



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Poliquetos bénticos como bioindicadores de contaminación por
enriquecimiento orgánico en la zona urbana de la Bahía de Chetumal,
Quintana Roo.

TESIS
PARA OBTENER EL GRADO DE

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTA
SYAN RIJEL COBB

DIRECTOR DE TESIS
DR. VÍCTOR HUGO DELGADO BLAS

ASESORES
DR. ADRIÁN CERVANTES MARTÍNEZ
M.C. JENNIFER DENISSE RUIZ RAMÍREZ
M.E.M. JOSÉ LUIS GONZÁLEZ BUCIO
M.F.A. JUAN CARLOS ÁVILA REVELES



CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, SEPTIEMBRE DE 2018



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

TRABAJO DE TESIS TITULADO

“Poliquetos bénticos como bioindicadores de contaminación por enriquecimiento orgánico en la zona urbana de la Bahía de Chetumal, Quintana Roo.”

ELABORADO POR
SYAN RIJEL COBB

BAJO SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DE ASESORÍA Y APROBADO COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

INGENIERO AMBIENTAL

COMITÉ DE TESIS

DIRECTOR:



DR. VÍCTOR HUGO DELGADO BLAS

ASESOR:



DR. ADRIÁN CERVANTES MARTÍNEZ

ASESORA:



M.C. JENNIFER DENISSE RUIZ RAMÍREZ

ASESOR:



M.E.M. JOSÉ LUIS GONZÁLEZ BUCIO

ASESOR:



M.I.A. JUAN CARLOS ÁVILA REVELES



CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, SEPTIEMBRE DE 2018

Dedicatoria

A ti, él estudiante...

Esta tesis está dedicada al estudiante que a lo largo de su carrera se enfrentará con retos difíciles que lo pondrán a prueba, pero solo con esfuerzo, dedicación, deseo y un hambre voraz de crecer podrá ser capaz de vencerlos. Si por alguna razón las cosas no salen como deseas, no los tomes como un fracaso sino como una oportunidad de mejorar. Nunca dudes de ti mismo, da tu máximo esfuerzo. Porque este trabajo es testimonio de que si se puede lograr cualquier cosa en la vida, siempre y cuando estés dispuesto a superar ese miedo que socava nuestro propio potencial y crear dudas sobre uno mismo.

Agradecimientos

Mi profundo agradecimiento a mis padres, que con su gran esfuerzo y dedicación me ayudaron a culminar mi carrera universitaria.

A mi director de tesis; Dr. Víctor Hugo Delgado Blas, que con su apoyo y consejos fueron una guía durante el desarrollo de esta tesis.

A mis asesores de tesis, Dr. Adrián Cervantes Martínez, M.C. Jennifer Denisse Ruiz Ramírez, M.E.M. José Luis González Bucio y M.I.A. Juan Carlos Ávila Reveles, por el tiempo brindado en la revisión de este trabajo de tesis.

A Elisa Rabanales, un gran ser humano a quien estimo tanto y a quien le debo su apoyo incondicional, por estar a mi lado en momentos difíciles, sin pedir nada a cambio y sin dudar de mi capacidad. Con amor y cariño, muchas gracias por todo.

Índice

Resumen	8
Introducción	9
Objetivo General.....	11
Objetivos Particulares	11
Hipótesis.....	11
Justificación.....	12
CAPÍTULO I	14
FUNDAMENTO TEÓRICO	14
1.1 Bioindicadores.....	14
1.1.1 Bioindicadores como herramienta de evaluación de la calidad ambiental.....	14
1.1.2 Características de un bioindicador	15
1.1.3 Ventajas del uso de organismos como bioindicadores.....	16
1.2 Poliquetos.....	18
1.2.1 Poliquetos como bioindicadores	19
1.2.2 La importancia de los poliquetos y su papel en las comunidades bentónicas	23
1.2.3 Generalidades de los poliquetos	23
Morfología.....	23
Alimentación	24
Hábitat.....	25
Modo de Vida.....	25
1.3 Antecedentes	26
1.3.1 A nivel internacional	26
1.3.2 A nivel nacional	29
1.3.3 A nivel local.....	31
CAPÍTULO II	34
METODOLOGÍA	34
2.1 Área de estudio.....	34
2.2 Materiales y Métodos	36
2.2.1 Métodos de campo	36
2.2.2 Métodos de Laboratorio	38
2.3 Análisis Ecológico y Numérico.....	38
2.3.1 Curvas de Abundancia-Biomasa.....	39

2.3.2 Índice de Diversidad	40
Índice de Shannon-Wiener	40
2.3.3 Índice de correlación simple de Pearson	42
CAPÍTULO III	45
RESULTADOS	45
3.1 Comportamiento general de los parámetros ambientales por estación.....	45
3.2 Análisis Granulométrico	47
3.3 Relación entre las variables ambientales del área de estudio.....	47
3.4 Análisis de la comunidad de poliquetos	48
Abundancia y biomasa de los poliquetos.....	48
Índice de diversidad	50
Distribución de las especies de poliquetos.....	51
3.5 Concentración y distribución de Materia Orgánica.....	52
3.6 Relación entre la composición faunística y los parámetros fisicoquímicos	53
Asociación de especies dominantes con la salinidad y el contenido de materia orgánica.	54
3.7 Curvas de Abundancia-Biomasa (ABC).....	57
Curvas de Abundancia-Biomasa (ABC) por estación	57
Curvas de Abundancia-Biomasa (ABC): Análisis general	59
CAPÍTULO IV	61
DISCUSIÓN	61
CONCLUSIÓN	66
RECOMENDACIONES	68
Referencias	70
ANEXO	79

Índice de figuras

Figura 1. Diagrama simplificado de las estructuras de un poliqueto (Modificado de Hickman).....	24
Figura 2. Bahía de Chetumal (Área de estudio).....	35
Figura 3. Ubicación de las estaciones de muestreo en la zona urbana de la Bahía de Chetumal, Quintana Roo.....	37
Figura 4. Representación de las tres posibles graficas de las Curvas ABC (Tomado de Warwick, 2008).....	39
Figura 5. Diagramas de dispersión expresando diferentes tipos de relación.....	43
Figura 6A-F. Comportamiento de los parámetros ambientales.....	46
Figura 7. Matriz de diagramas de dispersión de las variables ambientales.....	48
Figura 8. Abundancia total de poliquetos por estación.....	49
Figura 9. Biomasa total de poliquetos por estación.....	49
Figura 10. Número de individuos por especie en cada zona de muestreo.....	52
Figura 11. Distribución espacial de materia orgánica del sedimento en la zona de muestreo.....	53
Figura 12A-B. Distribución de las especies de mayor dominancia con respecto a la salinidad y materia orgánica.....	55
Figura 12C-D. Distribución de las especies de mayor dominancia con respecto a la salinidad y materia orgánica.....	55
Figura 13A-C. Curvas de Abundancia-biomasa (ABC) por estación.....	57
Figura 13D-G. Curvas de Abundancia-biomasa (ABC) por estación.....	57
Figura 14. Curva ABC del análisis general de la zona de estudio.....	59

Índice de tablas

Tabla 1. Especies de poliquetos indicadoras de contaminación.....	22
Tabla 2. Relación entre los valores del índice de diversidad con la contaminación del agua.....	40
Tabla 3. Interpretación general del coeficiente de correlación de Pearson.....	42
Tabla 4. Parámetros ambientales registrados por estación.....	45
Tabla 5. Tipo de sedimento encontrado por estación.....	47
Tabla 6. Índices ecológicos de la comunidad de poliquetos.....	50
Tabla 7. Abundancia y Biomasa total de poliquetos.....	50
Tabla 8. Porcentajes de distribución de las especies de poliquetos.....	51
Tabla 9. Coeficiente de correlación de la abundancia total con las variables ambientales.....	53
Tabla 10. Coeficiente de correlación de la abundancia de dos de las especies más dominantes con las variables ambientales.....	54

Resumen

Las características ecológicas de los poliquetos permiten que, al estar en contacto permanente con diferentes tipos de contaminantes, respondan de diversas formas: bioacumulando, disminuyendo o aumentando su abundancia, biomasa, riqueza de especies, según el estado ambiental del ecosistema, hecho que durante muchos años ha logrado posicionar a este tipo de organismo como potencial indicador de contaminación marina.

