

**UNIVERSIDAD DE PANAMÁ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y TECNOLOGÍA**  
**ESCUELA DE BIOLOGÍA**

**ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD BENTÓNICA EN**  
**BAHÍA ALMIRANTE, BOCAS DEL TORO, PANAMÁ**

**MARÍA ALEJANDRA SÁNCHEZ ZÚÑIGA**

**8-912-116**

Trabajo de graduación  
presentado a la Escuela de  
Biología, como requisito para  
optar por el Título de  
Licenciatura en Biología con  
orientación en Biología Marina y  
Limnología.

**PANAMÁ, REPÚBLICA DE PANAMÁ**

**JULIO 2021**



---

TRIBUNAL EXAMINADOR

---

Título:

**“Estructura de la Comunidad Bentónica en Bahía Almirante, Bocas del Toro, Panamá”**

Por:

MARÍA ALEJANDRA SÁNCHEZ  
8-912-116

Trabajo de Graduación presentado a consideración de la Escuela de Biología como requisito parcial para optar por el título de Licenciatura en Biología con Orientación en Biología Marina y Limnología.

**PROF. HUMBERTO GARCÉS B.**  
Tutor (presidente)

**PROF. JANZEL VILLALAZ**  
Jurado

**PROF. EDINIEL TREJOS**  
Jurado

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi familia, en especial a mis padres y hermanas que siempre me han brindado su apoyo y me motivan cada día a seguir adelante. También, lo dedico a Dios, que ha sido mi fortaleza en este largo camino y me ha dado la voluntad y paciencia para culminar con éxito mis estudios.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer de manera especial a Rachel Collin, el Instituto Smithsonian y todo el equipo del laboratorio Collin por la oportunidad de llevar a cabo y desarrollar esta investigación. A SENACYT por el apoyo económico brindado y los profesores asesores del Departamento de Biología Marina y Limnología de la Universidad de Panamá (UP), el profesor Dr. Humberto Garcés B., por ser mi mentor y mi ejemplo a seguir; le agradezco por todo el apoyo, confianza, por dedicar su tiempo y orientarme en el desarrollo de la tesis. A los profesores asesores Dr. Janzel Villalaz y Mgtr. Ediniel Trejos (UP) y por brindarme sus conocimientos, tiempo y hacer que este trabajo fuera posible y a Ariel Barría Alvarado q.e.p.d. (USMA) por su revisión técnica.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE CUADROS.....	viii
RESUMEN.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 Objetivo general.....	7
1.2 Objetivos específicos.....	7
II. METODOLOGÍA.....	8
II.1 Área de estudio.....	8
II.2 Sitios de muestreo.....	9
II.3 Metodología de campo.....	11
II.3.1 Parámetros ambientales.....	11
II.3.2 Sedimentos.....	11
II.4 Metodología de laboratorio.....	13
II.5 Análisis estadístico.....	14
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
III.1 Parámetros ambientales.....	15
III.2 Organismos.....	22
IV. CONCLUSIONES.....	31
V. RECOMENDACIONES.....	32
VI. BIBLIOGRAFÍA.....	33

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Clasificación taxonómica de los phyla encontrados en las muestras de sedimento de acuerdo al orden filogenético.....	24
---	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de localización del área de estudio, indicando la bahía Almirante con los sitios de muestreo.....	10
<b>Figura 2.</b> Profundidad (m) encontrada en los sitios de bahía Almirante, enero a septiembre 2018.....	15
<b>Figura 3.</b> Mediciones de oxígeno disuelto (mg/L) en los sitios de bahía Almirante, enero a septiembre 2018.....	16
<b>Figura 4.</b> Mediciones de Clorofila ( $\mu\text{g/L}$ ) en los sitios de bahía Almirante, enero a septiembre 2018.....	18
<b>Figura 5.</b> Mediciones de potencial de hidrógeno (pH) en los sitios de bahía Almirante, enero a septiembre 2018.....	20
<b>Figura 6.</b> Mediciones de salinidad (psu) en los sitios de bahía Almirante, enero a septiembre 2018.....	21
<b>Figura 7.</b> Abundancia de organismos encontrados en los cuatro puntos de estudio en bahía Almirante, enero a septiembre 2018.....	23
<b>Figura 8.</b> Total de organismos bentónicos encontrados ( $\text{org/m}^2$ ) en bahía Almirante, enero a septiembre 2018.....	25
<b>Figura 9.</b> Distribución de los taxones encontrados en los sitios estudiados de bahía Almirante, enero a septiembre 2018.....	28

## RESUMEN

Los organismos bentónicos forman parte indispensable del ecosistema marino y la alteración de los factores ambientales afecta la distribución de la comunidad bentónica en su hábitad natural. Se realizaron muestreos semanales entre enero a septiembre de 2018, de los parámetros ambientales y sedimento en cuatro sitios de bahía Almirante (Punta Caracol, Cristóbal, Pastores y Almirante). Las muestras de sedimento fueron tamizadas, teñidas con rosa de bengala y procesadas para la identificación de los organismos. En Punta Caracol y Cristóbal se reportaron condiciones ambientales favorables para la vida marina como altos niveles de oxígeno de entre 4.1 a 5.4 mg/L respectivamente, bajas concentraciones de clorofila en ambos casos de 2.0 µg/L, y salinidad dentro de los estándares normales de 35.2 a 36.0 psu. Mientras que, en Pastores y Almirante se identificaron eventos hipóxicos con un promedio de oxígeno de 2.0 mg/L en ambos sitios, y altas concentraciones de clorofila de 4.3 µg/L para Almirante. Durante 35 semanas de muestreo se obtuvieron un total de 7,968 organismos bentónicos del procesamiento de 280 muestras de sedimento, la mayor abundancia de organismos corresponde a Punta Caracol (54 %), seguido de Cristóbal (22 %), Pastores (13 %) y Almirante (11 %). Del total de organismos obtenidos en las muestras de sedimento se identificaron 12 taxones. Entre los grupos más abundantes se encuentran poliquetos sedentarios (41 %) y errantes (14 %), copépodos (11 %) y decápodos (8 %). Mediante este estudio se demostró que en Bahía Almirante se experimentan eventos hipóxicos a nivel del bentos, sin embargo, la composición de la comunidad bentónica es muy similar en Punta Caracol, Cristóbal, Pastores y Almirante.



## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

Los océanos cubren el 70 % de la Tierra, y la mayor parte de sus fondos están cubiertos de sedimentos, el sedimento marino constituye un ecosistema único y el hábitat más grande de nuestro planeta en cobertura espacial (Snelgrove, 1997). Al conjunto de organismos que viven asociados al sedimento, ya sea enterrados o desplazándose libremente sobre él, se les conoce como bentos. Aquellos que habitan dentro o enterrados en el sustrato forman parte de la infauna y los que prosperan, anclados o desplazándose libremente integran la epifauna (Carrasco, 2004).

Los organismos bentónicos se encuentran sometidos a un ambiente frío, sin luz, de alta presión y con pocos suministros de alimento debido a las profundidades del océano (Ray y Grassle, 1991; Grassle y Maciolek, 1992). A pesar de las condiciones, las comunidades bentónicas han prosperado y están compuestas por una amplia diversidad de organismos. Cada individuo, presenta su propia característica en formas de vida, alimentación y comportamientos que les permiten adaptarse a las condiciones del medio (Frithsen y Holland, 1990).

La comunidad bentónica puede clasificarse de acuerdo a su tamaño corporal en cuatro grupos: bacterias y microfauna ( $< 45 \mu\text{m}$ ), meiofauna ( $45 - 500 \mu\text{m}$ ), macrofauna ( $0.5 - 4 \text{ mm}$ ) y megafauna ( $> 4 \text{ mm}$ ) (Duplisea y Hargrave, 1996; Carrasco, 2004). Cada grupo juega un papel clave y específico en los ciclos biogeoquímicos y en la productividad oceánica global. La megafauna participa en la adhesión de carbono al sustrato y los micro y macroorganismos en la producción de amoníaco, reducción de sulfatos y oxidación de sulfuros, garantizando la

sostenibilidad de los ciclos del nitrógeno y azufre en el ecosistema marino (Giblin *et al.*, 1995; Ruiz, 2013).

El bentos es un eslabón indispensable en la cadena trófica del océano y cumple funciones importantes en la productividad del ecosistema marino. La mayoría de los peces demersales son carnívoros y desentierran organismos de la infauna y la epifauna para alimentarse de ellos. Los peces pelágicos y los calamares también son comensales de los habitantes de fondos blandos, en algunos casos para alimentarse solamente muerden los sifones de los moluscos en vez de comerse el animal entero (Roque, 2017).

Los organismos bentónicos establecen controles biológicos en las poblaciones de algunos organismos, mediante los procesos de depredación. Las estrellas de mar capturan bivalvos, ofiuras y poliquetos y los anfípodos depredadores ejercen su influencia sobre las comunidades al alimentarse de las larvas recién asentadas de otras especies. Estas funciones ecológicas generan un estrecho vínculo trófico de los bentos con el mantenimiento de la estabilidad trófica en el mar (Ólafsson, 2003; Suderman y Thistle, 2003; Braeckman *et al.*, 2010).

La distribución de organismos que habitan los fondos blandos, a menudo planos y aparentemente homogéneos no se manifiesta necesariamente al azar. Desde la antigüedad se ha reconocido que estos organismos forman distintas comunidades y que un ambiente estable permite la vida de una mayor variedad de individuos (Castro y Huber, 2007). La distribución de la comunidad bentónica depende entonces de factores como: el tipo de sedimento, profundidad, hidrodinámica del lugar y las

interacciones entre organismos (Ramey y Snelgrove, 2003; Carrasco, 2004; Gray y Elliott, 2009).

