato de calcio, plomo, arena gruesa, arena mediana, arena fina (Figura 12, elipse a y d) en contraposición a las estaciones del sector de La Guajira (Figura 12, elipse b y c).

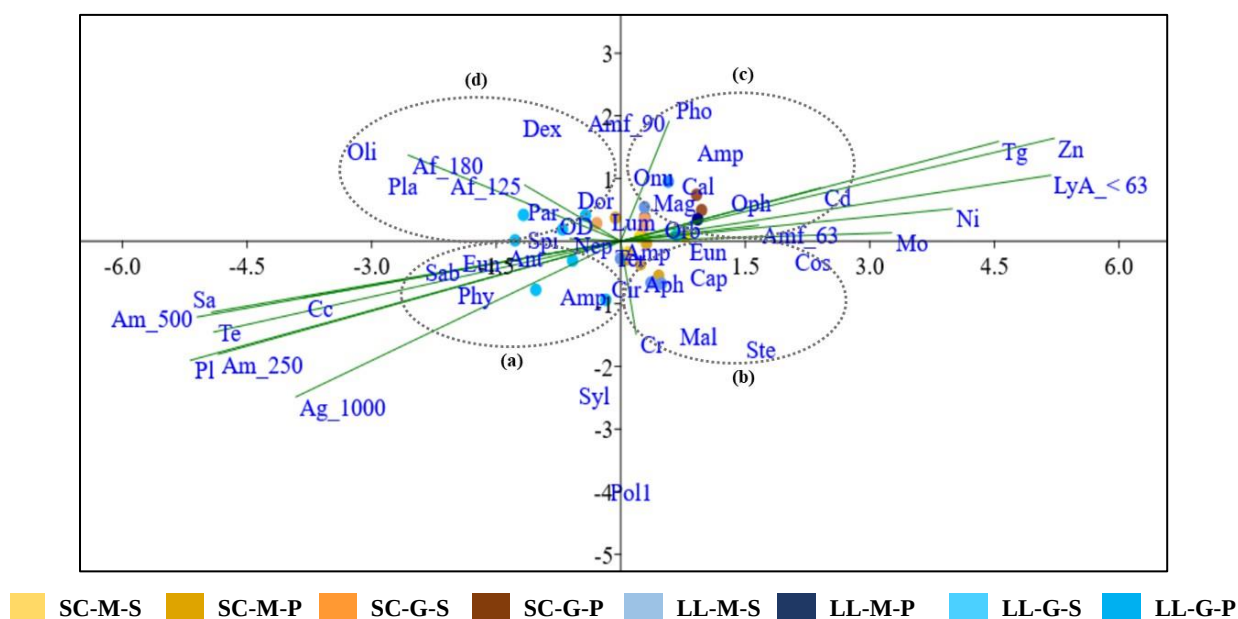


Figura 72. Correspondencia Canonica (CCA). **Variables abióticas:** Pr: profundidad, OD: oxígeno disuelto, Sa: salinidad, Te: temperatura, Mo: materia orgánica, Cc: carbonato de calcio, Ag: arena gruesa, Am: arena mediana, Af: arena fina, Amf: arena muy fina, LyA: lodos y arcillas y metales pesados. **Taxones** (abundancia total mayor al 1 %): Amp: Ampharetidae, Aph: Amphinomidae, Ahr: Amphiuridae, Ape: Ampeliscidae, Ant: Anthuridae, Cal: Callianassidae, Cap: Capitellidae, Cir: Cirratulidae, Cos: Cossuridae, Dex: Dexaminiidae, Dor: Dorvilleidae, Eun: Eunicidae, Gly: Glyceridae, Lum: Lumbrineridae, Mag: Magelonidae, Mal: Maldanidae, Nep: Nephtyidae, Oli: Olividae, Onu: Onuphidae, Oph: Opheliidae, Orb: Orbiniidae, Par: Paraonidae, Phx: Phoxocephalidae, Phy: Phyllodocidae, Pla: Platyischnopidae, Pl1: Polychaeta 1, Sab: Sabellidae, Spi: Spionidae, Ste: Sternaspidae, Syl: Syllidae, Ter: Terebellidae (El eje 1 explica la variabilidad en un 24.27 % y el eje 2 en un 12.31 %).

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Condiciones de la masa de agua

De acuerdo a lo obtenido de variable salinidad, se puede clasificar el agua marina adyacente al sustrato en Caribe norte colombiano como polihalina ($> 34-38$; Knox, 2001), tanto en la época seca como en la lluviosa. En cuanto al oxígeno disuelto (OD), todas las estaciones estuvieron por encima del criterio de calidad para la preservación de flora y fauna en aguas, marinas y estuarinas según el Decreto 3930 de 2010 (4 mg/L; MinSalud, 1984).

Características físicas y químicas del sedimento

El tipo de fondo predominante en la plataforma continental del Caribe norte colombiano fueron los lodos y arcillas, coincidiendo con los descrito por Guzmán Alvis y Díaz (1993), Córdoba (1997), López (1997), Guzmán Alvis y Solano (1997) y Guzmán Alvis *et al.* (2001). No obstante, hubo variaciones entre sectores, es así como en la época seca en el sector del Magdalena dominaron los lodos y en el sector de La Guajira la arena muy fina, mientras en la época lluviosa se dio predominio de lodos y arcillas en el sector del Magdalena y arena mediana en el sector de La Guajira. Este comportamiento, pone en evidencia que la distribución del tamaño grano de los sedimentos varia con la profundidad, ya que en el Magdalena donde hubo más áreas profundas que someras en las dos épocas climáticas, predominaron los lodos y arcillas, lo que concuerda con lo descrito por varios autores (Tabla 8), que afirman que en aguas someras predominan las arenas y en las zonas profundas los lodos.

Tabla 8. Estudios sobre fondos blandos en diferentes áreas del Caribe norte de Colombia.

Autor	Área	Época	Fecha	Profundidad	Sedimento
Guzmán Alvis y Díaz (1993)	Santa Marta / Golfo de Salamanca	Lluviosa	Octubre y noviembre 1991	15 y 100 m	15 a 30 m (arenas) 60 a 100 m (cienos) arena mediana y fina más cerca de la costa
Córdoba (1997)	Bahía del Rodadero-Pozos Colorados	Seca y lluviosa	Diciembre 1994 y septiembre 1995	13.8 y 61.8 m	Cienos y arenas muy finas
Mejía y Chacín	Imediaciones del río Gaira	Lluviosa y seca	Septiembre 1997 y enero 1998	1.3, 3.3, 4.5 y 6.0 m	Arenas finas, muy finas y cieno
Torres (1999)	El Rodadero		1997 y 1998	5, 10 y 15 m	Arenas finas y muy finas
Barrios <i>et al.</i> (2011)	Sur de Taganga	Lluviosa	Septiembre y diciembre 2009	8 a 12 m	Arenas gruesas
Sánchez Armenta <i>et al.</i> (2011)	Sur de Taganga	Seca	Diciembre 2008 y junio 2009	5 a 15 m	Predominio de gránulos, arenas gruesas y medianas
Este estudio 2018	Sector Magdalena	Seca y lluviosa	Mayo y noviembre 2018	50m a 150 m	Limos muy grueso (estaciones profundas). Arenas (estaciones someras)

Continuación Tabla 8. Estudios sobre fondos blandos en diferentes áreas del Caribe norte de Colombia.

Autor	Área	Época	Fecha	Profundidad	Sedimento
Trujillo <i>et al.</i> (2009)	Palomino y La Guajira		2006	28 a 72 m	Arenas medianas, finas y lodos (norte: lodo, lodo arenoso, arena lodosa y arena. Centro: arenoso. Sur: similar al norte)
Guzmán Alvis y Solano (1997)	Dibulla a río Palomino			6-21 y 5 m	Cienos (estaciones profundas) muy finas (estaciones cerca a la costa)
Paramo <i>et al.</i> (2012)	Santa Marta hasta Puerto Estrella	Seca	2005 y 2006	< 50 a 100 m	Sedimentos tipo arena
Este estudio 2018	Sector La Guajira	Seca y lluviosa	Mayo y noviembre 2018	7 m a 150 m	Limos muy grueso (estaciones profundas). Arenas (estaciones someras)

Entre de las características que explican la distribución del sedimento está el aporte de los ríos (Alongi, 1989). Según Rojas (1986), los sitios cercanos a la desembocadura de los ríos constituye un sector con alta energía cinética caracterizado por sedimentos arenosos y bajo contenido de materia orgánica, mientras que sitios más distantes se caracterizan por bajos niveles de energía donde los materiales en suspensión se depositan, allí los sedimentos se caracterizan por ser fangosos y por tener altos contenidos orgánicos. Esto concuerda si se observaran estaciones particularizadas en este estudio, ya que por ejemplo la SC-E1-M-P, cercana a la desembocadura del río Magdalena (2.68 km), tuvo sedimentos tipo arena muy fina y bajos contenidos de materia orgánica en comparación con otras estaciones (1.5 %). Sin embargo, el sector del Magdalena en general dominan los sedimentos tipo lodos (73.3 %) y además mayor contenido de materia orgánica que en el sector de La Guajira ($M = 9.7 \pm 1.5 \%$ y $G = 7.4 \pm 1.4 \%$).

Lo anterior puede explicarse en que (i) la plataforma continental del Magdalena es mucho más estrecha y al alejarse de la costa, los sedimentos que permanecen en la columna de agua son más finos y se van precipitando principalmente por gravedad, lo que explica que a mayor profundidad los sedimentos sean más finos, (ii) los aportes se hacen por corrientes estacionales que drenan extensas llanuras costeras y terrazas bajas, conformadas por materiales sedimentarios de tamaño fino, (iii) los ríos que bajan de la Sierra Nevada de Santa Marta, los cuales drenan rocas ígneas y metamórficas, remueven el material arcilloso o arenoso, respectivamente, producto de su meteorización (Paramo *et al.*, 2012), (iv) los aportes de material orgánico la Ciénaga Grande de Santa Marta (Guzmán Alvis y Díaz, 1993) y (v) mayor transporte de sedimentos finos (Salomons y Förstner, 1984) que se ve acentuada con la influencia de los vientos alisios de norte a sur de la época seca (Escobar, 1988). No obstante, en la época lluviosa se dio el mismo comportamiento, lo cual puede ser causa del debilitamiento de los vientos y de la contracorriente de Panamá-Colombia, alcanzando velocidades entre 0.26 y 0.49 m/s, en la temporada de huracanes del Caribe (Aqua y Terra Consultores

Asociados S.A., 2006) que son capaces de movilizar una carga importante de sedimentos (Salomons y Förstner, 1984).