En este trabajo se resalta la importancia del estudio de los sedimentos marinos empleando poliquetos como indicadores biológicos, para analizar los impactos que generan los contaminantes sobre las comunidades bentónicas. Esto debido a que sus cambios espaciales y temporales pueden determinar el grado de salud que se presenta en aquellas zonas de interés. Además, se reitera la importancia de iniciar investigaciones, a fin de determinar las zonas impactadas por el enriquecimiento orgánico con el propósito de aportar nueva información actualizada. Ya que, es bien sabido del papel importante que desempeñan los poliquetos en el funcionamiento de las comunidades bentónicas, ayudando en la deposición, descomposición, incorporación y recambio de materia orgánica en el lecho marino, contribuyendo al reciclaje de nutrientes en la columna de agua.

En este estudio realizado a finales de la época de nortes (2018) se identificaron 4 especies de poliquetos con un total de 280 individuos. Se seleccionaron 10 estaciones a lo largo de la zona urbana de la bahía de Chetumal para la recolección de las muestras. En cada estación se ubicaron cuatro sitios de muestreo al azar entre 10 y 20 m de distancia de la línea de costa. Las especies más abundantes y frecuentes fueron: *Laeonereis culveri* (178 ejemplares) y *Capitella cf. capitata* (91 ejemplares). La diversidad promedio registrada fue muy baja (0.53 bits/ind.). Esta baja diversidad se debe en parte al número de especies y al número de organismos que no se encontraron distribuidos homogéneamente. Con ayuda de las Curvas de Abundancia/Biomasa se determinó que la zona urbana de la Bahía de Chetumal es un ambiente no perturbado, dado que la curva de biomasa se encuentra por encima de la curva de abundancia.

Introducción

Los estuarios y océanos del mundo son el último repositorio de una amplia gama de sustancias descargadas intencionalmente o accidentalmente a través de actividades humanas. Los impactos inmediatos y más agudos de estas actividades ocurren en la zona costera donde el crecimiento de la población ha aumentado dramáticamente en los últimos años (Kennish, 1997). Las sustancias descargadas, en su mayoría, son de tipo orgánico y se derivan de las descargas domésticas, industriales y de drenaje de lluvias (Mason, 1984). La variación en la carga orgánica para alguna área, ya sea de causas naturales o artificiales, ocasiona cambios en los factores físicos, químicos o biológicos, dichos cambios tienen efectos sobre la fauna presente (Pearson, 1978). El enriquecimiento orgánico en los cuerpos de agua suele ser mayor en las zonas urbanas y en particular en aquellos sitios con cercanía a aportes de drenaje sean éstos de tipo municipal o pluvial, o bien en aquellos donde las corrientes del cuerpo de agua son limitadas y dan paso a la acumulación y depósito de material suspendido en los sedimentos.

El estudio de los sedimentos marinos es de gran importancia ya que aporta información sobre el impacto que generan los contaminantes sobre las comunidades bénticas. Una de las principales ventajas para el estudio de la comunidad béntica, es la poca movilidad que poseen y su capacidad de tolerancia, para adaptarse o morir por el continuo aporte de contaminantes al sedimento. Cuando una comunidad bentónica sufre de estrés debido a condiciones ambientales dañinas, se asume que las condiciones son cambios notables en los parámetros de la comunidad tales como diversidad, abundancia, dominancia, biomasa, etc. Los poliquetos han sido durante mucho tiempo una opción obvia para actuar como especies representativas en el análisis de la salud de las comunidades bentónicas, ya que suelen ser el taxón más abundante tomado en muestras bentónicas, tanto en términos de número de especies como de abundancia numérica (Dean, 2008).

Ortiz y Ortega (2014) mencionan que los primeros bioindicadores de contaminación por descargas domésticas utilizados en las evaluaciones de los ecosistemas

acuáticos de agua dulce y marino fueron los anélidos bentónicos. A nivel mundial el uso de Bioindicadores específicamente los poliquetos en estudios marinos y estuarinos son una herramienta muy valiosa, ya que sus cambios espaciales y temporales pueden determinar el grado de salud que se presenta en aquellas zonas de interés.

Los poliquetos son macroinvertebrados que ocupan prácticamente todos los ambientes, desde zonas intermareales hasta las grandes profundidades oceánicas y ambientes dulceacuícolas. Desempeñan un papel muy importante en el funcionamiento de las comunidades bentónicas ya que ayudan a la deposición, descomposición, incorporación y recambio de materia orgánica en el lecho marino, contribuyendo al reciclaje de nutrientes en la columna de agua (Vásquez, 1979). Como bioindicadores, los poliquetos son de utilidad en monitoreos de ambientes marinos por ser organismos tanto sensibles como tolerantes a cambios naturales o aquellos inducidos por el hombre.

El presente trabajo tiene como objetivo estudiar la comunidad de los poliquetos y su relación con las variables ambientales y determinar las zonas impactadas por el enriquecimiento orgánico con el propósito de aportar nueva información actualizada ya que en los últimos años no se han realizado estudios como el que se pretende abarcar en el presente trabajo.

Objetivo General

- Determinar el grado de contaminación por enriquecimiento orgánico en la Bahía de Chetumal Quintana Roo, mediante la utilización de poliquetos bénticos.

Objetivos Particulares

- Determinar la composición, abundancia, biomasa y distribución espacial de los poliquetos en la Bahía de Chetumal e identificar las zonas impactadas por enriquecimiento orgánico.
- Identificar las especies de poliquetos indicadoras de enriquecimiento orgánico, mediante cambios en la comunidad de poliquetos del sustrato arenoso.
- Analizar la asociación de especies dominantes de poliquetos con la salinidad y el contenido de materia orgánica.
- Determinar las características hidrológicas espaciales de la columna de agua y sedimento.

Hipótesis

La comunidad béntica de poliquetos de la zona urbana de la ciudad de Chetumal están siendo modificado por el aporte de contaminantes orgánicos procedente del Río Hondo y de los vertidos de la ciudad de Chetumal.

Justificación

La presente investigación se enfocó en estudiar la comunidad de poliquetos en el sustrato arenoso como bioindicadores de materia orgánica, en la Bahía de Chetumal. Ya que es evidente que el desarrollo poblacional, turístico y agroindustrial, está ocasionando daños a las diferentes especies marinas que habitan este ecosistema. Incluso debido al ineficiente sistema de alcantarillado en la ciudad, para canalizar las aguas residuales, es común la descarga de éstas a través de la red pluvial que se distribuye a lo largo de la zona urbana de la ciudad y que finalmente desemboca en la Bahía. Por lo tanto es indispensable determinar el impacto que estas descargas tienen sobre la comunidad de poliquetos.