La estrecha relación entre el tamaño de las partículas y la distribución de los organismos es particularmente evidente en la infauna, ya que la mayor parte de sus individuos son muy selectivos en cuanto al lugar donde viven (Dernie *et al.*, 2003). Generalmente, la macro y megafauna se establecen de 1 a 2 cm bajo el sedimento, donde encuentran disponibilidad de oxígeno y materia orgánica. Los nemátodos, protozoos y bacterias (organismos de la microfauna) prefieren establecerse por debajo de los 2 cm entre el sedimento en estado anóxico (Snelgrove, 1997; Ruiz, 2013).

Diversas especies bentónicas pueden vivir también en distintos ambientes y así reducir la competencia que hay entre los grupos (Dernie *et al.*, 2003). Algunas especies tienden a desarrollar adaptaciones morfo y fisiológicas que le permiten asociarse con sustratos particulares. Piezas bucales grandes y modificaciones en las extremidades son algunas características que le permiten a los individuos hacer uso del sedimento y capturar sus alimentos (Vellend, 2010).

Debido a que en el bentos hay poca producción primaria, los detritos son la fuente de alimento más importante para muchos de los organismos. Generalmente los detritos llegan al fondo del mar por las corrientes desde los estuarios, desde las costas rocosas y desde otras comunidades costeras más productivas (Ríos *et al.*, 2002). También pueden estar presentes en forma de heces, de individuos muertos y de otros restos del plancton y del necton de la columna de agua (Castro y Huber, 2007).

Los detritos son utilizados por las bacterias y por muchos tipos de animales microscópicos que viven entre las partículas del sedimento. Los animales intersticiales o meiofauna y los invertebrados bentónicos de mayor tamaño también hacen uso del detrito. En la mayoría de los casos, estos animales son sedimentívoros que viven en madrigueras y lo seleccionan entre el sedimento para alimentarse (Dernie *et al.*, 2003; Castro y Huber, 2007).

En los sedimentos blandos del bentos marino, los poliquetos son el grupo de sedimentívoros con mayor diversidad y abundancia. Muchos viven en tubos que construyen a base de partículas del sedimento y otros viven en el interior de madrigueras. Estos poliquetos y otros gusanos se alimentan de detritos y de materia orgánica que recogen con sus tentáculos o ingiriendo el sedimento y extrayendo de él los nutrientes (Rozbaczylo *et al.*, 2017).

Entre la infauna también están incluidos los invertebrados suspensívoros que se alimentan de detritos en suspensión y del plancton de la columna de agua. Muchos de estos suspensívoros son filtradores y filtran activamente el agua para obtener las partículas. Entre los animales suspensívoros de fondos blandos se incluyen muchos tipos de bivalvos y anfípodos (Gili y Coma, 1998).

Los tipos de organismos presentes en el sedimento también pueden influir indirectamente sobre el reclutamiento y la supervivencia de otros. Se conocen sedimentívoros que excluyen a los suspensívoros del sedimento y sedimentívoros que estabilizan el sustrato para los suspensívoros. También, hay organismos que al

hacer sus tubos frenan el flujo del agua sobre el sedimento e interfieren con las actividades de excavación de otros individuos (Castro y Huber, 2007).

En las zonas tropicales y subtropicales la mayoría de las plataformas continentales están dominadas por lodo y grandes áreas fangosas (Alongi, 1990). En estas áreas, la abundancia y riqueza de organismos va en aumento desde los polos a los trópicos. Esto indica, que el sedimento marino de áreas tropicales presenta una alta colonización de organismos, característica que está relacionada, a las variaciones ambientales que afectan los patrones de sedimentación en zonas tropicales (Alongi, 1989; Venturini *et al.*, 2004).

Los estudios realizados en Panamá sobre el bentos marino incluyen análisis de sedimentos y comunidades bentónicas en áreas adyacentes a la cuenca del Canal de Panamá (Caribe y Pacífico), la Bahía de Panamá y el archipiélago de Las Perlas (Garcés, 1994; Kwiecinski *et al.*, 1994; Garcés y García, 2004; Mair *et al.* 2009). Sin embargo, para el área de Bocas del Toro, las investigaciones se han enfocado en conocer y estudiar distintos factores ecológicos que afectan a los arrecifes de coral (Guzmán y Guevara, 1998; Collin, 2005; ARDEN & PRICE/UNIVERSIDAD DE MIAMI, 2008; Sánchez, 2012; Shuffler, 2013; Altieri *et al.*, 2017;). En la actualidad, los organismos propios de sedimentos blandos en el Caribe de Bocas del Toro son poco estudiados y los conocimientos de los mismos resultan escasos.

Debido a los escasos estudios realizados en el país, es de gran importancia conocer y evaluar la estructura de la comunidad bentónica, en el Caribe de Panamá, específicamente en el área de Bocas del Toro, en este caso, integrando las

condiciones ambientales que hay en el lugar y los grupos de organismos que componen el sedimento marino.

## **OBJETIVOS**

### **1.1 Objetivo general**

Conocer la estructura de la comunidad bentónica en cuatro sitios de la bahía Almirante, Bocas del Toro, Panamá.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Determinar los principales parámetros ambientales que influyen en la estructura bentónica de los sitios de Bocas del Toro.
- Calcular la abundancia y diversidad de la comunidad bentónica encontrada en los cuatro sitios de bahía Almirante.
- Relacionar los parámetros ambientales con la abundancia y diversidad de los organismos bentónicos encontrados.

## **CAPITULO II. METODOLOGÍA**



## 2.1 Área de estudio

Este proyecto fue desarrollado en el Caribe panameño, específicamente en la bahía Almirante, ubicada en el archipiélago de Bocas del Toro. La provincia de Bocas del Toro se encuentra localizada al occidente de la República de Panamá entre los 8° 30' y 9° 40' N y 82° 56' y los 81° 8' O. Cuenta con un área superficial de 8 917 km<sup>2</sup>, limita al norte con el mar Caribe, al sur con la provincia de Chiriquí, al este con la provincia de Veraguas, y al oeste con la República de Costa Rica (Rodríguez y Alvarado, 1993).

El archipiélago de Bocas del Toro cuenta con una gran diversidad biológica, sus manglares, pastos y arrecifes de coral forman un mosaico de hábitats ecológicamente interrelacionados a través del intercambio fluido de materiales y organismos. La región tropical de esta provincia, se encuentra categorizada entre las áreas que poseen más diversidad y abundancia de corales en aguas someras de la región (ARDEN & PRICE/UNIVERSIDAD DE MIAMI, 2008). La zona costera está formada por dos grandes cuerpos de agua somera: la bahía Almirante y la laguna de Chiriquí (Rodríguez y Alvarado, 1993; Collin, 2005).

Las corrientes marinas tienen un fuerte efecto fuera del archipiélago de Bocas, pero las islas más grandes forman una barrera debilitando su fuerza en las aguas internas (Dominici y Wolff, 2005). Las corrientes marinas que circulan fuera de las costas de Bocas del Toro se desplazan hacia el este y son conocidas como giro de Colombia-Panamá (corrientes marinas de Costa Rica, Panamá y Colombia en sentido contrario a las manecillas del reloj). Dentro del archipiélago la circulación de las corrientes es

lenta y depende en gran medida del cauce de los ríos que aportan agua dulce a la laguna de Chiriquí y la bahía Almirante (ARDEN & PRICE/UNIVERSIDAD DE MIAMI, 2008).

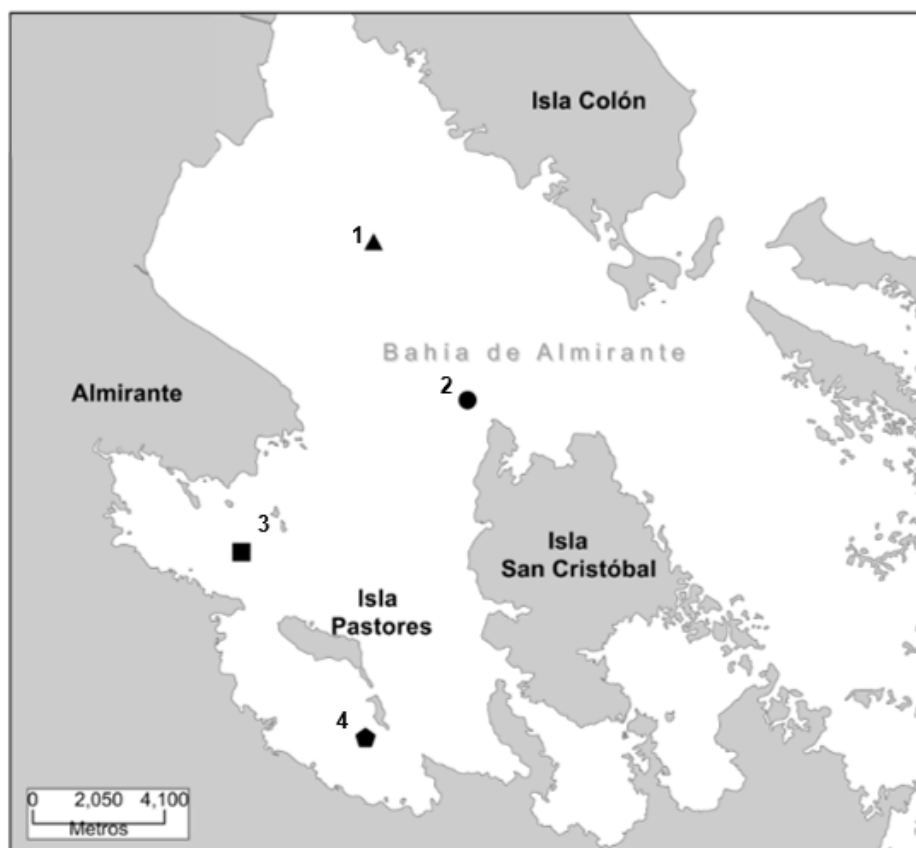
## **2.2 Sitios de muestreo**

La bahía Almirante se caracteriza por ser una gran cuenca semicerrada de 450 km<sup>2</sup> compuesta en su mayoría por fondos de sedimento fangosos y arrecifes de coral (ARAP, 2010; Altieri *et al.*, 2017). Debido a sus aguas y orillas protegidas del fuerte oleaje del Mar Caribe es considerada una importante zona de resguardo para la biodiversidad marina. Este aspecto geográfico favorece la presencia de bosques de manglar y el desarrollo de especies importantes para la actividad pesquera del lugar (Peña, 2012).