El contenido materia orgánica en la mayoría de las estaciones (69.0 %), está dentro de lo normal para los sedimentos marinos y costeros -0.1 y 10 %- (Establier *et al.*, 1984), y del 31.0 % restante esta que está por encima de la referencia, se destacan las estaciones SC-E7-M-S que presentó el valor más (24.4 %). Esto coincide con lo obtenido por Córdoba (1997), quien encontró un 21.9 % de materia orgánica y lo atribuyó a la posible influencia de desechos urbanos del sector. La primera muestra mencionada se encuentra en cercanías del Cabo San Juan del Guía (PNN Tayrona), lo que podría estar relacionado con las actividades turísticas que se están llevando allí. Sin embargo, esta fue una de las muestras con mayor riqueza de familias (S= 35) y densidad (X= 95), está última posiblemente porque hay representación de la familia Ampharetidae (11.6 %) –no es común en zonas someras-, la cual según Russell (1987), puede responder a perturbaciones físicas del ambiente, siendo considerada una familia con especies oportunistas que se alimentan de la materia orgánica en suspensión.

En el sector Magdalena hubo un mayor contenido de materia orgánica que en el de La Guajira, posiblemente por lo que puntualiza Alongi (1989), quien afirma que las altas concentraciones se debe no sólo a sectores de surgencia sino a sectores próximas a ríos, y aunque La Guajira presenta el río Ranchería (entre otros), sólo aporta 0.13×10^6 t/año (Restrepo-López *et al.*, 2015). Este Río no es comparable con los ríos del sector del Magdalena y especialmente con la descarga que proyecta el río Magdalena (142.6×10^6 t/año; 97 % de la descarga total de sedimentos de Colombia; Restrepo López *et al.*, 2015).

La dominancia de sedimentos tipo litoclástico sobretodo en el sector del Magdalena, no concuerda con el tipo bioclástico obtenido por Rubio (2005), litobioclastico Sánchez Armenta *et al.* (2011) y litobioclástico Barrios *et al.* (2011), aunque todos ellos abordaron solo el área de la bahía de Taganga. La información obtenida en esta investigación concuerda con lo obtenido en el estudio de CORPOGUAJIRA e INVEMAR (2012), donde se da una mayor carga terrígena y más aún en el sector del Magdalena, evidenciándose hacia el sector de Palomino la pérdida del carácter carbonatado (litoclastico) de los sedimentos.

Metales pesados

Se llevó a cabo la comparación con referencias y estudios a nivel internacional sobre valores de referencia para niveles de efectos umbral (TEL por sus siglas en inglés) y para niveles de efectos probables (PEL por sus siglas en inglés) de diferentes contaminantes, ya que en Colombia no hay normativas o niveles de referencias para sedimentos marinos. El cadmio y el cobre estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método analítico utilizado por el laboratorio (< 0.05 y < 20.0 mg/kg respectivamente). El cadmio no sobrepaso los valores de referencia para sedimentos marinos (0.68 mg/kg; MacDonald *et al.*, 1996), sin embargo, en sector del Magdalena (0.14 ± 0.03 mg/kg) fue mayor que en el de La Guajira (0.05 ± 0.01 mg/kg). El cobre sobrepaso el valor de referencia solamente en la estación LL-E2A-M-P (18.7 mg/kg;

MacDonald *et al.*, 1996), la cual estuvo en cercanías a la desembocadura del río Magdalena (a 5.69 km). Por otro lado, el cromo estuvo por debajo de los valores de referencia (52.3 mg/kg), exceptuando SC-E5-M-P, la cual tuvo un valor de 214.7 mg/kg, y supera el valor PEL (160 mg/kg; MacDonald *et al.*, 1996), esta estación queda inmediaciones de la Ciénaga Grande de Santa Marta (a 14.71 km), lo que refleja la posible afectación de la zona por la actividad agroindustrial que se desarrolla en el piedemonte de la Sierra Nevada de Santa Marta y el posible uso de fungicidas en las plantaciones plataneras (Campos, 1990). Además, las descargas de agua dulce, con material en suspensión del río Magdalena, que trae consigo compuestos derivados del Cr, producto de la quema de carbón, del petróleo, la industria textil (pigmentos y colorantes), petroquímicos, entre otros (Herrera *et al.*, 2012), los cuales contribuyen al aumento de la concentración de este metal (González y Pedraza, 1973).

En cuanto al níquel, el 79.3 % de las muestras tanto en el Magdalena (14.57 ± 1.2 mg/kg) como en La Guajira (9.83 ± 0.8 mg/kg) estuvieron por debajo del valor referencia (15.9 mg/kg; MacDonald *et al.*, 1996). En cuanto al plomo, el Magdalena presenta un promedio menor que el de La Guajira ($M = 11.85 \pm 1.2$ mg/kg $> G = 22.34 \pm 2.3$ mg/kg) pero en ningún sector sobrepasa el valor de referencia y solo el 13.8 % de las muestras presentan concentraciones por encima de la referencia (30.2 mg/kg; MacDonald *et al.*, 1996). Asimismo, la mayoría de las muestras (96.6 %) presentaron valores de zinc menores al valor de referencia (124 mg/kg; MacDonald *et al.*, 1996). Cabe destacar que el Magdalena tuvo un mayor promedio que La Guajira ($M = 62.26 \pm 17.2$ mg/kg y $G = 41.0 \pm 22.5$ mg/kg). Además, la muestra SC-E13-G-P tuvo valores altos (328 mg/kg), por encima además del valor de efecto probable (PEL: 271 mg/kg), la cual se encuentra en cercanías a Dibulla (a 23.70 km), en inmediaciones al Puerto Brisa, lo que explica la presencia de este metal, ya que allí se dan actividades industriales de minería y combustión de carbón que llega a sus aguas residuales y no son depuradas satisfactoriamente, esto además conlleva a que los ríos (Jerez, Cañas y Tapios) depositen fango contaminado con zinc en sus orillas (UPME, 2017). De igual forma, en muchos casos esta minería es ilegal, lo que provoca mayores daños ambientales (Guerrero, 2017).

Teniendo en cuenta lo anterior, aunque la mayoría de las concentraciones estuvieron por debajo del límite permisible, se dieron algunas excepciones en estaciones -anteriormente mencionadas-, que estuvieron por encima de los valores de referencia planteados a nivel internacional, lo que puede deberse al empleo de fertilizantes y fungicidas en las áreas de cultivo que son arrastrados por los diferentes ríos, pero además, al ingreso de aguas residuales que no son correctamente tratadas, al uso de combustibles fósiles y a fuentes naturales como vulcanismo, vegetación en descomposición e incendios forestales (Navarro y Sabater, 2004). Asimismo, si bien el cadmio, cromo, níquel y zinc no estuvieron por encima de los niveles permitidos de lo permitido, si fueron mayores en el sector del Magdalena con respecto al de La Guajira, lo que puede ser resultado del mayor uso del suelo en estas áreas para fines socioeconómicos. Solamente, el plomo tuvo mayor concentración en el sector de La Guajira que en el del Magdalena, lo que puede deberse a que en la

principal fuente hídrica (río Ranchería), llegan aguas residuales domésticas de los municipios por donde transita, residuos de las actividades de minería de carbón a cielo abierto de El Cerrejón y escorrentía derivada de los sectores agrícolas y ganaderos de la región por el uso del suelo (Doria *et al.*, 2017). Además, como se mencionó anteriormente el sector del Magdalena tuvo una mayor carga orgánica en comparación con La Guajira, lo que significa que hay mayor número de interacciones de los metales con la materia orgánica, aumentando su solubilidad, disponibilidad y dispersión (Calderon y Valdés, 2012). Cabe destacar que la mayoría de las estaciones con concentraciones por encima de lo permitido están a mayores profundidades, lo que concuerda con la premisa de que a mayores profundidades mayor será la concentración de metales pesados, debido a que éstos tienen una alta capacidad de adsorberse en sedimentos tipo lodoso o arcilloso, que se depositan donde la energía de transporte disminuye (Fuentes Hernández *et al.*, 2019).

En cuanto el mercurio, los valores estuvieron por debajo del mínimo detectable (< 0.2 mg/kg), que deja en duda cuál es el efecto de este metal sobre el sedimento, siendo el valor de referencia 0.13 mg/kg (MacDonald *et al.*, 1996), aunque según Monikh *et al.* (2013) y Thera y Rumbold (2014) un pequeño porcentaje del Hg enlazado a las partículas de sedimento de forma inestable, puede cambiar su forma iónica y estar biodisponible para biota, haciendo posible su flujo hacia la columna de agua y a la red alimentaria.

Ensamblaje macrobentónico infaunal

Composición

Para la comparación, se realizó una estandarización teniendo en cuenta la densidad de especies (en este caso de taxones) según lo establecido por Gotelli y Colwell (2001) y Cox *et al.* (2017). Los datos obtenidos en otras investigaciones se extrapolaron a un área de 0.12 m^2 (Anexo H). Al comparar el sector del Magdalena con estudios hechos en la Bahía de Taganga, se puede observar que los datos obtenidos son menores a los evidenciados tanto en la época seca (bahía de Taganga; 31 familias $\times 0.12 \text{ m}^2$; Sánchez Armenta *et al.*, 2011) como en la época lluviosa (18.8 familias $\times 0.12 \text{ m}^2$; Barrios *et al.*, 2011), aún siendo áreas más pequeñas y específicas. Contrariamente ocurre en otras zonas: Pozos Colorados (3.7 familias $\times 0.12 \text{ m}^2$; Cordoba, 1997) o Santa Marta (3.0 familias $\times 0.12 \text{ m}^2$; Gúzman Alvis y Díaz, 1993), que presenta densidad de familias más bajas, poniendo en evidencia que hay efectos ambientales de impactos de origen natural o antrópico, que condicionan la composición del ensamblaje. En el caso de La Guajira, Trujillo *et al.* (2009) reportan un número de familias mayor al de este estudio (4.3 familias $\times 0.12 \text{ m}^2$), tanto en época seca como en lluviosa.