Así, el trabajo de investigación permitió analizar la estructura y distribución de los poliquetos en la zona béntica y las adaptaciones que los organismos han desarrollado para enfrentar los cambios ambientales en su hábitat. Además de ofrecer un panorama general sobre los efectos y alteraciones que provocan los contaminantes en la distribución y abundancia de las especies. Al mismo tiempo que sirva como una actualización de los conocimientos preexistentes y del desarrollo de las investigaciones que se realizan para determinar el grado de contaminación de este cuerpo de agua y a partir de ellos, plantear soluciones para la protección de la biodiversidad marina e inclusive de la salud humana.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTO TEÓRICO

CAPÍTULO I

FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1 Bioindicadores

1.1.1 Bioindicadores como herramienta de evaluación de la calidad ambiental

En sentido general, todo organismo es indicador de las condiciones del medio en el cual se desarrolla, esto se debe a que su existencia en un espacio y momento determinado se relacionan estrechamente con su capacidad para adaptarse a los distintos factores ambientales (Pinilla-Agudelo, 1998). Por otro lado, la vulnerabilidad de las especies ante los estresores ambientales no es uniforme, pues esta dependerá de la capacidad de cada individuo para responder y adaptarse a las nuevas condiciones ambientales, de tal manera que las especies con una capacidad de respuesta limitada ante los cambios ambientales, serán las más vulnerables. Así mismo pues, es necesario una evaluación ambiental integral con el propósito de adquirir información relevante que permita detectar de manera temprana las alteraciones que podrían afectar negativamente a la biota (Burger, 2006) y con ello crear programas más eficaces para mitigar los daños causados por los estresores ambientales (Bellard, Bertelsmeier, Leadley, Thuiller & Courchamp, 2012). Considerando que es poco práctico llevar a cabo monitoreos en los cuales se vigilen todos los factores biológicos y físicos de cierto ecosistema, se ha optado por aprovechar la sensibilidad de algunas especies a los estresores ambientales como indicadores del daño que dichos estresores pueden causar sobre la fauna y flora de cierto ecosistema monitoreado (González-Zuarth & Vallarino, 2014). A partir de dicha premisa, se origina el concepto de especie bioindicadora. Polanía (2010) se refiere a los indicadores biológicos como especies de plantas o animales que muestran cambios en abundancia, presencia/ausencia y condición y/o comportamiento particular al ser sometidos a un estrés ambiental, proporcionando información sobre la salud del ecosistema que habitan. A partir de esta interpretación se puede derivar, que no cualquier taxón puede ser un bioindicador ideal (Zúñiga & Cardona, 2009).

1.1.2 Características de un bioindicador

Características que debe cumplir un taxón para ser considerado como un bioindicador ideal (González-Zuarth & Vallarino, 2014).

- Suficientemente sensible para advertir alteraciones del ambiente, pero no tanto como para indicarnos variaciones triviales o poco importantes biológicamente.
- Capaz de advertir no solamente del peligro que corre el taxón mismo sino del peligro que corre todo el ecosistema.
- La intensidad del cambio en el taxón bioindicador está correlacionado con la intensidad del disturbio ambiental.
- Indica directamente la causa en vez de simplemente la existencia del cambio (ej. alteraciones de fecundidad y sobrevivencia y no únicamente en la abundancia).
- Los cambios que ocurren se producen en muy poco tiempo después de originarse la alteración, lo que permite evitar daños dramáticos en el ecosistema.
- Metodológicamente plausibles.
- Su abundancia permite tomar muestras periódicamente sin comprometer la estabilidad de la población.
- Su baja movilidad facilita conocer el origen del disturbio.
- Son lo suficientemente resistentes como para poder manipularlos, transportarlos al laboratorio y hacer experimentos y análisis con ellos.
- Presentan una amplia distribución que permite hacer comparaciones entre distintas poblaciones.
- Fáciles de identificar por personas sin experiencia en el taxón.
- Los datos obtenidos a partir de ellos son fácilmente interpretables.
- No se requiere de un equipo caro o complejo para su monitoreo.

1.1.3 Ventajas del uso de organismos como bioindicadores

La contaminación se define operativamente en términos de concentraciones por encima de los niveles aceptados por la ley. Las técnicas para valorar la contaminación son costosas, por lo que la utilización de organismos como bioindicadores se generaliza cada vez más. Éstos permiten una medición inmediata de los niveles de contaminación en grandes áreas y, por lo tanto, actúan como señales de alarma, ya que sus funciones vitales se relacionan con efectos ambientales, tanto naturales como antropogénicos, de manera que pueden ser utilizados para señalar la presencia de alguno de estos efectos, cuya respuesta queda reflejada en el cambio de valor de una o más variables a cualquier nivel del organismo. Sin embargo, algunos autores consideran indiscutible que el uso del método biológico juega un papel importante en la interpretación de la salud ambiental de un ecosistema por ciertas ventajas sobre los métodos fisicoquímicos tradicionales, dentro de las cuales está su nivel integrativo y su bajo costo.

Los ecosistemas naturales son complejos, multivariados y, simultáneamente, están expuestos a una gran variedad de estresores con efectos acumulativos que son pobremente entendidos; condiciones difíciles de reproducir en pruebas de laboratorio para determinar la calidad de los cuerpos de agua de diferentes procedencias. En cambio, un bioindicador es característico de un ambiente, que cuando mide, cuantifica la magnitud del estrés, las características del hábitat y el grado de exposición al estresor o el grado de respuesta ecológica a la exposición (Cairns *et al.*, 1993).

De acuerdo con González-Zuarth & Vallarino (2014), los bioindicadores añaden un componente temporal que es delimitado por la duración de su vida o el tiempo durante el cual permanecen en la localidad de estudio, permitiendo la integración de las condiciones pasadas, presentes o actuales, que se sustenta en la medición de presencia o ausencia de organismos específicos, mientras que las mediciones químicas y físicas sólo caracterizan las condiciones en el momento del muestreo. En tal sentido, la determinación de las concentraciones de los contaminantes en el

ambiente no refleja necesariamente la concentración de éstos en los organismos debido a que:

1. Una buena proporción de los contaminantes no entra a los organismos,
2. Algunos contaminantes persisten poco tiempo en el ambiente, pero se acumulan en los organismos.

Por lo que, mediante el estudio de los bioindicadores es posible conocer la biodisponibilidad de los contaminantes (fracción que llega a incorporarse a un organismo), así mismo las concentraciones a las que se exponen los organismos pueden ser tan bajas que para detectarlas por los métodos tradicionales, se necesitaría usar tecnología de alta sensibilidad posiblemente a un costo elevado y con técnicas complejas (Gorza, 2009). Sin embargo, basta la observación de la conducta de los organismos bioindicadores para poder detectarlas. Además, de acuerdo al rango particular de tolerancia de las distintas especies bioindicadoras, se puede determinar si dichas concentraciones realmente tienen repercusiones sobre ellas.

Los organismos en la naturaleza rara vez se ven afectados por un solo contaminante. Determinar los efectos conjuntos de éstos, es imposible de hacer mediante los análisis químicos tradicionales. Sin embargo, mediante el estudio de los bioindicadores, se provee información sobre la exposición durante un periodo largo y se involucra la interacción de los contaminantes a través de los efectos aditivos, sinérgicos y antagónicos, así como evaluar procesos como la bioactivación y la desintoxicación, que son incapaces de analizarse mediante los métodos químicos tradicionales, los cuales solo proporcionan información acerca de las condiciones que existen en el instante en que se obtiene la muestra, lo cual provoca datos discontinuos y parciales (González-Coto, 2014).

Los bioindicadores pueden advertir del efecto de ciertos estresores ambientales como las especies invasoras, la fragmentación del hábitat, la sobreexplotación de los recursos o el impacto de las densidades poblacionales sobre el ambiente, que son difíciles de evaluar por otros métodos (González-Zuarth & Vallarino, 2014).

1.2 Poliquetos

El fondo marino alberga una miríada de organismos que viven dentro o sobre esta inmensa área, desde las costas donde rompen las olas hasta las grandes profundidades oceánicas. El fondo marino está habitado por animales que en conjunto forman lo que llamamos bentos. Entre los grupos más relevantes se encuentran los poliquetos, crustáceos, equinodermos y moluscos (Carrasco, 2004).

Los poliquetos también conocidos como gusanos segmentados son organismos invertebrados de cuerpo blando, éstos se distinguen del resto de anélidos por poseer una pronunciada diferenciación en alguno de los segmentos, tienen una cabeza bien diferenciada donde confluyen numerosos órganos sensoriales especializados, presentan parapodios en la mayor parte de los segmentos, los cuales poseen muchas setas (Hickman, Roberts & Larson, 1997).