Los hábitats y recursos marinos de la bahía Almirante exhiben una gran diversidad, pero también son muy vulnerables a algunas actividades humanas que pueden causar daños irreversiblemente. Factores como el asentamiento humano, uso de agroquímicos, trasiego de petróleo y descarga de aguas residuales no tratadas incrementan los niveles de degradación marina del lugar (Peña, 2012). Las altas concentraciones de materia orgánica y nutrientes producen la reducción del oxígeno disuelto y estimula el crecimiento de algas (Peña, 2012; Altieri *et al.*, 2017).

La toma de muestras se realizó en cuatro sitios de bahía Almirante (Fig. 1) escogidos al azar y con la característica de tener fondos con sustrato fangoso:

1. Punta Caracol ( $09^{\circ} 20' 54.2''$ ;  $82^{\circ} 19' 29.6''$ ): localizado al sureste de isla Colón,
2. Cristóbal ( $09^{\circ} 18' 15.0''$ ,  $82^{\circ} 17' 55.0''$ ): ubicado al norte de isla San Cristóbal,
3. Almirante ( $09^{\circ} 15' 42.1''$ ;  $82^{\circ} 21' 42.6''$ ): se encuentra al este de cayo Hermanas y al oeste del distrito de Almirante,
4. Pastores ( $09^{\circ} 12' 36.0''$ ;  $82^{\circ} 19' 37.0''$ ): ubicado al suroeste de isla Pastores entre Agama Cay y cayo Roldán.



**Figura 1.** Mapa de bahía Almirante con los sitios de muestreo: 1 Punta Caracol, 2 Cristóbal, 3 Almirante y 4 Pastores (Fuente: mod. ARCGIS DESKTOP, 2018).

## **2.3 Metodología de campo**

### **2.3.1 Parámetros ambientales**

Las mediciones de los parámetros ambientales fueron tomadas semanalmente durante nueve meses (enero a septiembre de 2018) en cada sitio de muestreo, al igual que las colectas de sedimento. El equipo empleado para la captura de datos fisicoquímicos fue una sonda multisensorial YSI EXO 2 capaz de recopilar información sobre la calidad del agua (EXO, 2014). En este estudio las variables ambientales consideradas fueron: profundidad, oxígeno (mg/L), clorofila ( $\mu\text{g/L}$ ), potencial de hidrógeno (pH), salinidad (psu) y temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).

### **2.3.2 Sedimentos**

Las colectas de muestras se realizaron semanalmente en cada de uno de los puntos de estudio (Fig. 1) entre los meses de enero a septiembre 2018. Este procedimiento se realizó siguiendo los protocolos y leyes propuestos por la República de Panamá y el Ministerio de Ambiente (MiAmbiente) (ANAM, 2004). La aprobación para extraer las muestras se da mediante el permiso de colecta SE/A-73-17, emitida por MiAmbiente para este estudio.

La extracción de muestras bentónicas se realizó colectando el sedimento marino de los sitios de estudio, con una draga Ponar con un área de muestreo de  $625\text{ cm}^2$  capaz de contener 9 L de sustrato (Garcés, 1994; Kwiecinski *et al.*, 1994). Dentro de la embarcación la draga es bajada lentamente al agua con ayuda de una polea y una cuerda gruesa. Una vez hace contacto con el fondo del mar se libera el mecanismo

de bloqueo, lo que permite que se cierre y las cucharas atrapen el sustrato dentro de ella (Garcés, 1994; CENMA, 2011).

Una vez tomado el sedimento, se procedió a subir la draga nuevamente al bote y se vacía el producto de la colecta. Posteriormente, el contenido total de sedimento colectado fue vertido en bolsas con cierre hermético (Ziploc) previamente rotuladas con el nombre del sitio y la fecha de recolección (Garcés, 1994; Kwiecinski *et al.*, 1994). Este procedimiento fue igualmente repetido para todos los sitios de muestreo y al finalizar el proceso se coloca la draga en un balde con blanqueador al 10 % (Clorox) para ser limpiada.

Luego de ser colectado el sedimento se realizó el tamizado de las muestras bentónicas siguiendo la metodología estándar (Holme y McIntyre, 1984). Durante este procedimiento inicialmente colocamos un litro de sedimento en un cubo de cinco galones y agregamos agua de mar filtrada agitando poco a poco para separar los trozos de sustrato. La mezcla resultante fue tamizada con una batería de tamices de 250 y 500  $\mu\text{m}$ .

El material orgánico resultante de mayor o igual tamaño al tamiz fue vertido en envases plásticos previamente rotulado con ayuda de un embudo y una botella lavadora con agua de mar. Al finalizar el proceso obtuvimos dos tamizados por sitio, un total de ocho muestras por cada semana de colecta. Los envases con muestras fueron llevados al laboratorio Collin del Smithsonian en Amador, Panamá y preparados para el proceso de tinción y fijado.

## 2.4 Metodología de laboratorio

Las muestras de sedimento fueron teñidas con una solución de formalina al 4 % diluida con rosa de bengala. Este último es un colorante biológico, que es utilizado debido a que imparte un color rosado que se impregna en el protoplasma celular del organismo, tiñéndolos y facilitando su separación entre los granos de sedimento (Walton, 1952; Garcés y García, 2004). Al día siguiente el sobrenadante en desperdicio de formalina es descartado y se agrega a cada muestra etanol al 70 % (EtOH), lo suficiente para cubrir el material biológico.

Luego del proceso de tinción y fijado de la muestra procedimos a realizar la separación y extracción de los organismos bentónicos del sedimento. En este procedimiento vaciamos una pequeña cantidad de muestra en una placa Petri plástica de 100 x 15 mm y agregamos agua potable con una botella lavadora para diluir el contenido. Bajo el enfoque del estereoscopio Nikon SMZ645 revisamos cada sección de la muestra y separamos los organismos con ayuda de una pipeta de cristal o pinzas de punta fina (Garcés, 1994).

Una vez separados los organismos teñidos con rosa de bengala realizamos la identificación y clasificación por taxas. Para este procedimiento nos basamos en la morfología externa del animal siguiendo las descripciones de Barnes (1989), Young *et al.* (2002), Harris *et al.* (2009) y Martin *et al.* (2014). Una vez identificados los ejemplares, realizamos el conteo de la cantidad de organismos por grupo y se colocan en tubos de microcentrífuga (Eppendorf) de 1.5 ml con etanol al 70 % para ser preservados.

## 2.5 Análisis estadístico

Para realizar el análisis estadístico de los resultados obtenidos en los parámetros ambientales utilizamos la prueba no paramétrica de Friedman ( $p < 0.05$ ). Con los datos del total de organismos calculamos la abundancia relativa, el índice de diversidad de Shannon ( $H'$ ) y el índice de dominancia de Simpson ( $D$ ), a los cuales se les aplicó la prueba de Shapiro-Wilk, Levene, Kruskal-Wallis al 5 % de significancia y un análisis de similitud (ANOSIM) para comparar la composición de la comunidad bentónica en los sitios. Por último, relacionamos los parámetros ambientales con la abundancia de organismos mediante el análisis de correspondencia canónica (CCA) y la prueba de regresión lineal utilizando el programa Excel XLSTAT versión 2014.5.03. (Addinsoft, 2014).

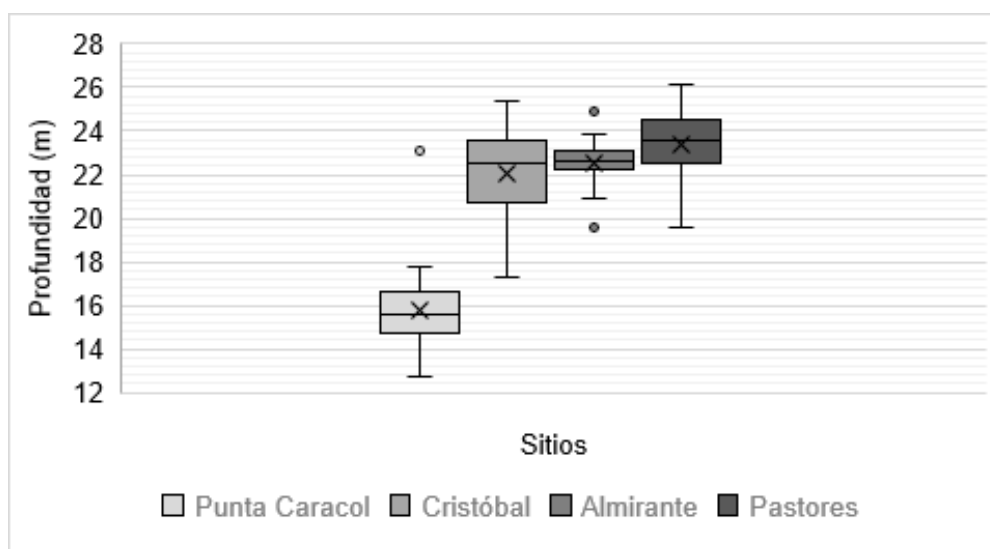
## **CAPITULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**