La mayor abundancia de poliquetos concuerda con lo encontrado en múltiples estudios en el Caribe colombiano (Guzmán Alvis y Díaz, 1993; Córdoba, 1997; Guzmán Alvis y Solano, 1997; Mejía y Chacín 1999; Torres, 1999; Rubio, 2005; Trujillo *et al.*, 2009; Sánchez Armenta *et al.*, 2011; Barrios *et al.*, 2011).

Solo en algunas de estas investigaciones hay presencia de la familia Capitellidae aunque sin ser la más abundante (Guzmán Alvis y Díaz; 1993; Rubio, 2005; Sánchez Armenta *et al.*, 2011) y solo en Mejía y Chacín (1999) hay mayor representatividad de esta familia, tal como sucedió en este estudio. Las especies de esta familia viven enterrados en arena o lodo y se alimentan de la materia orgánica adherida al sedimento (De León González *et al.*, 2009). Según Tsutsumi *et al.* (1990) estos organismos no ingieren o asimilan directamente los materiales orgánicos del sedimento, sino que (1) se alimentan de algunos microorganismos específicos, que aumentan cuando hay gran cantidad de materia orgánica descompuesta y (2) absorben ciertas sustancias producidas durante el proceso de descomposición de los materiales orgánicos, un ejemplo de ello, es el sulfuro de hidrógeno, el cual promueve el asentamiento larval de *Capitella sp.* (Cuomo, 1985). Asimismo, algunas especies de *Capitella* presentan características oportunistas que les permite ocupar hábitats perturbados, tales como presentar un estadio larva planctónico que permite la dispersión en un área amplia. Esto pone en evidencia la importancia de sus características ecológicas, ya que les permiten que al estar en contacto permanente con diferentes tipos de contaminantes, respondan bioacumulando, disminuyendo o aumentando su abundancia (Fernández Rodríguez y Londoño Mesa, 2015).

Densidad y Biomasa

La densidad en el sector del Magdalena fue baja con respecto a lo reportado en otras investigaciones en el sector en Gaira ($159.12 \text{ ind} \times 0.12 \text{ m}^{-2}$; Mejía y Chacín, 1999) El Rodadero y Pozos Colorados ($561.8 \text{ ind} \times 0.12 \text{ m}^{-2}$; Córdoba, 1997) y bahía de Taganga ($985.6 \text{ ind} \times 0.12 \text{ m}^{-2}$; Sánchez Armenta *et al.*, 2011 y $2139 \text{ ind} \times 0.12 \text{ m}^{-2}$; Barrios *et al.*, 2011), tanto en época seca como en lluviosa (Anexo G). En los estudios de Sánchez Armenta *et al.* (2011) y Barrios *et al.* (2011), el área de estudio es una bahía cerrada, con estaciones en profundidades someras (5 a 15 m) y cercanas al continente, lo que explica las mayores abundancias para estos dos casos. Asimismo se utilizó el corazonador como método de muestreo, el cual penetra con mayor eficiencia el sedimento eficiencia y la perdida de organismos es menor que al usar una draga (Downing y Rigler, 1984; Elliot y Gray, 2009). En las investigaciones de Mejía y Chacín (1997) y Córdoba (1997) se utilizó la draga van Veen, sin embargo es importante tener en cuenta que las estaciones estuvieron en estratos de profundidad someros, lo cual traduce en un aumento en el número de organismos (Parsons *et al.*, 1984). La biomasa húmeda para este estudio en el Magdalena se puede considerar baja, comparándola con lo reportado en áreas del sector, como la bahía Taganga ($1.2 \text{ g} \times 0.12 \text{ m}^{-2}$ Sánchez Armenta *et al.*, 2011; $2.8 \text{ g} \times 0.12 \text{ m}^{-2}$ Barrios *et al.*, 2011), bahía del Rodadero y Pozos Colorados ($4.6 \times 0.12 \text{ m}^{-2}$ Córdoba, 1997). El sector de Taganga, al estar en cercanías al Emisario Submarino, pueden estar influenciadas por la alta carga orgánica (3 a 25 %) producida, la cual podría ser asimilada por los organismos provocando el aumento de su biomasa. Igualmente ocurre en los sectores de El Rodadero y Pozos Colorados, donde la descarga del río Gaira y posiblemente los desechos urbanos influyeron en los valores altos de materia orgánica (5 a 21 %).

La biomasa en el sector de La Guajira es baja al contrastarla con lo reportado por Trujillo *et al.* (2009; $0.4 \text{ g} \times 0.12 \text{ m}^{-2}$), esta diferencia puede deberse a que las estaciones estuvieron cercanas a fuentes con alta carga orgánica (ríos o aguas residuales industriales). Contrariamente sucedió con la densidad, ya que fue mayor que la encontrada por Trujillo *et al.* (2009; $29.4 \text{ ind} \times 0.12 \text{ m}^{-2}$), probablemente porque las estaciones seleccionadas fueron en estratos más someros (7-57 m) que las utilizadas por los autores (28-72 m), y según López (1997) y Pearson y Rosenberg (1987) la disponibilidad de recurso -proveniente de la alta productividad (Margalef, 1989)- disminuye con la profundidad y la distancia a la costa, porque las aguas someras y cercanas a la costa, tiene dos fuentes de alimento: una autóctona (producción primaria en superficie) y alóctona (origen terrestre o de agua dulce).

Diversidad de taxones y curva de abundancia y biomasa

La uniformidad de Pielou coincide con lo obtenido por Sánchez Armenta *et al.* (2011), quienes obtuvieron valores de 0.5 a 0.7 evidenciándose estabilidad en la distribución de los organismos por familias, cabe aclarar que en este estudio la uniformidad fue menor que la encontrada por estos autores. Además, la H' reportada en el estudio anteriormente mencionado, fue entre 2.5 y 2.8 nits, con baja variación al igual que lo obtenido en esta investigación (CV= 18.8 %). Asimismo, se destaca que los valores fueron estables en todas las muestras.

Cabe resaltar que las curvas de comparación de abundancia-biomasa, sugiere que las actividades antrópicas que se presentan en la zona no están influenciando de manera negativa a los organismos asociados (Warwick, 1986; 1993). El valor del estadístico W en el sector del Magdalena es menor al del sector de La Guajira durante la época seca, esto sugiere que el primer sector tiene mayor influencia antrópica o natural que el segundo sector, lo que refuerza la hipótesis planteada. No se puede observar este mismo comportamiento en la época lluviosa, ya que la diferencia de los estadísticos de los sectores, es mínima. Además, la estación SC-E4-M-S obtiene el estadístico W más bajo, en la cual se evidencia alta concentración de níquel (16.2 mg/kg), superando el valor de referencia (15.9 mg/kg; MacDonald *et al.*, 1996). Los equinodermos obtuvieron el estadístico W más bajo, probablemente porque dentro del grupo la abundancia esta altamente concentrada en los ophiuros, mientras que la biomasa no es tan dominante en éstos (Díaz Fermín, 2018).

Por otro lado, las técnicas multivariadas permitieron establecer que hay baja similaridad de esta comunidad y exhibieron que la composición faunística no presentó cambios significativos en cuanto a la posición geográfica o temporalidad, pero si en la profundidad. Estos resultados son similares a los estudios de Guzmán Alvis *et al.* (2001), Sanchez-Armenta *et al.* (2011) y Barrios *et al.* (2011), donde concluyen que no hay diferencias espaciales ni temporales, y las diferencias en la distribución de la macroinfauna bentónica se ven con la profundidad.

Asociaciones biológicas

La prueba BIOENV mostró que la combinación de factores que mejor explican o determinan la estructura de la comunidad, son salinidad, temperatura, carbonato de calcio, tamaño medio de grano y sedimento tipo lodoso y arcilloso. Este resultado se corrobora y complementa con lo obtenido en el CCA, donde se evidencia que los lodos y las arcillas y algunas características del sedimento, explican la abundancia y composición de la mayoría de los taxones. La tendencia corrobora que la profundidad es el principal factor que determina el número y tipo de organismos, y que se asocia directamente con las características de los sedimentos. Estos resultados concuerdan con lo mencionado por Guzmán Alvis *et al.* (2001), quienes evidencian que la profundidad explica el comportamiento de las comunidades macrobentónicas, y lo sugerido por Trujillo *et al.* (2009), que consideraron que la profundidad tiene mayor importancia en las fracciones granulométricas, las cuales están ligadas a la disponibilidad de alimento (materia orgánica) y a la vez con su carácter carbonatado (Alongi, 1990). En este sentido, se puede evidenciar que la dominancia de familias dependiendo de la profundidad si respondió al tipo de sedimento, ya que posiblemente al darse una dominancia de lodos y arcillas (principalmente en la zonas profundas; 55.6 %), la materia orgánica se adhirió con mayor facilidad al sedimento (Dean, 2001) como reflejo de la alta superficie de adsorción que presentan los depósitos de grano fino (Rowe, 1981), proporcionando el alimento necesario para los especímenes, especialmente alimentadores de depósito (Odum 1982), quienes fueron dominantes. Cabe aclarar, que el sedimento tipo arena en la zona somera en su totalidad representan el 57.9 %, concordando con la menor cantidad de materia orgánica encontrada comparada con lo obtenido en áreas profundas (somero: 3.2 ± 0.3 % y profundo: 4.1 ± 0.3 %).