Entre los anélidos, los poliquetos se consideran la clase más diversa y abundante con alrededor de 15,000 especies nominales, donde la mayoría son marinos y se distribuyen desde la zona intermareal hasta profundidades abisales. La fauna mexicana contiene 1500 especies de poliquetos clasificadas en 63 familias y 460 géneros (Tovar-Hernández *et al.*, 2014). Estos organismos pueden llegar a conformar el mayor componente biótico de la infauna marina, ya que pueden llegar a representar hasta el 80%, del total de individuos (Blake, 1994) y llegar a constituir entre el 25 y el 65% del total de las especies presentes en el bentos (Hernández-Alcántara, 2002).

1.2.1 Poliquetos como bioindicadores

Los impactos que conlleva un determinado nivel de desarrollo socioeconómico han ocasionado una serie de cambios y trastornos no sólo en los ecosistemas terrestres involucrados y aledaños, sino también, en las comunidades biológicas que habitan las zonas inter y submareal, los sedimentos marinos y la columna de agua (CPPS/PNUMA, 1999), los cuales han propiciado con el paso de los años el desarrollo de técnicas y metodologías que favorecen el control ambiental casi en tiempo real (Salazar-Vallejo, 2000). La necesidad de descubrir organismos vivos (plantas o animales) resistentes o sensibles a diferentes tipos de perturbación ambiental, denominados Bioindicadores (Hawksworth *et al.*, 2005), que permitan validar o predecir, con su sola presencia o ausencia, o de acuerdo a la manifestación de su conducta o de alguno de sus atributos ecológicos, brindar información sobre que determinadas condiciones climáticas, ambientales (físico-químico), biológicas (orgánico) o de causa e influencia antrópica, están dominando o registrándose en un sistema dado, ha cobrado mayor relevancia y dado paso a la tarea, ya no de evitar el daño sino de evaluarlo en cuanto a su grado y proyección futura, cuanto se detecta y conoce.

El reconocimiento de la importancia del uso de poliquetos como organismos indicadores capaces de reflejar cambios de presencia/ausencia y una condición y/o comportamiento particular, sobre la salud de un ecosistema cuando éste es sometido a una tensión o estrés ambiental, que sin importar los factores que la causen, ocasionan cambios cuantitativos y cualitativos en la estructura y el funcionamiento de las comunidades, ha sido de gran aporte en la investigaciones científicas, ayudando y permitiendo la simplificación y síntesis de datos complejos, facilitando la transmisión de la información (Dauvin *et al.*, 2010). Hasta hace algunas décadas estos animales pasaban prácticamente desapercibidos, salvo para los taxónomos. En la actualidad se considera que los poliquetos constituyen un grupo de notable importancia, debido a su abundancia, fisiología, aporte energético y respuestas ante agentes perturbadores (Liñero-Arana & Díaz-Díaz, 2011), debido a que como no pueden escapar de los contaminantes, reaccionan ante ellos

directamente, es decir, mueren o sobreviven. En este último caso, llegan a proliferar en esos medios, según las especies y la capacidad de adaptación o de resistencia.

El análisis de la estructura de las comunidades bénticas y la evaluación continua de la misma, especialmente en regiones tropicales, son utilizados frecuentemente en los estudios de línea de base conducentes a determinar los efectos de la contaminación (Liñero-Arana & Díaz-Díaz, 2011), sin embargo, en ocasiones, la contaminación ni siquiera es detectable por medios químicos convencionales. En esos casos, los poliquetos son útiles, pues al recibir constantemente cantidades pequeñas de contaminantes como cianuro y de metales pesados como Zinc, aluminio, vanadio y plomo, los asimilan en forma acumulativa y pueden morir. Ahora bien, si estos elementos no los matan, las especies resistentes pueden ocupar el lugar dejado por las especies eliminadas, y entonces proliferan más en esos sitios. El alto grado de sensibilidad mostrado por algunas especies de poliquetos a cambios en las condiciones físico-químicas del medio que habitan, además de su abundancia, riqueza de especies, y gran permanencia en el bentos, los convierte en candidatos ideales como indicadores de perturbación ambiental o para la evaluación de impactos ambientales, posicionándolos como una herramienta valiosa de estudios que ayudan a medir el grado de contaminación, integrado información sobre su hábitat, pues el sedimento atrapa y almacena contaminantes temporalmente; de esta forma, los poliquetos y otros organismos bentónicos presentes en este sustrato, deben resistir perturbaciones ambientales (por ejemplo, aumento de la materia orgánica suspendida, o disminución del oxígeno disuelto) (Salazar-Vallejo, 2000). No obstante, algunas especies de poliquetos han demostrado una elevada resistencia a contaminantes orgánicos, por lo que se convierten en candidatos óptimos para experimentos ecotoxicológicos (Dean, 2008), ya que gracias a sus patrones de vida y formas de alimentación, pueden reciclar gran parte de la materia orgánica de la zona litoral, modificar el fondo marino, la concentración de gases disueltos, la mezcla del agua intersticial, la consistencia de los sedimentos y la dinámica de los contaminantes (Dgcs-Unam, 2008).

En tal sentido, es conveniente tener presente que particularmente para los poliquetos es difícil encontrar una especie única que pueda ser considerada como indicador biológico de un ambiente bentónico, porque cada región geográfica responde de forma propia a las condiciones ambientales, al igual que sus especies, por lo tanto la selección de la especie más apropiada de poliqueto dependerá de los objetivos de una evaluación particular o de un programa de monitoreo, pues pueden variar según el estado de los ecosistemas, la estructura del lugar y las condiciones socioeconómicas y políticas. Por otro lado, se debe tener en cuenta que ninguna especie indicadora satisface todos los requerimientos (Polanía, 2010). Sin embargo, debido a su importancia, cada vez más reconocida, los poliquetos no pueden faltar en ningún estudio de bentos marino, ya sea taxonómico, ecológico o de impacto ambiental.

Tabla 1. Especies de poliquetos indicadoras de contaminación.

Familia	Especie	Indicador (Raz-Guzmán 2000)	Indicador (Ibáñez et al. 1984)
Capitellidae	<i>Capitella capitata</i> (Fabricius, 1780)	MO; colonizadora y oportunista	BS; CG
	<i>Capitita ambiseta</i> (Hartman, 1947)	MO	
	<i>Decamastus gracilis</i> (Hartman, 1963)	H	
	<i>Heteromastus filiformis</i> (Claparède, 1864)	MO	
Cirratulidae	<i>Aphelochaeta multiformis</i> (Moore, 1909)	H	
	<i>Chaetozone setosa</i> (Malmgren, 1867)	MO	
Cossuridae	<i>Cossura brunea</i> (Fauchald, 1972)	AC; especie eurihalina	
Eunicidae	<i>Nematonereis unicornis</i> (Grube 1840)	MO	
	<i>Lumbrineris tenuis</i> (Verril, 1873)	H	
Glyceridae	<i>Glycera alba</i> (Müller, 1776)	MO	
	<i>Nephtys incisa</i> (Malmgren, 1865)	H	
Nereididae	<i>Neanthes japonica</i> (Izuka, 1980)	AR	
	<i>Neanthes virens</i> (Sars, 1835)		CG
	<i>Nereis arenaceodentata</i> (Moore, 1903)	H	
	<i>Nereis diversicolor</i> (Müller, 1776)		BS; CG
	<i>Micronereis variegata</i> (Claparède, 1863)		Con diferentes requerimientos
	<i>Perinereis nuntia vallata</i> (Grube, 1857)	MO; AD	
	<i>Stenonereis martini</i> (WesenbergLund, 1958)	ANOX y HIPOX	
Opheliidae	<i>Armandia brevis</i> (Moore, 1906)	MO	
	<i>Ophelina acuimata</i> (Ørsted, 1843)	H	
Paranoidae	<i>Aricidea simplex</i> (Day, 1963)	H	
Pilargidae	<i>Paradalia ocularis</i> (Emerson y Fauchald, 1971)	HA, NI, V	
	<i>Sigambra bassi</i> (Hartman, 1945)	HA	
Serpulidae	<i>Ficopomatus enigmaticus</i> (Fauvel, 1923)		BS; CG
Spionidae	<i>Polydora cornuta</i> (Bosc, 1802)	MO	
	<i>Scolelepis fuliginosa</i> (Claparède, 1870)	MO	CG

Materia Orgánica (MO), Hidrocarburos (H), Hidrocarburos Aromáticos (HA), Níquel (NI), Vanadio (V), Aguas Residuales (AR), Aguas de Drenaje (AD), Anoxia (ANOX), Hipoxia (HIPOX), Contaminación General (CG), Baja Salinidad (BS), Ambientes Contrastantes (AC).