### 3.1 Parámetros ambientales

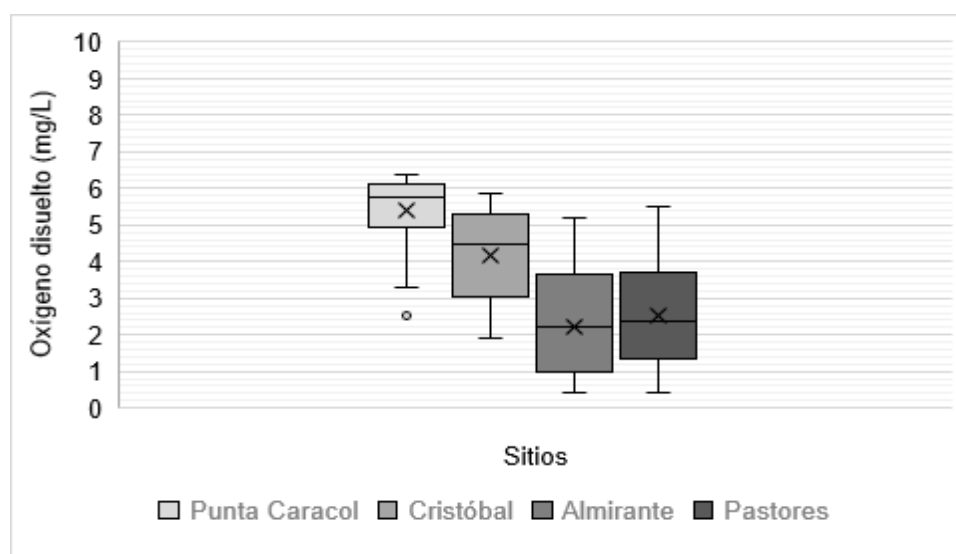
Durante las 35 semanas de colecta se obtuvieron un total de 798 mediciones de los parámetros ambientales. La prueba de Shapiro-Wilk reveló que los datos obtenidos no están normalmente distribuidos ( $\text{Alpha} < 0.05$ ,  $P < 0.0001$ ) y la prueba de Levene arrojó que no existe homogeneidad de varianza en nuestro conjunto de datos ( $\text{Alpha} < 0.05$ ,  $P < 0.0001$ ). Motivo por el cual, utilizamos pruebas no paramétricas para los análisis estadísticos de los resultados de este estudio.

Las mediciones de profundidad en cada sitio de colecta indican que Punta Caracol con un promedio de 15.8 m es el sitio menos profundo. En comparación a los resultados obtenidos para Cristóbal con 22.0 m, Almirante con 22.5 m y Pastores con 23.3 m de profundidad (Fig. 2). La prueba estadística de Friedman confirma que respecto a la profundidad, Punta Caracol ( $P > 0.0001$ ) es significativamente diferente al resto de los sitios estudiados.



**Figura 2.** Profundidad (m) encontrada en los sitios de bahía Almirante, enero a septiembre 2018 (1 D.E.).

Con relación a las concentraciones de oxígeno (OD) en Punta Caracol y Cristóbal los valores registrados oscilan entre 3.0 a 6.0 mg/L, con un promedio de 5.4 y 4.1 mg/L respectivamente (Fig. 3). En el caso de Almirante el promedio de OD fue de 2.0 mg/L y 2.5 mg/L para Pastores con medidas que van desde 0.4 a 5.0 mg/L entre semanas. El análisis estadístico de Friedman mostró que las concentraciones de OD en Punta Caracol y Cristóbal son significativamente mayores de las registradas para Almirante y Pastores ( $P > 0.0001$ ).



**Figura 3.** Mediciones de oxígeno disuelto (mg/L) en los sitios de bahía Almirante, enero a septiembre 2018 (1 D.E.).

En condiciones normales el oxígeno disuelto en el agua de mar tiene una relación inversamente proporcional a la profundidad (Castro y Huber, 2007), esto quiere decir, que al aumentar la profundidad disminuye la concentración de oxígeno. Al comparar los resultados de profundidad (Fig. 2) y oxígeno (Fig. 3) podemos observar dicha relación en los sitios de estudio. En los sitios poco profundos (Punta Caracol y

Cristóbal), las concentraciones de oxígeno en el bentos fueron mayores a las registradas en los sitios de alta profundidad (Almirante y Pastores) donde las concentraciones de oxígeno fueron muy bajas.

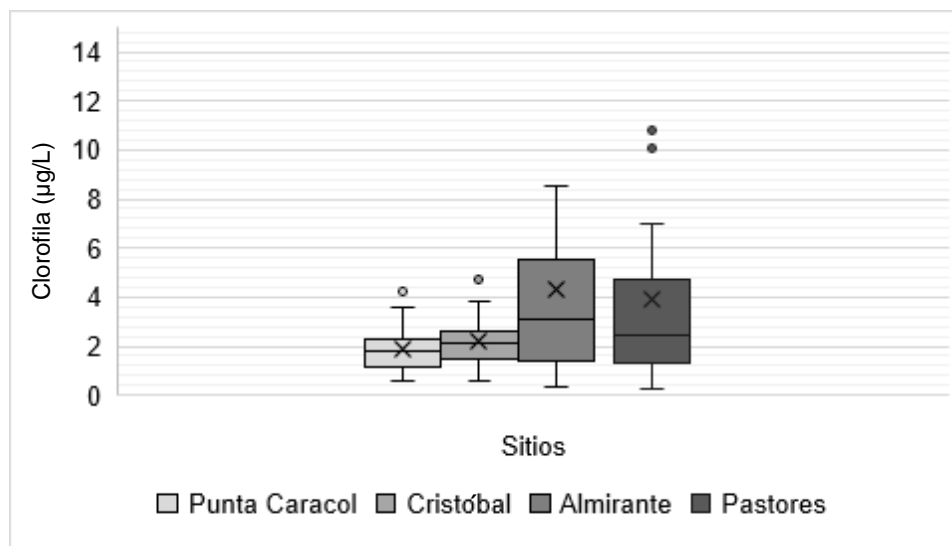
Los promedios de oxígeno (2.0 y 2.5 mg/L) registrados para Almirante y Pastores se encuentra dentro del umbral de hipoxia para la biodiversidad marina  $OD < 2.8$  mg/L (Vaquer-Sunyer y Duarte, 2008). Mientras, que las concentraciones de oxígeno más bajas registradas (0.4 mg/L) son consideradas anóxicas. Las aguas hipóxicas y anóxicas son zonas en las que el oxígeno disuelto ha disminuido o está completamente agotado, dejando graves consecuencias para la vida marina, entre ellas la muerte de los organismos (Diaz y Rosenberg, 1995).

Globalmente la hipoxia es un problema creciente que afecta las aguas costeras en todo el mundo, con cambios catastróficos para el ecosistema marino (Vaquer-Sunyer y Duarte, 2008). Las causas más comunes de esta desoxigenación oceánica son el calentamiento global y actividades humanas que contaminan el medio acuático (Díaz, 2001). Investigaciones realizadas anteriormente (Altieri *et al.*, 2017) indican que los eventos hipoxicos reportados en la bahía Almirante se encuentran relacionados con la contaminación producida por la población del área y a la geografía semicerrada del lugar que impide la correcta circulación y oxigenación del agua.

Estudios sobre la distribución de zonas hipoxicas alrededor al mundo muestran, que efectivamente estos eventos se encuentran asociados a cuencas hidrográficas semi cerradas con poblaciones costeras que aportan gran cantidad de nitrógeno a los

mares (Howarth *et al*, 1996; Breitburg *et al.*, 2018). La carga excesiva de nutrientes favorece el crecimiento acelerado de micro algas y vegetación en el ecosistema (Díaz, 2001). La proliferación descontrolada de estos organismos desencadena un fenómeno ambiental conocido como eutrofización, causando así, el agotamiento del oxígeno disponible para los organismos (Díaz, 2001; Diaz y Rosenberg, 2008).

De acuerdo a los resultados para las concentraciones de clorofila es Almirante con un promedio de 4.3  $\mu\text{g/L}$ , el sitio con mayor clorofila disuelta en el agua del bentos. Las concentraciones más bajas se dieron para Punta Caracol y Cristóbal, en ambos casos el promedio es de 2.0  $\mu\text{g/L}$  (Fig. 4). Utilizando la prueba de Friedman se demostró que las concentraciones de clorofila a pesar de ser variables no son significativamente diferentes para ninguno de los sitios ( $P < 0.086$ ).



**Figura 4.** Mediciones de clorofila ( $\mu\text{g/L}$ ) en los sitios de bahía Almirante, enero a septiembre 2018 (1 D.E.).

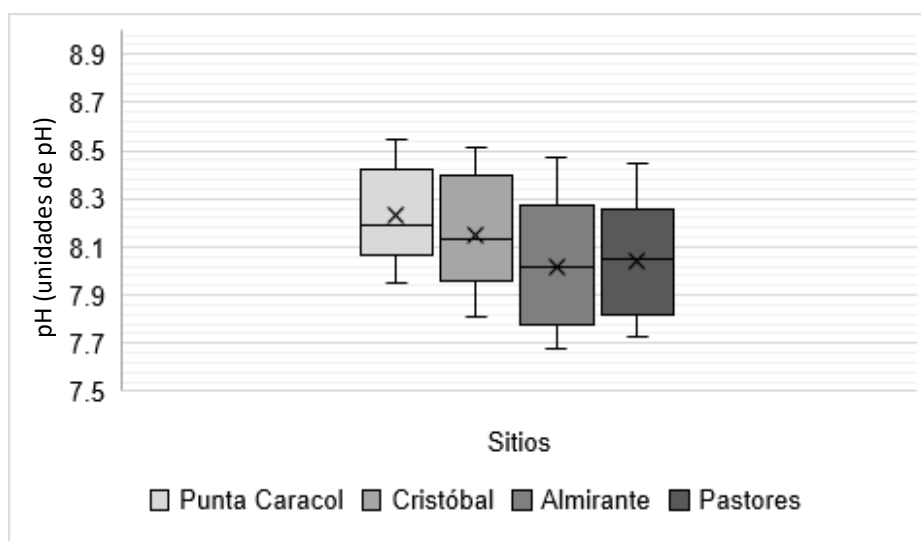
La clorofila es un pigmento fotosintético presente en el fitoplancton que le da un color verdoso a las micro algas y su concentración depende fundamentalmente de la disponibilidad de luz y nutrientes en el océano. Este pigmento permite una estimación de la concentración de fitoplancton y por lo tanto, de la actividad biológica y productividad oceánica (Ruiz, 2017). Sin embargo, el incremento descontrolado en la biomasa de fitoplancton, puede ser una manifestación de eutrofización por el aumento de nutrientes en el agua, causando hipoxia y anoxia, afectando la calidad del agua y la salud del ecosistema marino (Díaz, 2001; Diaz y Rosenberg, 2008; Karydis, 2009).