Algunos autores han encontrado solo una variable como factor determinante de la estructura de comunidades macroinfaunales, como en el caso de contenido de materia orgánica en los sedimentos (Rubio, 2005) y tipo de sedimento según el tamaño medio de grano (López, 1997; Torres, 1999). Otros trabajos reportan la combinación de dos o más factores como el tipo de sedimento y el contenido de materia orgánica (Neira y Palma, 2007) o la temperatura, concentración de nitritos y tamaño promedio del grano (Sánchez Armenta *et al.*, 2011). Esta combinación de variables demuestra, lo descrito anteriormente, en donde las características del sedimento son esenciales para la explicación del ensamblaje y están directamente relacionadas con las variaciones espaciales (espacial vertical), es decir la profundidad. Se puede evidenciar en el estudio, que en los estratos profundos la abundancia se redujo en comparación con los someros, donde fueron dominantes Ampeliscidae (en profundo) y Capitellidae (en somero), evidenciándose un cambio en el número de organismos, pero además de dominancia, apareciendo nuevas especies indicadoras (Clarke y Warwick, 2001; Dale y Beyeler, 2001; Niemeijer y de Groot, 2008; Goodsell *et al.*, 2009), lo que demuestra que las comunidades bentónicas pueden verse afectadas por distintas variables y

son los suficientemente sensibles a determinados tipos de impactos, respondiendo al estrés de forma inequívoca y previsible (Dale y Beyeler, 2001; Niemeijer y de Groot, 2008; Goodsell *et al.*, 2009).

Finalmente se observa que en el sector del Magdalena hubo mayor cantidad de materia orgánica y mayores valores de metales pesados, que los encontrados en el sector de La Guajira. Se puede decir, que esta comparación concuerda con las hipótesis planteadas, aunque no se pudo ver claramente que hayan anoxia o hipoxia, la salinidad en los dos sectores fue la misma ($M = 37.3 \pm 0.07$ y $G = 37.4 \pm 0.02$) y no hubo diferenciación en cuanto a las épocas climáticas. En este caso los mayores contenidos de materia orgánica y la presencia de los metales pesados analizados en mayores proporciones (comparado con el sector de La Guajira), definen una mayor contaminación del sector Magdalena.

Esta contaminación y perturbación más acentuada en el Magdalena, es causada por la mayor carga orgánica transportada por los ríos asociados que llevan los contaminantes al mar, derivados no sólo de las actividades socioeconómicas (actividad marítima y portuaria, transporte terrestre de carbón, cargue y transporte marítimo de carbón en el corredor Ciénaga-Santa Marta, transporte y manejo de hidrocarburos, agricultura, actividad turística y hotelera; Vivas Aguas *et al.*, 2014), sino además, las aguas residuales domésticas, residuos sólidos, rellenos sanitarios etc., reflejo del número de habitantes del departamento (representan 2.63 % de los habitantes del país; DANE, 2017), siendo Santa Marta la de mayor población (38.6 %) seguida de Ciénaga (8.2 %; Cámara de Comercio de Santa Marta, 2017), lo cual ponen en evidencia lo encontrado por Pereira *et al.*, (2019), quienes afirman que los mayores impactos son provocados por las infraestructuras y los asentamientos humanos.

CONCLUSIONES

- El tipo de fondo encontrado en la plataforma continental del Caribe norte colombiano fue principalmente sedimento lodoso y arcilloso, el cual se ve directamente asociado con la cantidad de materia orgánica obtenida y se presenta un gradiente vertical en la profundidad con sedimentos más gruesos en aguas someras y más finos en aguas profundas.
- El grupo crustáceos tuvo la riqueza más alta y los poliquetos la mayor abundancia en el estudio, siendo Capitellidae la familia dominante, lo que demuestra la capacidad adaptativa y amplia distribución de estos organismos.
- Las curvas de abundancia-biomasa sugieren que no hay una perturbación natural o antrópica significativa en las áreas evaluadas en ninguno de los sectores en las épocas climáticas correspondientes.
- La distribución de la macrofauna asociada a los fondos blandos del Caribe norte colombiano, presentó un ensamblaje explicado en parte por la profundidad asociada con las características del sedimento, encontrando, que las variables ambientales de cada sector y la época climática no tienen un efecto notorio sobre la estructura del ensamblaje.

- Se evidencia que el sector del Magdalena presenta mayores localidades contaminadas en comparación con el sector de La Guajira, principalmente por la alta carga orgánica que se asocia con la presencia de la familia Capitellidae e igualmente con los mayores valores de metales pesados obtenidos en el Magdalena.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se realizó en el marco del proyecto “Productividad y Calidad ambiental marina del Caribe norte colombiano como ejes para el desarrollo regional de los departamentos de La Guajira y el Magdalena: Análisis a partir del acople de los componentes atmosférico, oceanográfico y biológico”, financiado por las gobernaciones del Magdalena y La Guajira, y operado por COLCIENCIAS (Código No. 120274859287, CT-075-2017), y llevado a cabo por los grupos de investigación de Dinámica y manejo de Ecosistemas Costeros (DIMARCO) de la Universidad Jorge Tadeo Lozano y el grupo de Ciencia y Tecnología Pesquera Tropical (CITEPT) de la Universidad del Magdalena. Agradezco a mi familia por el apoyo constante, a mi director Néstor Ardila, mi codirector Adolfo Sanjuan y mi asesor Samuel Núñez por las enseñanzas y por guiarme en este proceso. A los profesores Andrés Merchán y Néstor Campos en el apoyo de la fase de campo y de laboratorio. Al Fondo Nacional de Ciencias (FONCIENCIAS 2017) y el Grupo de Investigación en Manejo y Conservación de Fauna, Flora y Ecosistemas Estratégicos Neotropicales (MIKU) de la Universidad del Magdalena que fueron fundamentales para los análisis de sedimentos.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía de Santa Marta D.T.C.H. 2016. Plan de Desarrollo 2016 - 2019. “Unidos por el cambio, Santa Marta ciudad del buen vivir”. Santa Marta, Magdalena. 598 p.
- Alongi, D.M. 1989. The ecology of tropical soft-bottom benthic ecosystems. *Oceanogr. Mar. Biol.*, 28: 381-496.
- Álvarez León, R., J. Aguilera Quiñonez, C.A. Andrade Amaya y P. Nowak. 1995. Caracterización general de la zona de surgencia en La Guajira colombiana. *Rev. Acad. Col. Cien. Exact. Fís. Nat.*, 19(75): 679-694.
- Amezcuza Allieri, M.A. y C. González Macías. 2007. Propuesta de un índice numérico para evaluar la calidad del sedimento influenciado por la industria petrolera. *Interciencia*, 32(7): 453-459.
- Anderson, M. 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecol.*, 26: 32-46.
- Andrade, C.A., E.D. Barton y CH.N.K. Mooers. 2003. Evidence for an eastward flow along the Central and South American Caribbean Coast. *J. Geop. Res.*, 108: 1-11.
- Andrade, C.A. and E.D. Barton. 2005. The Guajira upwelling system. *Cont. Shelf. Res.*, 25(9): 1003-1022.
- ANH (Agencia Nacional de Hidrocarburos) y PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2014. Diagnóstico socioeconómico de La Guajira, Riohacha. 102 p.
- Aqua y Terra Consultores Asociados S.A. 2006. Diseño de las obras de protección costera en la franja litoral de 1 kilómetro y medio, colindante con el lado occidental del espolón 1 ubicado en el casco urbano del municipio de Riohacha. Informe técnico, Corporación Minuto de Dios, Riohacha. 300 p.
- Báez, S. y N. Ardila. 2003. Poliquetos (Annelida : Polychaeta) del Mar Caribe colombiano. *Biota Colombiana*, 4(1): 89-109.
- Barrios, E., C. Trujillo y T. Sánchez. 2011. Macroinfauna asociada a fondos blandos en el costado sur de la bahía de Taganga, Caribe colombiano durante la época de lluvias. *Rev. Intropica*, 6: 71-88.
- Blanco, J.A. 1993. Reconocimiento piloto de fondos, ambiente, fauna asociada y recursos en aguas costeras del departamento del Magdalena. Informe final, Proy. Invenmar, Santa Marta. 223 p.
- Blott, S. 2001. Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth. Surf. Proc. Land.*, 26: 1237-1248.
- Borja, A.J., J. Franco and V. Pérez. 2000. A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Mar. Pollut. Bull.*, 40(12): 1100-1114.