Fuente: Ibáñez et al. (1984) y Raz-Guzmán (2000).

1.2.2 La importancia de los poliquetos y su papel en las comunidades bentónicas

Los poliquetos desempeñan un papel crucial en la cadena alimentaria marina bentónica, pues además de reciclar la materia orgánica de los sedimentos y ayudar en la descomposición del material vegetal, son la alimentación principal de una amplia gama de organismos (Glasby *et al.*, 2000).

Son uno de los grupos de invertebrados bentónicos con mayor riqueza de especies, considerándolos como un grupo dominante en abundancia y biomasa, por lo que se han usado como indicadores de la calidad ambiental o de contaminación (Salazar-Vallejo, 1991). En tal sentido, entre los grupos bentónicos, los poliquetos son uno de los indicadores de perturbación ambiental con mayor relevancia (Reish, 1986), ya que comprenden tanto especies sensibles como tolerantes a las perturbaciones y ocupan desde zonas prístinas hasta los ambientes altamente perturbados no tolerados por otra fauna (Long & Chapman, 1985; Zenetos & Bogdanos, 1987; Belan, 2003).

1.2.3 Generalidades de los poliquetos

Morfología

El cuerpo de los poliquetos se divide en tres regiones básicas (Fig. 1). La anterior o acrón está formada por el prostomio y el peristomio, que por lo general lleva una serie de órganos sensoriales que incluyen ojos u órganos nucleares, antenas, palpos y órganos bucales. A continuación se halla el tronco, soma o metastomio, con los segmentos que generalmente portan los pies laterales o parápodos. La región metastomio puede ser homómero o heterómero. Se dice que es homómero si los segmentos y los apéndices asociados a los parápodos (cirros, branquias, setas) son muy similares entre sí, y es heterómero cuando puede separarse en regiones, tórax y abdomen, con diferencias en forma de los parápodos y setación, por último el extremo posterior que porta el ano y el cual se denomina pigidio (Salazar-Vallejo *et al.*, 2009).

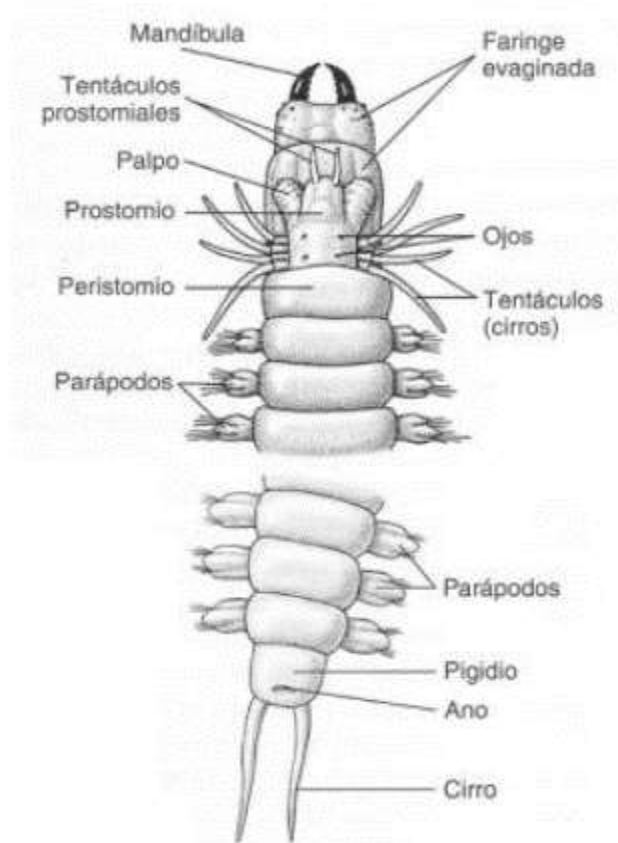


Figura 1. Diagrama simplificado de las estructuras de un poliqueto (Modificado de Hickman).

Alimentación

De acuerdo con Blake (1994), las formas de alimentación de los poliquetos están estrechamente relacionadas con su forma de vida, de manera que los de vida libre (errantes) tienden a ser carnívoros, carroñeros u omnívoros, mientras que algunos detritívoros y filtradores tienden a ser sedentarios y forman tubos, aunque existen excepciones. Los carnívoros se alimentan de una gran variedad de organismos, incluso otros poliquetos y suelen capturar presas vivas o muertas mediante faringes musculares, a menudo con mandíbulas robustas. Los filtradores disponen de estructuras filtradoras ubicadas en la cabeza lo cual extraen el alimento de la columna de agua. En el caso de los detritívoros extraen el alimento del sedimento. Dentro de este grupo, se distinguen los consumidores de depósito de superficie que toman las partículas alimenticias de la superficie del sedimento con sus palpos o tentáculos y los consumidores de depósito de sub-superficie, los cuales se entierran

dentro del sustrato blando para alimentarse de las capas inferiores de sedimento. Los herbívoros, omnívoros y carroñeros son especies con mandíbulas, las cuales se encuentran en la faringe evaginada como se demuestra en la Figura 1. Entre las especies de poliquetos hay herbívoros, que emplean sus mandíbulas para rascar la cobertura de algas de la superficie de las rocas. Los poliquetos omnívoros se alimentan de algas, detritos y otros invertebrados.

Hábitat

Los poliquetos ocupan y viven en una amplia variedad de sustratos marinos incluyendo sedimentos blandos, rocas, conchas, arrecifes y en la columna de agua pelágica donde contribuyen a las comunidades de meroplancton y holoplancton, no obstante se conocen seis familias holopelágicas que transcurren toda su vida en la columna de agua (Blake, 1994). Los poliquetos son un grupo esencialmente marino y estuarino, muy pocos habitan en agua dulce y ambientes terrestres húmedos. Hay ciertas especies que viven en agua dulce como algunas de la familia Spionidae (Díaz-Castañeda & Reish, 2009).

Modo de Vida

Knox (1985), menciona que los poliquetos, basado en su modo de vida, pueden ser divididos en dos sub-clases, los errantes y los sedentarios. Los poliquetos errantes son de vida libre, con una gran actividad locomotora que se traduce en continuos desplazamientos. Pueden ser pelágicas, otras que reptan activamente sobre el sustrato. Algunos excavan activamente en la arena o en el fango, y otros construyen tubos en los que habitan. Ciertas especies de poliquetos tubícolas, abandonan parcial o completamente sus tubos en busca de alimento o en la estación reproductora. De acuerdo con Arteaga-Flórez & Londoño-Mesa (2015), los neréididos son la familia de poliquetos errantes más representativos. En el caso de los poliquetos sedentarios, típicamente son excavadores o tubícolas. Estas especies se mueven mediante ondas de contracción peristáltica gracias a que tienen musculatura circular bien desarrollada.