Al comparar los resultados obtenidos para oxígeno y clorofila en los cuatro sitios podemos notar que hay una relación inversa entre estos dos factores. En concentraciones de clorofila alta, el oxígeno disminuye, y si las concentraciones de clorofila disminuyen el oxígeno aumenta. A pesar de no obtener resultados estadísticos significativos es de importancia resaltar que Pastores y Almirante presentan rasgos de una zona eutrofizada, ya que el aumento de clorofila y la disminución de oxígeno en el agua puede deberse al incremento de micro algas en el ambiente (Diaz y Rosenberg, 2008).

Es importante resaltar, que Almirante y Pastores se encuentran dentro de las rutas de navegación interna para la población de la bahía (ARDEN & PRICE/UNIVERSIDAD DE MIAMI, 2008). Además, la población en Almirante se ha dedicado a lo largo de la historia a la agricultura, el cultivo de bananos para exportación, el trasiego de petróleo y la pesca (Peña, 2012). A excepción de la última, estas actividades son consideradas como los principales generadores de

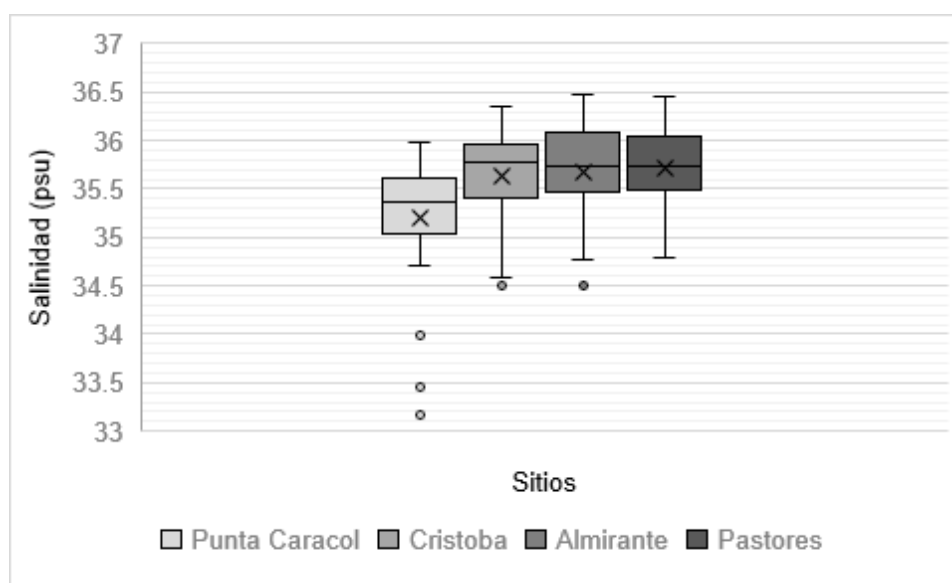
nitrógeno, elemento que al llegar al mar por el arrastre de las lluvias y la desembocadura de los ríos influyen en la proliferación de micro algas en estos sitios (Díaz, 2001).

En el caso del potencial de hidrógeno (pH) se obtuvieron variaciones mínimas que van desde pH = 7.6 a 8.5. Los valores más altos se registraron para Punta Caracol y Cristóbal con un promedio de pH = 8.2 para ambos sitios, mientras que, los más bajos fueron registrados para Almirante y Pastores con un promedio de pH = 8.0 cada uno (Fig. 5). Aunque los datos obtenidos se encuentran dentro de la escala alcalina o básica (pH > 7) para los cuatro sitios de bahía Almirante, mediante el análisis estadístico de Friedman se obtuvo que el pH en Punta Caracol y Cristóbal es significativamente diferentes de Almirante y Pastores ( $P < 0.0001$ ).



**Figura 5.** Mediciones de potencial de hidrógeno (pH) en los sitios de bahía Almirante, enero a septiembre 2018 (1 D.E.).

En relación a las concentraciones de sales disueltas los resultados fueron muy similares para todos los sitios. En Cristóbal, Almirante y Pastores el promedio es de 36 psu y en Punta Caracol 35 psu. (Fig. 6). Aunque los sitios solo muestran una pequeña diferencia de 1 psu, con la prueba de Friedman se obtuvo que la salinidad en Punta Caracol es significativamente diferente de Cristóbal, Almirante y Pastores ( $P < 0.0001$ ).



**Figura 6.** Mediciones de salinidad (psu) en los sitios de bahía Almirante, enero a septiembre 2018 (1 D.E.).

Generalmente, el agua oceánica es ligeramente alcalina, con valores que van desde pH 7.5 hasta pH 8.4. Por otra parte la medida estándar de salinidad en los océanos es de 35 partes por mil (psu) en un litro de agua de mar (Castro y Huber, 2007). De acuerdo a estas descripciones, los valores de pH y salinidad obtenidos en esta investigación para los cuatro sitios de bahía Almirante se encuentran dentro del rango normal para agua de mar.

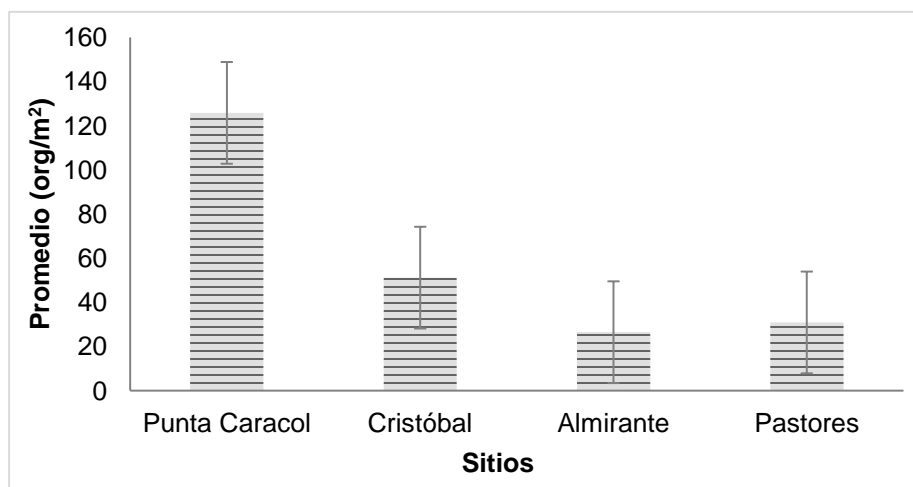
Las mediciones de temperatura dieron como resultado un promedio de 28°C en los cuatro sitios de bahía Almirante. Esto indica que la temperatura es una variable ambiental constante dentro de la bahía, ya que se mantuvo entre los 26 y 29 °C durante los meses de muestreo. Con el análisis estadístico de Friedman no se encontró diferencias significativas para este factor ambiental ( $P < 0.292$ ).

Los resultados obtenidos para las mediciones de temperatura son muy similares a los publicados anteriormente en un estudio sobre las variaciones de temperatura y meteorología en Bocas del Toro (Kaufmann y Thompson, 2005). En ese estudio y en nuestros resultados las temperaturas registradas para la bahía Almirante oscilan entre los 26 y 29 °C. Los autores mencionados anteriormente, en su investigación resaltan que esto se debe a que la temperatura del agua marina en Bocas del Toro está influenciada por la incidencia de los rayos solares (Insolación) y la cantidad de nubes sobre el área (Kaufmann y Thompson, 2005).

### **3.2 Organismos**

Los resultados del conteo de organismos bentónicos se encuentran expresados en términos de abundancia promedio (org/m<sup>2</sup>). Durante las semanas de muestreo se obtuvieron un total de 7,968 organismos bentónicos del procesamiento de 280 muestras de sedimento (250 y 500 µm). Del total de organismos encontrados, el mayor porcentaje 54 % (4278 org/m<sup>2</sup>) corresponde a Punta Caracol, el 22 % (1740 org/m<sup>2</sup>) a Cristóbal, el 13 % (1050 org/m<sup>2</sup>) a Pastores y el 11 % (900 org/m<sup>2</sup>) para Almirante (Fig. 7).





**Figura 7.** Abundancia de organismos encontrados en los sitios de bahía Almirante, enero a septiembre 2018 (1 D.E.).

Utilizando la prueba de Kruskal-Wallis se comprobó que existe diferencia significativa entre la abundancia de individuos en los sitios. Indicando que Punta Caracol es significativamente diferente de Almirante ( $P < 0.0001$ ), Pastores ( $P < 0.0001$ ) y Cristóbal ( $P < 0.006$ ). Apoyando así los resultados anteriormente descritos, donde se indica que Punta Caracol es el sitio más abundante con más de la mitad (54 %) del total de organismos contados.

Los resultados para los índices de diversidad y dominancia calculados: Shannon ( $H'$ ) y Simpson ( $D$ ), colocan a nuestros sitios de estudio en el siguiente orden de mayor a menor: Punta Caracol ( $H' = 1.028$ ,  $D = 0.541$ ), Cristóbal ( $H' = 0.888$ ,  $D = 0.487$ ), Pastores ( $H' = 0.608$ ,  $D = 0.365$ ) y Almirante ( $H' = 0.266$ ,  $D = 0.427$ ). Esto quiere decir, que en Punta Caracol y Cristóbal no solo encontramos la mayor abundancia de organismos, sino que también son lugares con elevada riqueza y amplia variedad de seres vivos. La prueba estadística aplicada a los índices de diversidad indica que

Punta Caracol y Cristóbal son significativamente diferentes de Almirante ( $P < 0.001$ ) y Pastores ( $P < 0.029$ ) con la mayor diversidad y riqueza de especies.