- Buccolieri, A., G. Buccolieri, N. Cardellicchio, A. Dell'Atti, A. Di Leo y A. Maci. 2006. Heavy metals in marine sediments of Taranto Gulf (Ionian Sea, Southern Italy). *Mar. Chem.*, 99: 227-235.
- Brunel, O., M. Besner, D. Messier, L. Poirier, D. Granger y M. Weinstein. 1987. Le traineau suprabenthique Macer-GIROQ: appareil amélioré pour l'échantillonnage quantitatif étage de la petite faune nageuse au voisinage du fond. *Int. Rev. Hydrobiol.*, 63(6): 815-829.
- Calderón, C. y J. Valdés. 2012. Contenido de metales en sedimentos y organismos bentónicos de la bahía de San Jorge, Antofagasta, Chile. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.*, 47(1): 121-133.
- Cámara de Comercio de La Guajira. 2017. Informe socioeconómico. Diagnóstico del desempeño económico y social 2016, La Guajira. 84 p.
- Cámara de Comercio de Santa Marta. 2017. Informe económico de la jurisdicción Cámara De Comercio de Santa Marta para el Magdalena. Centro de desarrollo empresarial área de estudios económicos, Santa Marta. 35 p.
- Campos, N. 1990. La contaminación por metales pesados en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe Colombiano. *Caldasia*, 16(77): 231-244.
- Cantera, J. y R. Contreras. 1993. Ecosistemas costeros. 64-79. En: Leyva, P. (Ed.). Colombia Pacífico. Colombia, Santafé de Bogotá. 79 p.
- Cañete, J.I., G.L. Leighton y S.H. Soto. 2000. Proposición de un índice de vigilancia ambiental basado en la variabilidad temporal de la abundancia de dos especies de poliquetos bentónicos de bahía Quintero, Chile. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.*, 35(2): 185-194.
- Carrasco, F.D. and V.A. Gallardo. 1983. Abundance and distribution of the macrobenthic infauna of the Gulf of Arauco, Chile. *Int. Rev. Ges. Hydrobiology*, 68: 825-838.
- Carrasco, F.D. y V.A. Gallardo. 1989. La contaminación marina y el valor de la macroinfauna bentónica en su evaluación y vigilancia: casos de estudios en el litoral de Concepción, Chile. *Biol. Pesquera*, 18: 15-27.
- Clarke, K.R. and M. Ainsworth. 1993. A method of linking multivariate community structure to environmental variables. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 92: 205-219.
- Clarke, K.R., and R.M. Warwick. 2001. Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation. 3rd ed. PRIMER-E. Plymouth, UK. 260 p.
- Clarke, K.R., P.J. Somerfield and R.N. Gorley. 2008. Testing of null hypotheses in exploratory community analyses: similarity profiles and biota-environment linkage. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 366: 56-69.
- Clarke, K.R., R.N. Gorley, P.J. Somerfield and R.M. Warwick. 2014a. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. PRIMER-E. Plymouth, U.K 262 p.
- Clarke, K.R., J.R. Tweedley and F.J. Valesini. 2014b. Simple shade plots aid better long-term choices of data pre-treatment in multivariate assemblage studies. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.*, 94(1): 1-16.
- Córdoba T. M. 1997. Macrofauna bentónica asociada a fondos blandos de la plataforma continental de Pozos Colorados y el Rodadero, Caribe colombiano. Tesis Biol. Mar., Universidad Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta. 107 p
- Cortés Useche, C y J. Mendoza. 2012. Estructura de la comunidad macrobentónica en cuatro playas arenosas del Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo (Caribe colombiano) sometidas a diferentes niveles de uso. *Rev. Intropica*, 7: 121-127.
- Cortés, F., O. Solano, y J. Ruiz López. 2012. Variación espacio/temporal de la fauna macrobentónica asociada a fondos blandos y su relación con factores ambientales en el Parque Nacional Natural Gorgona, Pacífico colombiano. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 41(2): 323-353.
- CORPES (Consejo Regional de Planificación de la Costa Atlántica). 1992. El Caribe colombiano. Realidad Ambiental y Desarrollo. Cons. Reg. Planif. Costa Atlánt., Santa Marta. 275 p.
- CORPOGUAJIRA e INVEMAR. 2012. Atlas marino costero de La Guajira. Serie de Publicaciones Especiales de Invemar No.27. Santa Marta, Colombia. 188 p.
- Cox, K., M. Black, N. Filip, M. Miller, K. Mohns, J. Mortimos, T. Freitas, R. Greiter, T. Gerwing, F. Juanes y S. Dudas. 2017. Community assessment techniques and the implications for rarefaction and extrapolation with Hill numbers. *Ecology and Evolution*, 7: 11213-112226.
- Cuomo, M.C. 1985. Sulphide as a larval settlement cue for *Capitella* sp. I. *Biogeochem.*, 1: 169-181.
- Dale, D.H. and S.C. Beyeler. 2001. Challenges in the development and use of ecological indicators. *Ecol. Indicators*, 1: 3-10.
- DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística). 2017. Proyección nacional y departamental de la población para los años desde 2005 al 2020. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion>. 08/04/2018.
- De León González, J.A., J.R. Bastida Zavala, L.F. Carrera Parra, M.E. García Garza, A. Peña Rivera, S.I. Salazar Vallejo y V. Solís Weiss. 2009. Poliquetos (Annelida: Polychaeta) de México y América Tropical. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. 737 p.
- DelValls, T.A., M. Conradi, E. García-Adiego, J.M. Forja and A. Gómez-Parra. 1998. Analysis of macrobenthic community structure in relation to different environmental sources of contamination in two littoral ecosystems from the Gulf of Cadiz (SW Spain). *Hydrobiologia*, 385: 59-70.

- Dean, H.K. 2001. Capitellidae (Annelida: Polychaeta) de la costa del Pacífico de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 2 : 69-84.
- Dewis, J. y F. Freitas. 1984. Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. Boletín Suelos FAO, 10: 7-19.
- Díaz, M. 2015. Afectación y protección de ecosistemas marino-costeros en Colombia. *Verbum*, 10(10): 95-116.
- Díaz Fermín, R. y V. Acosta Balbás. 2019. Fauna asociada a la pesquería de Arca Zebra (Mollusca Bivalvia: Arcidae) en Venezuela. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 47(1): 45-66.
- Díaz Pulido, G. 1997. Ecosistemas Marinos y Costeros. 228-314. En: Chávez, M.E. y N. Arango. (Eds.). Informe nacional sobre el estado de la Biodiversidad Colombia. Tomo I, Diversidad Biológica. Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá.
- Doria, C., J. Gómez y J. Marrugo. 2017. Metales en sedimento del río Ranchería, La Guajira. *Rev. Facultad de Ciencias Básicas*, 15(2): 64-68.
- Downing, J.A and F.H. Rigler. 1984. A manual on methods for the assessment of secondary productivity in fresh waters. Blackwell Science Ltd. UK. 22 p
- Dueñas, P.R. 1980. Inventario preliminar de los poliquetos (Annelida) de aguas someras de la Bahía de Cartagena y áreas adyacentes. *Boletín Museo del Mar*, 10: 82-138.
- Eleftheriou, A. and A. McIntyre. 2005. Methods for the study of marine benthos. Third Edition. Blackwell Science. 389 p.
- Escobar, A. 1988. Estudio de algunos aspectos ecológicos y de la contaminación bacteriana en la bahía de Santa Marta, Caribe Colombia. *An. Inst. Inv. Mar. Punta Betín* 18: 39-57.
- Elliot, M. and J. S. Gray. 2009. Ecology of marine sediments: From science to management. Oxford University Press. 256 p.
- Establier, R., J. Blasco, A. Gómez y D. Escobar. 1984. Materia orgánica en los sedimentos de la bahía de Cádiz y las zonas de marismas y salinas. *Invest. Pesquera*, 48: 285-301.
- Fajardo, G. 1979. Surgencia costera en las proximidades de la península colombiana de La Guajira. *Bol. Sci CIOH*, 2: 7-19.
- Fenchel, T. 1978. The ecology of micro and meiobenthos. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 9: 99-121.
- Fauchald, K and P.A. Jumars. 1979. The diet of worms: A study of polychaete feeding guilds. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 17: 193-284.
- Fernández Rodríguez, V y M. Londoño Mesa. 2015. Poliquetos (Annelida: Polychaeta) como indicadores biológicos de contaminación marina: casos en Colombia. *Gestión y ambiente*, 18(1): 189-204.
- Folk, R.L. and W.C. Ward. 1957. Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters. *J. Sediment. Res.*, 27: 3-26.
- Franco Herrera, A. 2005. Oceanografía de la ensenada de Gaira. El Rodadero, más que un centro turístico en el Caribe colombiano. 1a edición. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Servigraphics Ltda, Bogotá. 58 p.
- Freire, J. and A. García Allut. 2000. Socioeconomically and biological causes of management failures in European artisanal fisheries: the case of Galicia (NW Spain). *Mar. Pollut. Bull.*, 24: 375-384.
- Freire, J, C. Bernárdez, A. Corgos, L. Fernández, E. González Gurriarán, M. Sampedro and P. Verísimo. 2002. Management strategies for sustainable invertebrate fisheries in coastal ecosystems of Galicia (NW Spain). *Aquat. Ecol.*, 36: 41-50.
- Frithsen, J. and F. Holland. 1992. Benthic communities as indicators of ecosystem condition. 459-460. En: McKenzie, D., E. Hyatt and V. McDonald. (Eds.). *Ecological Indicators*. Chapman and Hill. Florida, EEUU. 810 p.
- Fuentes Hernández, M., O. Snguineti Gamboa y L. Rojas de Astudillo. 2019. Evaluación del riesgo ambiental de metales pesados en los sedimentos superficiales del saco del golfo Cariaco. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 35(1): 101-114.
- Garcés Ordóñez, O y M. Bayona Arenas, 2017. Magdalena. 65-82. En: Garcés, O. y L. Espinosa (Eds.). Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras en el Caribe y Pacífico colombianos. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM: INVEMAR, MADS y CAR costeras. Informe técnico 2016. Serie de Publicaciones Periódicas No. 4 del INVEMAR, Santa Marta. 260 p.
- Giraldo, A. y G. Arellano. 2002. Equivalencia entre series temporales de diversidad para dos niveles taxonómicos. *Ecología Aplicada*, 1(1):37-42.
- Goodsell, P.J, A.J. Underwood y M.G. Chapman. 2009. Review: Evidence necessary for taxa to be reliable indicators of environmental conditions or impacts. *Mar. Pollut. Bull.*, 58: 323-331.
- Gotelli, N and K. Cowell. 2001. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology letters*, 4: 379-391.
- González, G. y O. Pedraza. 1973. Aspecto físico del Magdalena. Monografía del Departamento del Magdalena. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá
- Guerrero, S. 2017. Desmantelan en La Guajira mina ilegal de oro. <https://www.elheraldo.co/la-Guajira/desmantelan-en-la-Guajira-mina-ilegal-de-oro-417657>. 21/05/2019
- Guzmán Alvis, A. y J. Díaz. 1993. Distribución espacial de la taxocenosis annelida-mollusca en la plataforma continental del golfo de Salamanca, Caribe colombiano. *An. Inst. Invest. Mar. Punta Betín*, 22: 45-59.
- Guzmán Alvis, A. y C. García, 1996. Taxonomic aggregation the detection of patterns in a tropical marine benthos data set. *Rev. Biol. Trop.*, 44(2): 907-910.