1.3 Antecedentes

1.3.1 A nivel internacional

El estudio de los poliquetos ha cobrado interés en los últimos años, produciendo una considerable cantidad de información acerca de su sistemática, ecología y biología (Fauchald, 1984). Una parte importante del aumento en el conocimiento de este grupo se ha derivado de los estudios de línea de base y de monitoreo utilizados en las evaluaciones de impactos ambientales. El estudio de la infauna, de la cual forman parte importante los poliquetos, es un elemento clave para los programas de monitoreo marinos y estuarinos, y superior a otros grupos biológicos (plancton, peces, aves marinas) puesto que son sedentarios y deben adaptarse al estrés de la contaminación o de lo contrario mueren (Bilyard, 1987). En algunos países la evolución histórica de los estudios sobre poliquetos ha tenido mayor relevancia.

En Colombia, los estudios con poliquetos han sido escasos, si se compara lo realizado entre el Caribe y el Pacífico, ya que hay mucha información para el Caribe, pero escasa para el Pacífico, pese a que este último fue en donde se iniciaron los estudios para Colombia (Londoño-Mesa, 2017), y los cuales se han desarrollado mayormente en la zona norte del país con un énfasis taxonómico; sin embargo, se han realizado algunos estudios sobre el carácter indicador de los poliquetos. Para el Pacífico, Lucero-Rincón *et al.* (2008) evaluaron la relación existente entre la cantidad de sedimentos que se encuentran en la desembocadura del cauce del río Anchicaya y el crecimiento de la macrofauna bentónica entre las zonas de Taparal y Soldado (Buenaventura). La abundancia de poliquetos de la familia Capitellidae se relacionó con la alta carga de sedimentos transportada por el río. Por su parte, para el Caribe, Fernández-Rodríguez y Londoño-Mesa (2015) consideran a *C. capitata*, *Ficopomatus uschakovi* y *N. succinea* especies indicadoras por su tolerancia a la contaminación por materia orgánica, luego de un estudio realizado en bahía Marrisirío y ensenada de Rionegro, golfo de Urabá, en el que se relacionaron los parámetros fisicoquímicos de la columna de agua y la abundancia de las especies encontradas.

En Ecuador, las investigaciones realizadas sobre los poliquetos, al igual que otros países de Centro y Sudamérica reflejan una escasez de estudios taxonómicos. Trabajos publicados sobre la taxonomía, identificación y distribución de los poliquetos bentónicos en la zona intermareal continental del Ecuador se han realizado en forma esporádica, al igual que algunos estudios para determinar la relativa abundancia y biodiversidad de estos organismos considerados importantes en los sustratos marinos y estuarinos. En un estudio realizado por Monserrate & Medina (2011), se reportaron la presencia de oligoquetos del género *Monopylephorus* y poliquetos del género *Nereis* que dominan la zona intermareal del sistema estuarino “Estero Salado” caracterizado por una compleja red de drenajes, que de acuerdo con otros trabajos realizados por Holland *et al.* (2004); Gillet, Holland & Sanger (2005); Figueroa, Valdovinos, Arana & Parra (2003), son considerados organismos tolerantes a condiciones de estrés. Adicionalmente, los organismos más abundantes pertenecientes a individuos de la familia Tubificidae y especie *Capitella* spp. han sido reportados como indicadores de nivel de anoxia; y especies de los géneros *Nitokra*, *Nephtys* y *Nereis* como tolerantes a nivel hipoxia. Por otro lado con la expedición “R/V EASTWARD” de los EE.UU. en el año 1976, se inició el estudio del bentos marino en el área del Golfo de Guayaquil (Ecuador), cuyos resultados fueron publicados en la revista “Acta Oceanográfica del Pacífico” (1983).

Para el caso de Perú, la evolución histórica del conocimiento de los poliquetos ha sido limitada y poco diversificada; debido a que, desde los primeros trabajos realizados en el siglo XIX hasta la actualidad, son pocos los avances en cuanto al conocimiento generado sobre este grupo de anélidos, principalmente en taxonomía, biodiversidad y ecología, sobre todo si se compara con otros grupos de invertebrados, donde las investigaciones en Perú han presentado un esfuerzo más sostenido, teniendo en cuenta que la biodiversidad del ecosistema marino peruano es de especial interés, dada las condiciones atmosféricas y oceanográficas particulares, entre las que se puede mencionar al sistema de surgencias de la corriente de Humboldt considerado como el ambiente marino con mayor complejidad, variabilidad y productividad del mundo (Tarazona *et al.*, 2003), donde

los invertebrados son considerados el grupo con grandes retos de investigación en el campo de la taxonomía y biodiversidad (Aguirre & Canales, 2017). Los avances de la ecología marina en Perú también han contribuido considerablemente al conocimiento de la interacción de los poliquetos y su entorno, teniéndose distintos estudios desde la década de los setenta hasta la actualidad, entre estos estudios se pueden mencionar las investigaciones realizadas por Peña *et al.* (2006) que demostró que eventos a gran escala como los eventos “El Niño” pueden favorecer el incremento poblacional de algunas especies de poliquetos.

En Uruguay la investigación científica sobre anélidos poliquetos es muy incipiente, ya que los primeros registros publicados para el país datan de finales del siglo XIX (Muniz, Rodríguez & Kandravictus, 2017). Sin embargo existen grandes aportes al conocimiento de los poliquetos de ambientes uruguayos que se deben destacar; el trabajo pionero de Scarabino (2006) sobre faunística de organismos bentónicos de la zona costera de Uruguay en el cual reportó 200 especies de poliquetos (pertenecientes a 28 familias). Por su parte, Liñero-Arana (2000) al igual que Scarabino, señala que el conocimiento que se posee sobre la biota marina venezolana, especialmente en invertebrados marinos es imperceptible, considerando el número de especies registradas hasta la actualidad y que, a pesar de los numerosos esfuerzos aislados, el grado de conocimiento taxonómico y faunístico sigue siendo aislado y fragmentado, y que la falta de estudios taxonómicos en Venezuela e incluso para la mayoría de los países latinoamericanos, obedece, principalmente a la escasez de taxónomos.

Algunos estudios realizados en las últimas cuatro décadas relacionadas con la evaluación de posibles impactos ambientales, han generado un cúmulo considerable de información sobre aspectos bióticos y abióticos, pero lamentablemente, mucha de ésta permanece inédita en informes técnicos. Y por otro lado, muchos de los análisis taxonómicos de estas comunidades, por lo general no son confiables, debido a que carecen de precisión taxonómica, produciendo falsas estimaciones y en consecuencia interpretaciones erróneas de los cambios que se producirían ante las perturbaciones ambientales ya sea de manera natural o antropogénica (Kim & Byrne, 2006).

1.3.2 A nivel nacional

En México, los estudios de los invertebrados bentónicos “poliquetos” no es relativamente reciente, los cuales comenzaron como una actividad colateral de otros estudios de índole muy diversa: taxonomía, ecología, acuicultura, etc. Sin embargo, éstos trabajos son escasos por diversos motivos, entre ellos; la falta de información y problemas financieros principalmente (Gámez, Sánchez & Díaz-Gaxiola, 2014).