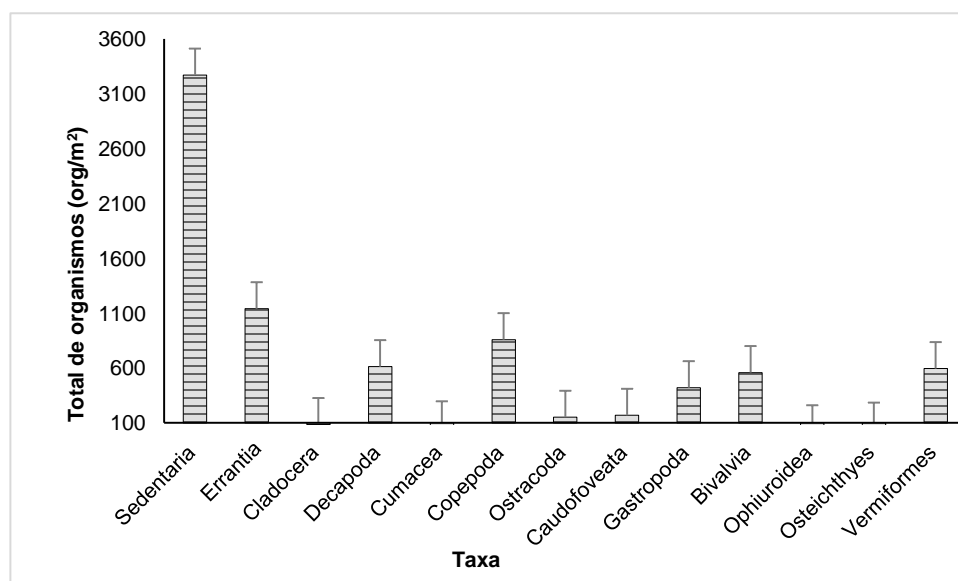
De los 7,968 organismos encontrados en las muestras de sedimento se lograron diferenciar cinco phyla (Cuadro 1), en los cuales se identificaron cuatro clases, cinco subclases, dos órdenes y un sub orden. Siendo en total 12 taxones reportados para este estudio: Sedentaria, Errantia, Cladocera, Decapoda, Cumacea, Copepoda, Ostracoda, Caudofoveata, Gastropoda, Bivalvia, Ophiuroidea y Osteichthyes. Los ejemplares que presentaron dificultades para ser identificados se clasificaron dentro del grupo que definimos como vermiformes (forma de gusano) debido a que todos presentaron esta característica.

**Cuadro 1.** Clasificación taxonómica de los phyla encontrados en las muestras de sedimento de acuerdo al orden filogenético (mod. Brusca y Brusca, 2005).

<b>Phylum Annelida</b>	Clase Polychaeta	Sub clase Sedentaria
		Sub clase Errantia
<b>Phylum Arthropoda</b> <b>SubPhylum Crustacea</b>	Clase Branchiopoda	Sub orden Cladocera
	Clase Malacostraca	Orden Decapoda
		Orden Cumacea
	Clase Maxillopoda	Sub clase Copepoda
Sub clase Ostracoda		
<b>Phylum Mollusca</b>	Clase Aplacophora	Sub clase Caudofoveata
	Clase Gastropoda	
	Clase Bivalvia	
<b>Phylum Echinodermata</b>	Clase Ophiuroidea	
<b>Phylum Chordata</b>	Clase Osteichthyes	
<b>Otros</b>	Vermiformes	

De las 12 categorías taxonómicas identificadas, solo 11 corresponden a organismos propios de la fauna bentónica. El sub orden Cladóceras es considerado un grupo accidental, debido a que estos organismos no son propios de este ecosistema (Brusca y Brusca, 2005). Los mismos pudieron ser colectados por la draga accidentalmente, mientras se desplazaba en la columna de agua para llegar al fondo marino.

En términos generales los grupos más abundantes en las muestras de sedimento de bahía Almirante fueron las dos subclases de poliquetos: sedentarios y errantes. Seguido de los tres grupos de moluscos encontrados, los solenogastros caudofoveados, los caracoles gasterópodos y las almejas bivalvos. Mientras que, entre los grupos de menor abundancia, con muy pocos organismos contabilizados se encuentran los cumáceos y ofiuroideos.



**Figura 8.** Total de organismos bentónicos encontrados (org/m<sup>2</sup>) en bahía Almirante, enero a septiembre 2018 (1 D.E.).

Es de importancia destacar, que los resultados anteriormente descritos se obtuvieron del total de individuos contados por taxón. Estos no determinan la distribución y abundancia de organismos dentro de la bahía Almirante. Para determinar cómo están distribuidos las taxa se realizó un conteo y revisión de organismos por separado en cada sitio de colecta.

En el bentos de Punta Caracol el total de organismos se distribuye en 11 de las 12 taxa reportadas para este trabajo (Fig. 9A). Siendo el grupo de los Cladóceros el único que no estuvo presente en las muestras de sedimento para este lugar. Los resultados señalan que la mayor abundancia dentro de esta área se encuentra en su mayoría definida por gusanos clasificados en el grupo de los poliquetos sedentarios (56 %), errantes (16 %), vermiformes (7 %) y moluscos caudofoveados (4 %).

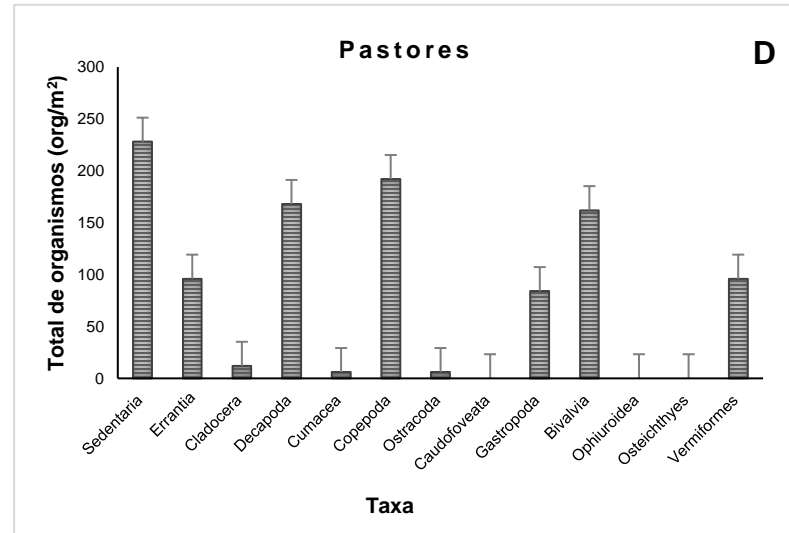
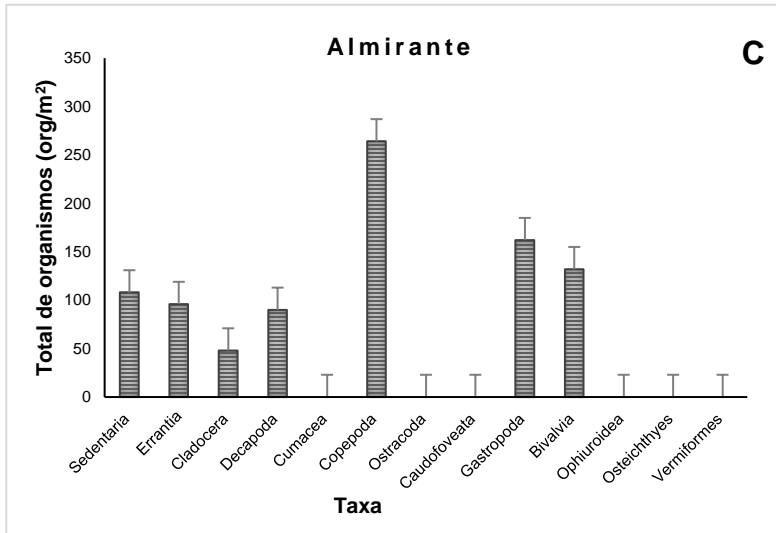
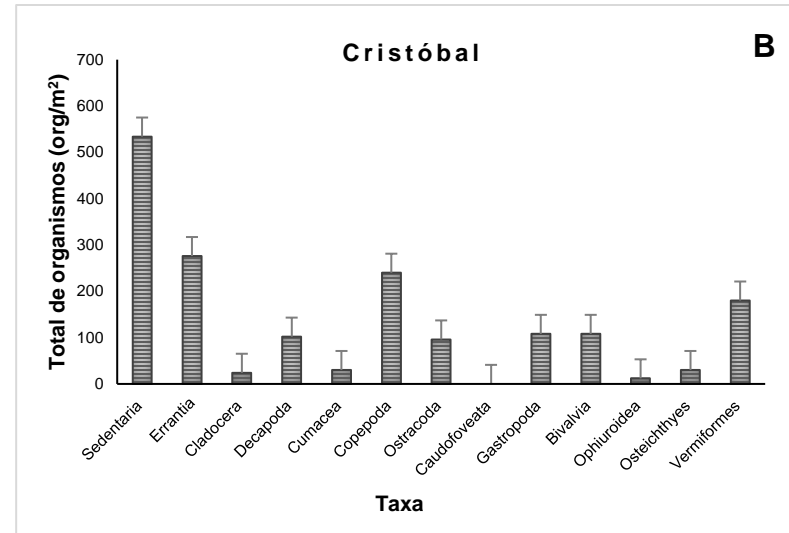
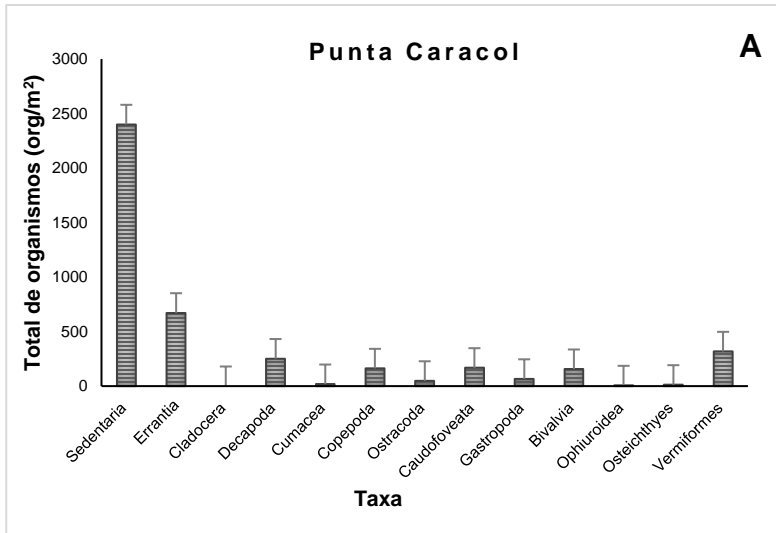
En Cristóbal al igual que Punta Caracol se contaron animales pertenecientes a 11 taxa distintas (Fig. 9B). La mayor abundancia en este sitio corresponde a los poliquetos: Sedentaria (31 %) y Errantia (16 %). Además, Cristóbal fue el único lugar donde la presencia de Ofiuroideos (1 %) y peces (2 %) hacen diferencia en la abundancia manifestando un pequeño porcentaje del total obtenido.