- Guzmán Alvis, A. y O. Solano. 1997. Estructura de la taxocenosis Annelida-Mollusca en la región de Mingueo, Guajira (Caribe colombiano). *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 26: 35-52.
- Guzmán Alvis, A., O. Solano, M. Córdoba Tejada y A. López Rodríguez. 2001. Comunidad macroinfaunal de fondos blandos someros tropicales (Caribe colombiano). *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 30: 39-66.
- Hanson, P., M. Springer y A. Ramírez. 2010. Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Rev. Biol. Trop.*, 58(4): 3-37.
- Herrera, J., V. Salgado and H. Borbón. 2012. Evaluation of heavy metals in superficial sediments of Pirro river. *Tecnología ne Marcha*, 26(1): 27-36.
- Herring, P. 2002. *The biology of the deep ocean*. First edition. Oxford university press, Great Britain. 313 p.
- Hutchings, P. 1998. Biodiversity and functioning of polychaetes in benthic sediments. *Biodiversity Conserv.*, 7(9): 1133-1145.
- Javelaud, O. 1986. Sedimentología de la plataforma continental del Caribe colombiano. *Bol. Sci. CIOH*. 6: 17-39.
- Knox, G.A. 2001. *The ecology of seashore*. CRC Press, Boca Ratón. 557 p
- Laverde Castillo, J.J. y H. RodríguezGómez. 1987. Lista de los poliquetos registrados para el Caribe colombiano, incluyendo comentarios sobre su zoogeografía. *An. Inst. Invest. Mar. Punta de Betín*, 17: 95-112.
- Lercari, D., O. Defeo and E. Celentano. 2002. Consequences of a freshwater discharge on the benthic community habitat on an exposed sandy beach. *Mar. Pollut. Bull.*, 44: 1397-1404.
- López, A. 1997. Caracterización espacio-temporal de la taxocenosis Mollusca-Crustacea-Echinodermata, en la ensenada de Pozos Colorados y sectores aledaños, Caribe colombiano. Tesis Biol. Mar., Universidad Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta. 119 p.
- Ludwig, J. and J. Reynolds. 1988. *Statistical Ecology. A primer on methods and computing*. Ed. John Wiley y Sons. New York. 338 p.
- MacDonald, D., R.S. Carr, F. Calder, E. Long y C. Ingersoll. 1996. Development and evaluation of sediment quality guidelines for Florida coastal waters. *Ecotoxicol.*, 5: 253-278.
- McCune, B. and J. Grace. 2002. *Analysis of Ecological Communities*. MiM, Oregon. 300 p.
- McDonald, J. 2014. *Handbook of biological statistics*. Third edition. Sparky House Publishing, Baltimore. 299 p.
- Margalef, R. 1989. *Biología*. Ediciones Omega S.A, Barcelona. 951 p
- Márquez, G.E. 1982. Los sistemas ecológicos marinos del sector adyacente a Santa Marta, Caribe colombiano: Generalidades. *J. Trop. Ecol.*, 2(1): 5-18.
- Mejía, I y T. Chacín 1999. Caracterización de la macrofauna de fondos blandos en la zona adyacente a la desembocadura del río Gaira, bahía el Rodadero, y su relación con los contenidos de materia orgánica durante septiembre de 1997-enero de 1998. Tesis Biol. Mar., Universidad Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta. 94 p.
- MinSalud (Ministerio de Salud y Protección Social). 1984. Decreto No. 1594 del 26 de junio de 1984. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI – Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III – Libro I – del Decreto – Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos, Bogotá. 61 p.
- Monikh, F.A., O. Karami, M. HosseinI, N. KaramI, A.A Bastami y A.F. Ghasemi. 2013. The effect of primary producers of experimental aquatic food chains on mercury and PCB153 biomagnification. *Ecotoxicol. Environ. Safety*, 94:112-115.
- Montes, C., G. Guzmán, G. Bayona, A. Cardona, V. Valencia and C. Jaramillo. 2010. Clockwise rotation of the Santa Marta massif and simultaneous Paleogene to Neogene deformation of the Plato-San Jorge and Cesar-Rancheria basins. *J. South. Am. Earth. Sci.*, 29: 832-848.
- Navarro, E. y S. Sabater. 2004. Contaminación de los ríos por metales pesados. *Investigación y Ciencia*, 336: 26-31.
- Neira, K. y M. Plama. 2007. Estructura de la macrofauna en ambientes tóxicos de bahía Coliumo, región del Bio-Bio, Chile central. *Gayana*, 71: 156-169.
- Niemeijer, D. y R.S. de Groot. 2008. A conceptual framework for selecting environmental indicator sets. *Ecol. Indicators*, 8: 14-25.
- Observatorio del Caribe Colombiano. 2008. Indicador Global de Competitividad de las ciudades colombianas. http://www.cccartagena.org.co/sites/default/files/2010052254_inv_n_13_indicador_global_de_competitividad_2008_el_caso_de_cartagena_de_indias.pdf. 17/09/2017.
- Odum, E. 1982. *Ecología*. 3ra. Edición. Editorial Interamericana, México. 638 p.
- Olsford, F. P.J. Somerfield and M.R. Carr. 1998. Relationships between taxonomic resolution, microbenthic community patterns and disturbance. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 172: 25-36.
- Parada, J., M. Lastra, A. Sánchez y J. Mora. 1993. Ecología descriptiva de la macrofauna bentónica de un área afectada por dragados periódicos próxima al puerto de Santander. Instituto Español de Oceanografía. p. 391-398.
- Paramo, J., L., Guillot Illidge, S. Benavides, A. Rodríguez y C. Sánchez Ramírez. 2009. Aspectos poblacionales y ecológicos de peces demersales de la zona norte del Caribe colombiano en relación con el hábitat: una herramienta para identificar áreas marinas protegidas (AMPs) para el manejo pesquero. *Caldasia*, 31(1): 123-144.
- Paramo, J., M. Correa y S. Núñez. 2011. Evidencias de desacople físico-biológico en el sistema de surgencia en La Guajira,

- Caribe colombiano. Rev. Biol. Mar. Oceanogr., 46(3): 421-430.
- Paramo, J., L. Espinosa, B. Posada, S. Núñez y S. Benavides. 2012. Distribución espacial de sedimentos en la región norte del Caribe colombiano. Bol. Invest. Mar. Cost., 41(1): 9-28.
- Parsons, T., M. Talajashi y B. Hargrave. 1984. Biological oceanographic processes. 3rd Edition. Pergamon Press, New York. 330 p.
- Pearson, T.H. and R. Rosenberg. 1987. Feast marine and famine: structuring factors in marine benthic communities. 373-391. En: Gee, J. and P.S. Giller. (Eds.). Organization of communities past and present. The 27th symposium of the British Ecological Society Aberystwyth 1986. Blackwell scientific publications, London. 576 p.
- Pereira, C., D. Madrid, I. Correa, E. Pranzini and C. Botero. 2019. An evaluation of human interventions in the anthropogenically disturbed Caribbean Coast of Colombia. Anthropocene, 27: 1-11.
- Pérez, M.E. y C. Victoria. 1978. La taxocenosis *Annelida-Mollusca-Crustacea* de las raíces sumergidas del mangle rojo en dos áreas costeras del Caribe colombiano. Informe Museo del Mar, 21: 1-23.
- Pohle, G. and M. Thomas. 2001. Marine biodiversity monitoring. Monitoring protocol for marine benthos: intertidal and subtidal macrofauna. A report by the marine biodiversity monitoring committee (Atlantic Maritime Ecological Science Cooperative, Huntsman Marine Science Center) to the ecological monitoring and assessment network of environment data. Huntsman Marine Science Center. New Brunswick, Canada. 28 p.
- Ramírez, A. y Viña, G., 1998. Limnología colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de Análisis, BP Exploration - Univ. Jorge Tadeo Lozano, Santafé de Bogotá
- Rangel Buitrago, N. 2009. Contribución antropogénica a los cambios geomorfológicos y evolución reciente de la costa Caribe. Gestión y Ambiente, 12(2): 43-56.
- Rangel Buitrago, N., G. Anfuso and A. William. 2015. Coastal erosion along the Caribbean coast of Colombia: Magnitudes, causes and management. Ocean. Coast. Manage., 114: 129-144.
- Restrepo López, J.C., J.C. Ortiz, L. Otero Díaz y S.R. Ospino Ortiz. 2015. Transporte de sedimentos en suspensión en los principales ríos del Caribe colombiano: magnitud, tendencias y variabilidad. Rev. Acad. Col. Cien. Exact. Fís. Nat., 39(153): 527-546.
- Rice, E.W., R.B. Baird, A.D. Eaton and L.S. Clesceri. 2012. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22nd Edition. American Public Health Association, Washington. 724 p.
- Rojas, C. 1986. El estuario del río Queule: un ambiente sedimentario en el sur de Chile. Am. Inst. Cienc. Mar. Limnol. 13(3): 231-240.
- Rodríguez Gómez, H. 1979. Poliquetos de aguas someras colectados en las islas del Rosario. An. Inst. Invest. Mar. Punta de Betín, 11: 27-29.
- Rodríguez Gómez, H. 1988. Contribución al conocimiento de los anélidos (Annelida: Polychaeta) de aguas someras en la Bahía de Nenguange, Parque Nacional Natural Tayrona. Acta Científica y Tecnológica INDERENA, 2: 403-443.
- Rouse, G.W. and F. Pleijel. 2001. *Polychaetes*. Oxford University Press, Oxford. 354 p.
- Rowe, G. 1981. The Deep-sea ecosystem. 235-267. En: Longhurst, A. (Ed.). Analysis of Marine ecosystem. Academic Press, London. 741 p.
- Rubio, J.C. 2005. Efecto de los refugios bentónicos (casitas cubanas) sobre la macroinfauna asociada a fondos blandos de la bahía de Taganga, Caribe colombiano. Tesis Biol. Mar., Universidad Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta. 73 p.
- Russell, D. 1987. *Paedampharete acutiseria*, a new genus and species of Ampharetidae (Polychaeta) from the North Atlantic Hebble area, exhibiting progenesis and broad intraspecific variation. Bull. Biol. Soc. Washington, 7: 140-151.
- Salomons, W. and U. Förstner, U. 1984. Metals in Hydrocycle. Sprig-Verlag, New York. 340 p.
- Sánchez Armenta, T., C. Trujillo y E. Barrios. 2011. Las comunidades macrobentónicas asociadas a fondos blandos en el costado sur de la Bahía de Taganga, Caribe colombiano, durante la época seca. Rev. Intropica, 6: 89-100.
- Sebens, K.P. 1991. Habitat structure and community dynamics in marine benthic systems. Habitat Structure., 1: 211-234.
- Solano, O., F. Cortés, J. Ruíz López. 2001. Ambientes y Comunidades de Fondos Blandos. Gorgona Marina. p. 65-77.
- Somerfield, P.J. and K.R. Clarke. 1995. Taxonomic levels, in marine community studies, revisited. Mar. Ecol. Prog. Ser., 127: 113-119.
- Theede, H., A. Ponat, K. Hiroki and C. Schlieper. 1969. Studies on the resistance of marine bottom invertebrates to oxygen-deficiency and hydrogen sulphide. Mar. Biol., 2(4): 325-337.
- Theede, H. 1981. Studies on the role of benthic animals of the Western Baltic in the Flow of energy and organic material. Kieler Meeresforsch Sonderh, 5:434-444.
- Thera, J.C. and D.G. Rumbold. 2014. Biomagnification of mercury through a subtropical coastal food web off Southwest Florida. Environ. Toxicol. Chem., 33(1):65-73.
- Torres, E. 1999. Variación temporal de la taxocenosis Polychaeta-Molusca, durante septiembre de 1997 a febrero de 1998, en dos estaciones en fondos blandos someros en el balneario "El Rodadero", Caribe Colombiano. Tesis Biol. Mar., Universidad Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta. 98p.
- Trujillo, C., Z. Sosa y K. Linero. 2009. Estructura de la macroinfauna asociada a los fondos blandos del Caribe Norte colombiano. Rev. Intropica, 4: 101-112
- Tsutsumi, H., S. Fukunaga, N. Fujita, and M. Sumida. 1990. Relationship between growth of *Capitella* sp. and organic