La gran mayoría de los trabajos publicados sobre poliquetos del litoral mexicano, son de carácter meramente faunístico o taxonómico, la historia de los estudios más relevantes sobre análisis faunísticos, de acuerdo a Tovar-Hernández *et al.*, 2014 se encuentran documentados en trabajos realizados por Salazar-Vallejo *et al.*, 1989, en el cual se menciona que la Costa del Estado de Baja California Sur presenta alrededor de 760 especies de poliquetos, que comprenden alrededor del 69% de la fauna poliquetológica registrada para los litorales mexicanos (Fernández-Álamo, 1994; Solís-Weiss y Hernández-Alcántara, 1994). Así mismo, los trabajos de mayor importancia en cuanto al número de especies fueron realizados por el Dr. Enrique Rioja, considerado el primer poliquetólogo presente en México, quien publicó ampliamente sobre los poliquetos (dos publicaciones, 1947 y 1963), especialmente en el océano Pacífico y golfo de California, en los cuales se incluyeron 46 especies, ya fueran nuevos registros o como descripciones de nuevas especies (Salazar-Vallejo, 1988). Otros trabajos destacables son los realizados por Hartman (1968-1969) donde se incluyen numerosas especies de las costas mexicanas, los trabajos e investigaciones realizadas por Hartman hoy en día son indispensables para la literatura de poliquetos. En el estado de Sinaloa, específicamente en la Secretaría de Marina (1984) se realizó un estudio sobre flora y fauna bentónica en el Sistema Lagunar Topolobampo donde se encontraron 165 organismos, con un total de 19 especies pertenecientes a la clase Polychaeta. Por otro lado Soto (2001) realizó una investigación en la cual trató de demostrar la participación de los poliquetos de la familia Spionidae como intermediarios en el ciclo de vida de las gregarinas (Protozoa: Apicomplexa) que infectan a *Litopenaeus vannamei*. Estos fueron

algunos de los trabajos que dieron la pauta para el uso de los poliquetos como organismos capaces de reflejar los cambios en la calidad de su ambiente.

En México las investigaciones dirigidas al estudio de organismos bioindicadores en invertebrados marinos, principalmente en poliquetos se ha ido incrementando, sin embargo y pese a los avances, estos trabajos siguen siendo escasos. La relación entre las variables ambientales y la macrofauna de los fondos profundos ha sido objeto de diversos estudios realizados en diferentes áreas geográficas desde las últimas décadas. En tales estudios se han destacado la importancia de ciertas variables ambientales en la distribución, la abundancia, el número de especies y la diversidad de la macrofauna bentónica de diversos sistemas acuáticos. Méndez (2012) señala que las variables más estudiadas han sido la profundidad, la temperatura, la concentración de oxígeno disuelto, la cantidad de materia orgánica en el sedimento y el tamaño de las partículas del sedimento. Sin embargo, hace hincapié en que la importancia de dichas variables está en función del grupo estudiado y de las condiciones ambientales prevalecientes en las diferentes regiones.

Raz-Guzman (2000), señala que las causas principales de perturbación ambiental en los ambientes acuáticos incluyen temperaturas elevadas, pH elevado o reducido, condiciones de hipoxia y anoxia, sustancias tóxicas (insecticidas, metales pesados), hidrocarburos y materia orgánica. Los cambios en los parámetros fisicoquímicos normales en un ambiente acuático afectan la estructura y función de las comunidades florísticas y faunísticas del bentos, por lo que los estudios antes y después de una perturbación ambiental, son posibles mediante el uso de organismos indicadores, tales como los poliquetos, dada su rápida respuesta. Por su parte las investigaciones realizadas por el Instituto Politécnico Nacional en colaboración con el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C y el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, en el libro titulado Estudios Ecológicos en Bahía Magdalena se encuentran documentados la interacción de los diferentes procesos oceanográficos que ocurren en el área nerítica adyacente a la bahía y en su interior, y cómo ésta dinámica oceanográfica influencia la biodiversidad y las

variaciones de la abundancia espacio-temporal de los organismos que en ella habitan, donde se considera que los poliquetos son un componente dominante de las comunidades marinas, y que el conocimiento de la poliquetofauna y de otros invertebrados marinos, no sólo en Bahía Magdalena, sino en todo el litoral mexicano, es muy escaso, pues los poliquetos son organismos que constituyen una excelente herramienta para describir cambios en el espacio y en el tiempo.

1.3.3 A nivel local

En los últimos años se han llevado a cabo diferentes estudios para determinar la contaminación en la Bahía de Chetumal. Pocos han sido los avances que se han obtenido para determinar el nivel de contaminación y las afectaciones en la biota acuática, a lo largo de la columna de agua en los diferentes niveles de la red trófica y específicamente en los sedimentos.

En cuanto a estudios de la macrofauna béntica principalmente en la zona litoral con un enfoque descriptivo de la fauna está la de Salazar Vallejo *et al.* (1991). De igual manera, se han realizado diferentes estudios por instituciones oficiales sobre el impacto de las descargas de aguas residuales directamente en la bahía de Chetumal, entre los que se encuentran los de Ortiz y Sáenz (1995) quienes encontraron que los coliformes fecales rebasaron los valores señalados en la norma oficial vigente, en la mayoría de las áreas utilizadas por el público para actividades recreativas y de pesca. Así mismo, en 1996 realizaron estudios que afirmaron el aporte de detergentes y ortofosfatos provenientes de las descargas urbanas (Ortiz y Sáenz, 1996).

Por otro lado se han realizado estudios con un enfoque descriptivo de los sedimentos en la bahía de Chetumal, sobre la distribución de los sedimentos y su contenido de materia orgánica (Navarrete *et al.* 2000). En cuanto a estudios enfocados en la relación de la infauna béntica con el contenido de materia orgánica están los de Kuk Dzul (2007), sobre los poliquetos del sustrato arenoso como posible bioindicadores de enriquecimiento por materia orgánica y los de González

et al. (2009) quienes consideraron que dos especies de poliquetos presentaron atributos para usarse como potenciales indicadores de contaminación orgánica. Los procesos de sedimentación toman un papel muy importante ya que contribuyen a los cambios estructurales de la fauna béntica, por lo tanto estos mismos pueden ser utilizados como indicadores de perturbación a causa de la contaminación.

Otro estudio realizado por Delgado-Blas, Hernández y Kuk (2011) sobre la “Distribución espacial y temporal de poliquetos (polychaeta: annelida) de la bahía de Chetumal, Quintana Roo” se concluyó que en la bahía de Chetumal existen diferencias en la estructura de las poblaciones de poliquetos, sin embargo estas diferencias no pudieron ser explicadas en su totalidad por las variables de salinidad y materia orgánica que prevalece en el área estudiada.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 Área de estudio

El presente estudio se realizó en la Bahía de Chetumal, una de las más extensas de México; situada entre las coordenadas 18° 33' Norte y 88° 08' Oriente en el extremo Sur del Estado de Quintana Roo, al Sureste de la península de Yucatán y es compartida geográfica y políticamente por México y Belice.

La bahía de Chetumal es un cuerpo de agua semi-cerrado, muy extenso (~2,560 km², incluyendo el área de Belice), relativamente somero, con una profundidad promedio de 4m, oligotrófico y con agua salobre en su parte interna. Se encuentra comunicada al Mar Caribe y rodeada de flora y fauna asociadas a comunidades tropicales de humedal, manglar y diversos tipos de vegetación terrestre, como las selvas bajas y medianas (Espinoza, Islebe & Hernández, 2009).

El sistema lagunar de la bahía de Chetumal tiene forma semi-alongada (Fig. 2), con ~110 km de largo y un ancho de ~20 km en promedio (mínimo de 5 km en la cabeza y máximo de 49 km en su parte media), el cual es considerado como un sistema dinámico, en el que ocurren diversos procesos físicos que conforman un escenario para la vida faunística, florística y antropogénica (Carrillo, Palacios-Hernández, Ramírez & Morales-Vela, 2009).

Las características climáticas de la bahía de Chetumal corresponden a las de una región tropical. Sin embargo, las condiciones locales de vegetación, brisas, orografía y cercanía al mar, hacen variar los valores de los parámetros meteorológicos de aquellos que puedan encontrarse en alguna clasificación.



Figura 2. Bahía de Chetumal (Área de estudio).
Fuente: Elaboración propia

2.2 Materiales y Métodos

2.2.1 Métodos de campo

Se realizó la recolecta de muestras en la época climática de nortes (noviembre a febrero), con el propósito de determinar las diferencias en las poblaciones de poliquetos presentes en las comunidades bentónicas y las variables fisico-químicas del área de estudio. La recolecta se realizó a finales de la época climática: febrero 2018.