En el caso de Almirante se encontraron únicamente siete de los 12 taxa reportados para este trabajo (Fig. 9C). A diferencia de los sitios anteriormente mencionados, en Almirante los grupos más abundantes fueron los copépodos (29 %), seguidos de los gasterópodos (18 %) y bivalvos (15 %). En este sitio las taxa de menor proporción fueron los poliquetos errantes (11 %) y decápodos (10 %).

En Pastores la distribución de organismos se dio en 10 taxa distintos (Fig. 9D). En este caso la mayor abundancia la presentan los poliquetos errante (22 %), seguido de los copépodos (18 %) y decápodos (16 %). Los taxa de menor proporción en este sitio fueron los crustáceos cumáceos y ostrácodos con un mínimo porcentaje de 1 % en ambos casos.

A pesar de que todos los sitios están compuestos por el mismo tipo de sedimento no en todos encontramos los organismos en la misma proporción, sin embargo, todos los organismos colectados forman parte de la meiofauna bentónica (Duplisea y Hargrave, 1996). En la mayoría de los sedimentos blandos cuatro grupos dominan el bentos marino: poliquetos, bivalvos, gasterópodos y equinodermos (Carrasco, 2004). Coincidiendo con la literatura en los resultados para abundancia de organismos obtuvimos que los poliquetos sedentarios, gasterópodos y bivalvos fueron los grupos más comunes y abundantes entre los sitios.

Los poliquetos tubícolas además de ser los más abundantes en los fondos blandos, también ejercen influencia en las capas superficiales y estabilizan el substrato. Estos organismos son territoriales y compiten por el espacio intersticial con los animales excavadores (Rozbaczylo *et al.*, 2017). En general juegan un rol clave en el flujo de energía a través de las cadenas tróficas, factores que explica su gran abundancia en nuestro estudio.



**Figura 9.** Distribución de las taxa encontradas en bahía Almirante: A. Punta Caracol, B. Cristóbal, C. Almirante y D. Pastores, enero a septiembre 2018 (1 D.E.).

Un análisis de similitud (ANOSIM) nos muestra que solo la composición de la comunidad bentónica en Pastores es significativamente diferente de Punta Caracol ( $P < 0.0006$ ) y de Cristóbal ( $P < 0.0138$ ). Mientras que, en Almirante a pesar de presentar proporciones distintas la composición bentónica no es significativamente diferente a la encontrada en Punta Caracol ( $P < 0.1098$ ), Cristóbal ( $P < 0.627$ ) y Pastores ( $P < 1$ ). Esto quiere decir, que la estructura de la comunidad bentónica en bahía Almirante es muy similar entre todos los sitios estudiados, ya que este análisis solo muestra una pequeña diferencia en uno de ellos.

Un análisis de correspondencia canónica (CCA), nos permitió correlacionar los parámetros ambientales con la abundancia de organismos encontrados en cada sitio de estudio. El resultado del análisis CCA, no muestra una relación entre los datos, ya que los parámetros ambientales solo explican el 2.8306% de la variabilidad observada en los sitios. Sin embargo, el análisis de varianza multivariado permutacional (PERMANOVA) basado en distancias de Bray-Curtis mostró que el oxígeno ( $R^2 = 0.05520$ ) y la temperatura ( $R^2 = 0.11443$ ) tuvieron una relación significativa con la abundancia de organismos en los sitios de estudio.

Aplicando un análisis de regresión lineal determinamos que estos dos parámetros ambientales realmente no tienen un efecto de importancia sobre la abundancia de organismos, ya que en ambos casos se obtuvo un porcentaje de relación significativo muy bajo. El oxígeno logra explicar únicamente el 10.8 % de la variabilidad de organismos observada en Pastores, mientras que para el resto de los sitios el porcentaje se mantuvo por debajo del 3.0 %. La temperatura logra explicar un

45.8 % de la variabilidad de organismos observada solo para Punta Caracol y en el resto de los sitios no fue un parámetro ambiental de importancia.

Es importante resaltar, que, aunque los resultados no indiquen un efecto de los parámetros ambientales sobre la abundancia, los datos han mostrado un patrón, en el cual los sitios con condiciones ambientales consideradas como estables (Punta Caracol y Cristóbal) la abundancia de organismos es mayor en comparación a los sitios con condiciones ambientales consideradas poco favorables (Pastores y Almirante) donde los organismos han sido poco abundantes. Este patrón entre los sitios, no puede ser explicado adecuadamente por un único parámetro ambiental, ya que esta variabilidad se deriva en parte de la interacción de todo el ambiente y las características que presenta cada taxón para soportar las diferentes condiciones. Factores que se reflejan en las diferencias adaptativas y la amplia gama de cambios metabólicos y de comportamiento que tiene cada grupo para hacer frente a condiciones extremas como la hipoxia y eutrofización (proliferación de micro algas) en bahía Almirante (Howarth *et al.*, 1996).



## **V. CONCLUSIONES**

- ✓ Punta Caracol y Cristóbal presentan condiciones ambientales consideradas dentro de los estándares normales, con un promedio de oxígeno de 5.4 y 4.1 mg/L, respectivamente y concentraciones de clorofila de 2.0  $\mu\text{g/L}$  en ambos sitios.
- ✓ En Almirante y Pastores ambos sitios experimentan un evento hipóxico y anoxico con registros de hasta 0.4 mg/L de oxígeno y 4.3  $\mu\text{g/L}$  de clorofila.
- ✓ Punta Caracol es el sitio con mayor abundancia de organismos bentónicos, con el 54 % del total de organismos contados, y Almirante el sitio de menor abundancia con solo el 11 % de acuerdo a los resultados obtenidos para este estudio.
- ✓ Punta Caracol y Cristóbal presentan la mayor diversidad de organismos, mientras que Pastores y Almirante la menor diversidad de acuerdo a los índices Shannon Wiener ( $H'$ ) y Simpson ( $D$ ).
- ✓ Se demostró que la comunidad bentónica en bahía Almirante es muy similar entre los sitios estudiados, compuesta por cinco Phyla distribuidos en 12 taxa, siendo los Polychaeta sedentaria (41 %) los de mayor abundancia.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- ✓ Promover estudios del bentos marino en áreas ecológicamente impactadas del archipiélago de Bocas del Toro para conocer el estado de las poblaciones.
- ✓ Medir otros parámetros ambientales no incluidos en este estudio, como la cantidad de nitrógeno y fosfatos presentes en el agua, la turbidez, conductividad y las corrientes marinas.
- ✓ Realizar estudios sobre modelación de la eutrofización que empleen la demanda bioquímica y química de oxígeno e índice de calidad del agua, para conocer si Pastores y Almirante son zonas eutrofizadas.
- ✓ Identificar los organismos hasta el nivel de especie y emplear estudios morfológicos, para conocer las características que presenta cada individuo para adaptarse a los ambientes estresantes.
- ✓ Promover programas de conservación ambiental y concientización a la población de bahía Almirante sobre el impacto que causa la contaminación del agua en el fondo marino.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

**Addinsoft (2014).** Statistical software. XLSTAT 2014.5.03. Copyright Addinsoft.  
<https://www.xlstat.com/>

**Alongi, D. M. (1989).** The role of soft-bottom benthic communities in tropical mangrove and coral reef ecosystems. *Reviews in Aquatic Sciences* 1: 243-280.

**Alongi, D. M. (1990).** The ecology of tropical soft-bottom benthic ecosystems. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 28(3): 381-496.

**Altieri, A. H., Harrison, S. B., Seemann, J., Collin, R., Diaz, R. J. y Knowlton, N. (2017).** Tropical dead zones and mass mortalities on coral reefs. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114(14): 3660-3665.

**ANAM (2004).** "Que Reglamenta lo Relativo a las Especies de Fauna y Flora Amenazadas y se Dictan Otras Disposiciones". *Gaceta Oficial* N° 25,065. Panamá, 24.

**ARAP (2010).** Documento de Referencia para la Elaboración de Estudios de Impacto Ambiental en Zonas Marino Costeras y Aguas Continentales. Programa de Fortalecimiento de la Capacidad de Gestión de la Autoridad de Recursos Acuáticos de Panamá para el Manejo Costero Integrado. Autoridad Marítima de Panamá, Panamá, 217.

**ARCGIS DESKTOP (2018).** Creador de mapas virtual. ArcMap10.6.1.  
<https://desktop.arcgis.com/es/>

**ARDEN & PRICE/UNIVERSIDAD DE MIAMI (2008).** Atlas de los Recursos Marino-Costeros de Bocas del Toro: Consultoría para la elaboración del plan de manejo marino-costero integrado de Bocas del Toro, en el marco del programa multifase de desarrollo sostenible. ARAP, Panamá, 86.

**Barnes R. D. 1989.** *Zoología de los invertebrados*. trad. 5a ed. Interamericana, México, D.F., 957.

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

**Breitburg, D., Levin, L., Oschlies, A., Grégoire, M., Chavez, F., Conley, D., Garçon, V., Gilbert, D., Gutiérrez, D., Isensee, K., Jacinto, G., Limburg, K., Montes, I., Naqvi, S., Pitcher, G., Rabalais, N., Roman, M., Rose, K., Seibel, B., Telszewski, M., Yasuhara, M. y Zhang, J. (2018).** Declining oxygen in the global ocean and coastal waters. *Science*, 359 (6371): 1-11.