- enrichment of the sediment. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 63: 157-162.
- Universidad de los Andes. 2014. Estudio para el fortalecimiento de la infraestructura sanitaria de Santa Marta para los requerimientos proyectados en los próximos 50 Años. Facultad de Ingeniería Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados, Bogotá. 148 p.
- UPME (Unidad de Planeación Minero Energética). 2017. Informe departamental minero de La Guajira. http://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/EstudiosPublicaciones/Informe_Minero_UPME_2017.pdf. 21/05/2019
- Vegas, M. 1980. Introducción a la ecología del bentos marino 2ª edición. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Washington D.C. 98 p.
- Vivas Aguas, L.J., J. Sánchez, B. Cadavid, J. Betancourt, M. Quintero, Y. Moreno, C. Santana, I. Cuadrado, K. Ibarra, M. Ríos, P. Obando y D. Sánchez. 2014. Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras del Caribe y Pacífico colombianos. Serie de publicaciones No. 4. Informe Técnico REDCAM 2013, INVEMAR, Santa Marta. 314 p.
- Warwick, R. 1986. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities. *Mar. Biol.*, 92: 557-562.
- Warwick, R. 1993. Environmental impact studies on marine communities: pragmatical considerations. *Aust. J. Ecol.*, 18: 63-80.
- Wentworth, C.K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *J. Geol.*, 30: 377-392.
- Woodin, S.A. and J.B.C. Jackson. 1979. Interphyletic competition among marine benthos. *Am. Zool.*, 19: 1029-1043.
- Zar, J.H. 2010. Biostatistical analysis. Upper Saddle River. N.J: Prentice-Hall, New Jersey. 921 p.

ANEXOS

Anexo A. Lugares cercanos a las estaciones. **SC:** época seca, **LL:** época lluviosa, **M:** sector Magdalena, **G:** sector La Guajira, **S:** somero y **P:** profundo

	Estación	Profundidad (m)	Lugar cercano	Distancia a la costa (km)
Época seca	SC-E1-M-P	142	Desembocadura del río Magdalena	2.68
	SC-E3-M-P	147	Desembocadura del río Magdalena	8.20
	SC-E4-M-S	50	Ciénaga Grande de Santa Marta	5.08
	SC-E5-M-P	147	Pueblo Viejo (CGSM)	14.71
	SC-E6-M-S	45	Pueblo Viejo (CGSM)	16.72
	SC-E7-M-S	50	Cabo San Juan del Guía (PNNT)	26.43
	SC-E8-M-P	150	Gayraca (PNNT)	6.29
	SC-E9-M-P	150	MendiHuaca, río MendiHuaca, río Piedras y río Guachaca	7.41
	SC-E10-M-S	60	MendiHuaca, río MendiHuaca, río Piedras y río Guachaca	1.67
	SC-E11-G-S	57	Palomino y río Palomino	4.85
	SC-E12-G-P	150	Palomino y río Palomino	13.66
	SC-E13-G-P	150	Dibulla, río Jerez, río Cañas y río Tapios	23.70
	SC-E14-G-S	55	Dibulla, río Jerez, río Cañas y río Tapios	8.49
	SC-E18-G-S	37	Mayapo (Manaure)	18.26
Época lluviosa	LL-E2A-M-P	86	Desembocadura del río Magdalena	5.69
	LL-E4-M-S	54	Ciénaga Grande de Santa Marta	5.08
	LL-E5-M-S	50	Pueblo Viejo (CGSM)	14.71
	LL-E6A-M-P	150	Marina de Santa Marta, río Manzanares y Taganga	3.86
	LL-E7-M-S	52	Cabo San Juan del Guía (PNNT)	26.43
	LL-E10-M-S	52	MendiHuaca, río MendiHuaca, río Piedras y río Guachaca	2.67
	LL-E11-G-S	59	Palomino y río Palomino	4.85
	LL-E12A-G-P	115	Palomino y río Palomino	15.75
	LL-E14-G-S	17	Dibulla, río Jerez, río Cañas y río Tapios	8.49
	LL-E15-G-S	7	Playa Camarones	6.52
	LL-E16-G-S	17	Riohacha, puerto de Riohacha y río Ranchería	17.90
	LL-E18A-G-S	10	Mayapo (Manaure) y estación Ballenas Chevron	8.95
	LL-E19A-G-S	11	Manaure	8.98
	LL-E20-G-S	29	Manaure	15.25
	LL-E21-G-S	12	Manaure	8.44

Anexo B. Condiciones del agua, concentración de metales pesados (mg/kg) y características de los sedimentos en las épocas seca y lluviosa. Pro: profundidad (m), OD: oxígeno disuelto (mg/L), SOD: Saturación de oxígeno disuelto, Sa: salinidad, Te: temperatura (°C), ϕ : diámetro medio del grano, Mo: materia orgánica (%), Cc: carbonato de calcio (%), cadmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn).

Estación	Pro.	OD	SOD	Sa	Te	φ	Mo	Cc	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn	
Época seca	E1	142	5.9	36.9	36.9	26.3	3.72	1.5	2.4	0.2	< 20.0	17.4	< 0.2	13.5	3.6	57.1
	E3	147	4.6	37.4	37.4	21.3	4.70	8.4	6.7	0.2	< 20.0	6.1	< 0.2	15.7	9.1	66.8
	E4	50	6.1	37.1	37.1	26.6	4.54	2.5	13.9	0.1	< 20.0	10.5	< 0.2	16.2	6.3	65.9
	E5	147	6.3	37	37.0	26.7	4.73	5.0	10.2	0.3	< 20.0	214.7	< 0.2	18.9	9.4	101.0
	E6	45	6.3	37.1	37.1	26.6	4.92	9.6	6.6	0.2	< 20.0	15.8	< 0.2	14.8	8.9	79.0
	E7	50	5.9	37.1	37.1	25.9	3.09	24.5	14.6	0.3	< 20.0	12.0	< 0.2	15.6	16.5	41.7
	E8	150	4.6	37.5	37.5	21.5	4.11	10.2	12.6	0.3	< 20.0	10.8	< 0.2	15.0	10.8	68.0
	E9	150	4.6	37.4	37.4	21.6	2.08	7.4	14.6	0.3	< 20.0	6.0	< 0.2	10.4	14.4	34.9
	E10	60	6.1	37.2	37.2	26.1	4.95	12.6	14.4	< 0.05	< 20.0	3.8	< 0.2	11.4	11.0	39.3
	E11	57	5.8	37.3	37.3	25.4	4.48	12.9	14.7	0.1	< 20.0	0.5	< 0.2	11.6	14.5	31.9
	E12	150	4.9	37.5	37.5	21.9	3.74	9.3	14.3	< 0.05	< 20.0	0.9	< 0.2	11.4	11.7	42.0
	E13	150	4.7	37.3	37.3	19.7	3.80	21.6	14.7	0.1	< 20.0	10.2	< 0.2	10.5	14.5	328.0
	E14	55	5.6	37.4	37.4	24.9	3.53	10.4	14.7	0.1	< 20.0	3.3	< 0.2	10.3	16.5	42.2
	E18	37	5.5	37.4	37.4	24.9	3.70	5.1	14.7	0.1	< 20.0	3.9	< 0.2	8.6	21.9	< 10.0
Época lluviosa	E2A	86	5.2	38.2	38.2	24.4	5.91	15.9	5.0	0.4	20.8	6.6	< 0.2	26.9	13.0	62.7
	E4	54	5.9	37.1	37.1	27.0	4.00	3.2	3.7	0.1	< 20.0	5.2	< 0.2	17.2	4.3	48.6
	E5	50	5.3	37.4	37.4	25.1	4.76	7.8	6.6	0.1	< 20.0	5.0	< 0.2	17.6	10.4	48.6
	E6A	150	5.1	37.6	37.6	23.6	4.97	9.5	9.1	0.1	< 20.0	11.4	< 0.2	21.8	13.2	39.7
	E7	52	5.6	37.4	37.4	25.6	3.21	5.1	12.4	< 0.05	< 20.0	3.6	< 0.2	13.2	17.4	< 10.0
	E10	52	6.0	37.2	37.2	26.9	4.80	10.8	12.3	< 0.05	< 20.0	4.1	< 0.2	10.8	9.8	37.7
	E11	59	5.3	37.6	37.6	24.5	4.28	12.1	12.5	< 0.05	< 20.0	15.2	< 0.2	15.3	19.9	40.5
	E12A	115	4.5	37.4	37.4	19.4	3.15	4.5	11.9	< 0.05	< 20.0	2.2	< 0.2	13.5	17.8	36.1
	E14	17	5.6	37.4	37.4	25.8	2.85	2.5	12.3	< 0.05	< 20.0	11.5	< 0.2	3.1	11.9	12.8
	E15	7	6.0	37.5	37.5	28.5	1.36	3.6	12.3	< 0.05	< 20.0	8.7	< 0.2	7.2	23.6	< 10.0
	E16	17	5.3	37.5	37.5	25.3	1.17	5.5	12.4	0.1	< 20.0	2.4	< 0.2	9.9	36.3	< 10.0
	E18	10	5.9	37.5	37.5	25.3	1.35	3.9	12.4	0.1	< 20.0	22.6	< 0.2	10.0	34.8	< 10.0
	E19A	11	5.4	37.5	37.5	25.0	0.69	4.5	12.4	0.1	< 20.0	5.4	< 0.2	8.8	31.8	< 10.0
	E20	29	5.3	37.5	37.5	24.4	1.75	5.1	12.3	0.1	< 20.0	8.7	< 0.2	10.0	30.7	10.5
E21	12	5.7	37.5	37.5	24.6	1.56	3.0	12.2	0.1	< 20.0	7.8	< 0.2	7.5	26.8	< 10.0	

Anexo C. Taxones por clase más abundantes del ensamblaje macrobentónico infaunal.



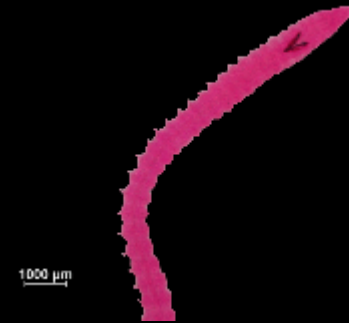
Polychaeta



Eunicidae



Glyceridae



Lumbrineridae

Polychaeta



Maldanidae



Magelonidae



Nephtyidae

Polychaeta



Onuphidae

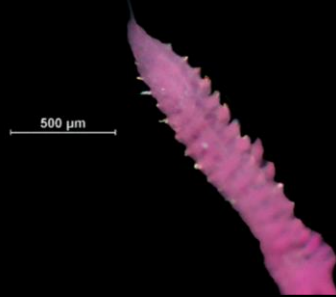


Opheliidae



Orbiniidae

Polychaeta



Paraonidae



Polychaeta 1



Sabellidae

Polychaeta



Spionidae



Sternaspidae



Syllidae

Ophiuroidea



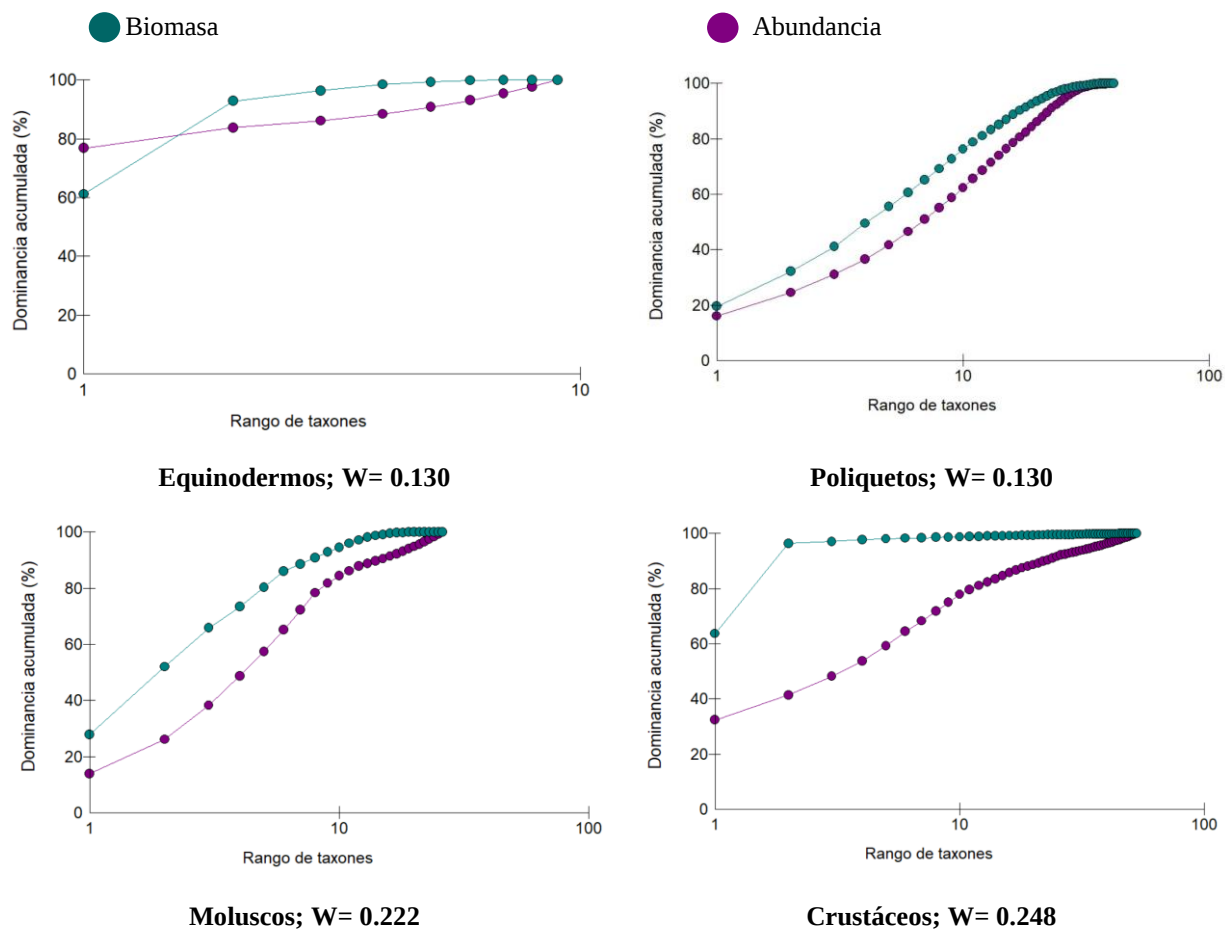
Amphiuridae

Gastropoda



Olividae

Anexo G. Curvas ABC de los grupos de los principales grupos de macroinfauna bentónica.



Anexo H. Estudios sobre fondos blandos en diferentes áreas del Caribe norte de Colombia

Autor	Lugar	Colector	Área del colector (m²)	Area total (m²)	Estaciones	# de individuos / área total	# de individuos / 0.12 m²	# de taxones / área total	# de taxones / 0.12 m²
Guzmán Alvis y Díaz (1993)	Santa Marta / Golfo de Salamanca	Draga van veen	0.05	0.15	17	-	-	63/2.55	3.0
Córdoba (1997)	Bahía del Rodadero-Pozos Colorados	Draga van veen	0.05	0.15	14	9832/2.1	561.8	65/2.1	3.7
Mejía y Chacín (1999)	Inmediaciones del río Gaira	Draga van veen	0.05	0.15	20	3978/3.0	159.12	38/3.0	1.52
Barrios <i>et al.</i> (2011)	Sur de Taganga	Corazonador	0.01	0.10	9	16045/0.9	2139	141/0.9	18.8
Sánchez Armenta <i>et al.</i> (2011)	Sur de Taganga	Corazonador	0.009	0.04	9	2957/0.36	985.6	93/0.36	31
Este estudio (2018)	SC-M	Draga van veen	0.06	0.12	9	687/1.08	76.3	218/1.08	24.2
Este estudio (2018)	LL-M	Draga van veen	0.06	0.12	5	198/0.6	33.0	93/0.6	15.5
Trujillo <i>et al.</i> (2009)	Palomino y La Guajira	Draga van veen	0.075	0.15	14	515/2.1	29.4	75/2.1	4.3
Este estudio (2018)	SC-G	Draga van veen	0.06	0.12	6	272/0.72	54.4	112/0.72	22.4
Este estudio (2018)	LL-G	Draga van veen	0.06	0.12	9	492/1.08	55.0	159/1.08	17.7

Anexo I. Problema de investigación

La zona marino y costera de los departamentos del Magdalena y La Guajira presentan un sinnúmero de actividades humanas que provocan el detrimento de las playas arenosas y de los sedimentos marinos principalmente por el mal manejo de los desechos sólidos, los vertimientos de aguas residuales, metales pesados, los derrames de combustibles y la escorrentía; Si bien el impacto antrópico sobre esta zona se puede medir en forma puntual mediante indicadores simples obtenidos de la columna de agua, los sedimentos o los organismos bentónicos está ampliamente demostrado que tales indicadores analizados individualmente, no siempre son suficientes o confiables para detectar un cambio causado por la contaminación y tampoco pueden dar a conocer las interacciones entre los componentes abióticos y bióticos del ecosistema sujeto a impacto ambiental. Por lo tanto, para lograr una correcta evaluación del ambiente estudiado se requiere la utilización de métodos multivariados que consideren los factores abióticos y bióticos del sistema.

Anexo J. Objetivos

Objetivo general

Caracterizar el ensamblaje macrobentónico infaunal asociado a la plataforma continental del Caribe norte colombiano teniendo en cuenta su relación con las variables fisicoquímicas del agua y de los fondos blandos, en procura de generar una línea base que muestre información relevante sobre el papel de las comunidades macrobentónicas infaunales como indicadoras de calidad ambiental marina.

Objetivos específicos

- Describir la distribución espacial, temporal de los sedimentos de la plataforma continental, teniendo en cuenta el análisis de variables fisicoquímicas de los sedimentos.
- Caracterizar la estructura del ensamblaje macrobentónico infaunal de los fondos blandos del departamento del Magdalena y La Guajira (desde la desembocadura del río Magdalena hasta Manaure), evaluando la variabilidad espacial, temporal.
- Determinar la relación entre el macrobentos infaunal y las características fisicoquímicas del sedimento y de la columna de agua en los fondos del Caribe norte colombiano.

Anexo K. Hipótesis

En cercanías a los centros urbanos del departamento del Magdalena el sustrato estará conformado por partículas de grano finas, altas concentraciones de materia orgánica, bajas concentraciones de carbonato de calcio, menores valores de pH, déficit de oxígeno y menores concentraciones de salinidad, en comparación

con La Guajira, debido a que en el Magdalena se da una mayor carga orgánica transportada por las fuentes superficiales de agua al mar que provienen de diferentes actividades contaminantes, que además se acentúa en época lluviosa por el aumento del caudal de los vertimientos y con ello el incremento de la concentración de nutrientes.

El departamento del Magdalena presentará menor riqueza y biomasa, y por lo tanto mayor abundancia y dominancia de familias que el departamento de La Guajira, debido a que en el Magdalena hay mayores concentraciones de materia orgánica, metales, anoxia, hipoxia, menor salinidad, ambientes contrastantes y áreas con perturbación, causados por la mayor carga orgánica transportada por las fuentes superficiales de agua al mar derivadas de actividades domésticas, marinas y portuaria.