**BRUSCA, R. C. y BRUSCA, G. J. (2005).** Invertebrados. trad. 2ed. McGraw Hill Interamericana de España. Madrid, 1005.

**Carrasco, F. (2004).** Organismos del Bentos Marino Sublitoral: algunos aspectos sobre abundancia y distribución. Pp. 313-346. En: Werlinger, C., Alveal, K., y Romo, H. *Biología Marina y Oceanografía: conceptos y procesos*. Consejo Nacional del Libro y La Lectura. Chile, 696.

**Castro, P. y Huber, M. (2007).** *Biología Marina*. Trad. Madrid: McGraw-Hill Interamericana de España. Madrid, 486.

**CENMA (2011).** Armonización de Criterios de Muestreo y Análisis Tendientes a la Modelación de la Calidad Ambiental de Estuarios y Bahías. Informe final consolidado. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago de Chile, 461.

**Collin, R. (2005).** Ecological monitoring and biodiversity surveys at the Smithsonian Tropical Research Institute Bocas Del Toro Research Station. *Caribbean Journal of Science*. 41 (3): 367-373.

**Dernie, K. M., Kaiser, M. J. y Warwick, R. M. (2003).** Recovery rates of benthic communities following physical disturbance. *Journal of Animal Ecology*. 72(6): 1043-1056.

**Diaz, R. J. (2001).** Overview of Hypoxia around the World. *Journal of Environment Quality*, 30(2): 275-281.

**Diaz, R. J. y Rosenberg, R. (2008).** Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science*, 321(5891): 926-929.

**Diaz, R. J., y Rosenberg, R. (1995).** Marine benthic hypoxia: a review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna. *Oceanography and Marine Biology*, 33: 245-303.

**Dominici, A. y Wolff, M. (2005).** Reef fish community structure in Bocas del Toro (Caribbean, Panama): gradients in habitat complexity and exposure. *Caribbean Journal of Science*, 41(3): 613-637.

**Duplisea, D. E. y Hargrave, B. T. (1996).** Response of meiobenthic size-structure, biomass and respiration to sediment organic enrichment. *Hydrobiologia*, 339(1-3), 161-170.

**EXO (2014).** EXO User Manual: advanced water quality monitoring platform. Xylem Inc. or. Ohio, 244.

**Frithsen, J. y Holland, A. F. (1990).** Benthic communities as indicators of ecosystem conditions. Pp. 459-460. En: McKenzie, D., Hyatt, D. y McDonald V. *Ecological Indicators*. Elsevier Applied Science. London, 810.

**Garcés B. H. A. (1994).** El Bentos Marino. Inventario Biológico del Canal de Panamá. *Revista Scientia*. Panamá, 8(2): 111-117.

**Garcés B. H. A. y García R. J. (2004).** Colecta y análisis de muestras biológicas de los Lagos Gatún y Miraflores: No. 3: Bentos. *Centro de Ciencias del Mar y Limnología*



(CCML). Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología. Universidad de Panamá. Panamá, 19.

**Giblin, A. E., Foreman, K. H. y Banta, G. T. (1995).** Biogeochemical processes and marine benthic community structure: which follows which?. Pp. 37-44. En: Linking Species y Ecosystems. Springer. Boston, 387..

**Gili, J. M. y Coma, R. (1998).** Benthic suspension feeders: their paramount role in littoral marine food webs. *Trends in Ecology y Evolution*, 13(8): 316-321.

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

**Gray, J. S. y Elliott, M. (2009).** *Ecology of Marine Sediments: from science to management.* Oxford University Press. New York, 240.

**Guzmán, H. M. y Guevara, C. A. (1998).** Arrecifes coralinos de Bocas del Toro, Panamá: distribución, estructura y estado de conservación de los arrecifes continentales de la Laguna de Chiriquí y la Bahía Almirante, 46(3): 601-623.

**Harris, L., DeLeón-Gonzalez, J. A. y Salazar, V. S. (2009).** Morfología, Métodos, Clave para Familias y Clasificación de Poliquetos. Pp. 3-32. En: González, J., Bastida, J., Carrera L., García M. E., Peña, A., Salazar S. y Solís, V. *Poliquetos de México y América Tropical.* Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, 588.

**Holme, N. A. y McIntyre, A. D. (1984).** *Methods for the Study of Marine Benthos.* IBP Handdbook No.16. Blackwell Scientific. Oxford, 494.

**Howarth, R.W., G. Billen, D. Swaney, A. Townsend, N. Jaworski, K., Lajtha, J.A. Downing, R. Elmgren, N Caraco, T. Jordan, F. Berendse, J. Freney, V. Kudeyarov, P. Murdoch y Z. Zhao-Liang. (1996).** Regional nitrogen budgets and

reverine N & P fluxes for the drainage to the North Atlantic Ocean: Natural and human influences. *Biogeochemistry* 35(1): 75–139.

**Karydis, M. (2009).** Eutrophication assessment of coastal waters based on indicators: a literature review. *Global NEST Journal*, 11(4): 373-390.

**Kaufmann, K. y Thompson R. (2005).** Water temperature variation and the meteorological and hydrographic environment of Bocas del Toro, Panama. *Caribbean Journal of Science*, 41(3): 392-413.

**Kwiecinski, B., Garcés B. H. A. y D’Croze, L. (1994).** Calidad de los sedimentos. *Inventario Biológico del Canal de Panamá. Revista Scientia. Panamá*, 8(2): 50-59.

**Mair, J. M., Cunningham, S. L., Sibaja-Cordero, J. A., Guzmán, H. M., Arroyo, M. F., Merino, D. y Vargas, R. (2009).** Mapping benthic faunal communities in the shallow and deep sediments of Las Perlas Archipelago, Pacific Panama. *Marine Pollution Bulletin*, 58(63): 375-383.

**Martin, J. W., Olesen, J. y Høeg, J. T. (2014).** *Atlas of Crustacean Larvae*. Johns Hopkins University Press. Baltimore, 384.

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

**Peña, A. (2012).** Reconstrucción de los procesos de sedimentación y contaminación en la Bahía de Almirante (Bocas del Toro), Panamá. Informe de los últimos 100 años utilizando técnicas nucleares. ARAP, Panamá, 18.

**Ramey, P. A. y Snelgrove, P. V. (2003).** Spatial patterns in sedimentary macrofaunal communities on the south coast of Newfoundland in relation to surface oceanography and sediment characteristics. *Marine Ecology Progress Series*, 262: 215-227.

**Ray, G. C. y Grassle, J. F. (1991).** Marine biological diversity program. *BioScience*, 41(7): 453-457.

**Ríos, F., Cisternas, M., Le Roux, J. y Correa, I. (2002).** Seasonal sediment transport pathways in Lirquen Harbor, Chile, as inferred from grain-size trends. *Investigaciones Marinas*, 30(1): 3-23.

**Rodríguez, E., Almanza, R. y Alvarado, R. (1993).** Situación biofísica y ambiental de la Provincia de Bocas del Toro. Pp. 55-72. En: Moren S. H. *Agenda Ecológica y Social para Bocas del Toro*. Impresora Continental. Panamá, 207.

**Roque, A. E. (2017).** Hábitat Trófico y Relaciones Alimenticias de Peces Costeros en el Norte del Ecosistema de la Corriente de Humboldt. Tesis de Maestría. Universidad Peruana Cayetano Heredia. Lima, 129.

**Rozbaczylo, N., Moreno, R. Y Díaz-Díaz, O. (2017).** Poliquetos Bentónicos de Chile Pp. 51-70. En: Díaz,O., Bone, D., Rodríguez, C., Delgado V. *Poliquetos de Sudamérica*. Cumaná, 149.

**Ruiz, A. (2013).** Diversidad y Distribución de la Macro y Meiofauna (especialmente nemátodos) en el Ecosistema Arrecifal de Punta Francés, Cuba. Tesis Doctoral. Universidad de La Habana. La Habana, 56.

**Ruiz, T. (2017).** Análisis comparativo de índices de eutrofización en lagunas costeras del estado de Sonora, México. Tesis Doctoral. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja california, 108.

**Sánchez, Y. (2012).** Incidencia de Peces Bioerosionadores en la Depredación de Corales y Algas en los Arrecifes de Bocas del Toro. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias del Mar. Universidad Marítima Internacional de Panamá. Panamá, 55.

**Shuffler, A. (2013).** Principales Peces Bioerosionadores que Impactan los Arrecifes coralinos en el Archipiélago de Bocas del Toro. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias del Mar. Universidad Marítima Internacional de Panamá. Panamá, 80.

**Snelgrove, Paul V. (1997).** The Importance of Marine Sediment Biodiversity in Ecosystem Processes. Springer, 26(8): 578-583.

**Suderman, K. y Thistle, D. (2003).** A microcosm system for the study of pollution effects in shallow, sandy, subtidal communities. Environmental Toxicology and Chemistry: an International Journal, 22(5): 1093-1099.

**Vaquer-Sunyer, R. y Duarte, C. (2008).** Thresholds of hypoxia for marine biodiversity. Proceedings United States National Academy of Sciences. 105(40): 15452-15457.

**Vellend, M. (2010).** Conceptual synthesis in community ecology. The Quarterly Review of Biology, 85(2): 183-206.

**Venturini, N., Muniz, P. y Rodríguez, M. (2004).** Macrobenthic subtidal communities in relation to sediment pollution: the phylum-level meta-analysis approach in a south-eastern coastal region of South America. Marine Biology, 144(1): 119-126.

**Walton, W. (1952).** Techniques for recognition of living foraminifera. Contribution from the Cushman Foundation for Foraminiferal Research, 3(2): 56-60.

**Young, C. M., Sewell, M. A. & Rice, M. E. (2002).** Atlas of Marine Invertebrate Larvae. Academic Press. San Diego, 626.