Se seleccionaron 10 estaciones a lo largo de la Bahía de Chetumal para la recolección de las muestras por el cual en cada estación se tomaron cuatro réplicas. En cada estación se ubicaron cuatro sitios de muestreo al azar entre 10 y 20 m de distancia de la línea de costa. Se hizo referencia a las estaciones por sus respectivos números (1-10) (Fig. 3).

En cada estación se tomaron cuatro unidades muestrales por medio de un nucleador de PVC de 11 cm de diámetro y 24 cm de largo. De las cuatro muestras que se obtuvieron una se empleó para la determinación de materia orgánica y el análisis granulométrico, las tres fracciones restantes para la identificación de poliquetos. Adicionalmente los análisis fisicoquímicos de la columna de agua se realizaron *in situ* y se registraron oxígeno disuelto, pH, temperatura, conductividad y salinidad.

Cada muestra se tamizó empleando dos mallas de 1.0 y 0.5 mm para retener la macrofauna. Todos los organismos que se encontraron se colocaron en frascos etiquetados para luego ser fijados con formaldehído al 10%. Las muestras de sedimento para el análisis granulométrico y de materia orgánica se mantuvieron en refrigeración y sin ningún aditamento.

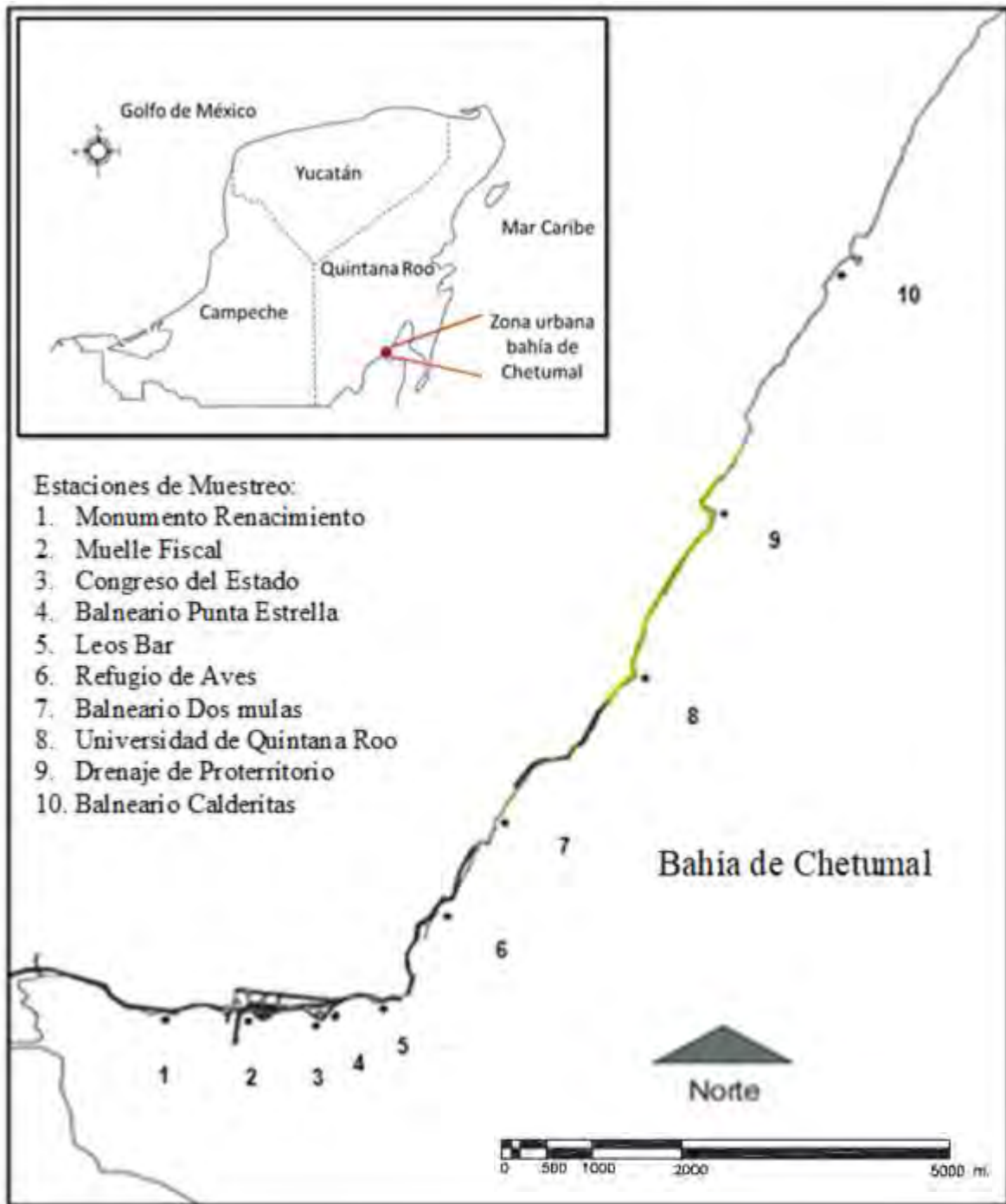


Figura 3. Ubicación de las estaciones de muestreo en la zona urbana de la Bahía de Chetumal, Quintana Roo. Elaboración Propia.

2.2.2 Métodos de Laboratorio

Las muestras se lavaron con abundante agua de llave para quitar el exceso de formol luego se preservó en alcohol isopropílico al 70%. Mediante la consulta de literatura especializada los organismos se identificaron a nivel familia y específica. Las familias y especies de poliquetos analizados se cuantificaron y se pesaron (peso húmedo) para determinar la biomasa, abundancia e índice de diversidad.

Para el análisis del sedimento se empleó métodos estándar. Se realizó el análisis granulométrico utilizando el método de tamizado a través de un mezclador marca RO-TAB RX-29, con la ayuda de siete tamices con aberturas de (1 mm, 710, 355, 150, 106, y 75 μm). Los datos se procesaron con el programa "Análisis Granulométrico de Sedimentos" (Vargas-Hernández, 1991), el cual nos determinó el tipo de sedimento. Se determinó el contenido de materia orgánica empleando la técnica de oxidación en húmedo con dicromato de potasio en medio ácido (Franco López *et al.*, 1989).

2.3 Análisis Ecológico y Numérico

Para la descripción de la comunidad de poliquetos se calcularon el número de familias y especies por estación, abundancia de individuos, el índice de diversidad de Shannon-Wiener y se realizó las curvas comparativas de Abundancia-Biomasa (ABC). Para explorar la relación de especies dominantes con las variables de salinidad y materia orgánica se utilizaron el índice de correlación simple de Pearson y gráficas de dispersión.

2.3.1 Curvas de Abundancia-Biomasa

Las curvas de abundancia-biomasa (ABC) han sido utilizadas para determinar el nivel de alteración o grado de estrés ecológico de las comunidades macro bénticos. Se basa en la comparación de las curvas de abundancia y biomasa de las especies en un mismo gráfico. Las gráficas combinadas de abundancia y biomasa de especies dan lugar a tres posibles formas de representar las condiciones (Fig. 4), cuando la curva de la gráfica de biomasa está por encima de la de abundancia se considera un ambiente no perturbado, cuando las curvas de ambas se cruzan representa un ambiente moderadamente perturbado y cuando la curva de la gráfica de abundancia está por encima de la de biomasa, dominado por un gran número de individuos pequeños, está severamente perturbado (Warwick y Clarke, 1994).

El área entre la curva de abundancia y biomasa (Fig.4) es representada por la variable (w) y conocida como w -statistic (Clarke, 1990). La dominancia de biomasa y una distribución de abundancia equitativa dan un valor de +1 para ambientes inalterados, y en caso inverso con un valor de -1 que refleja un ambiente severamente perturbado.

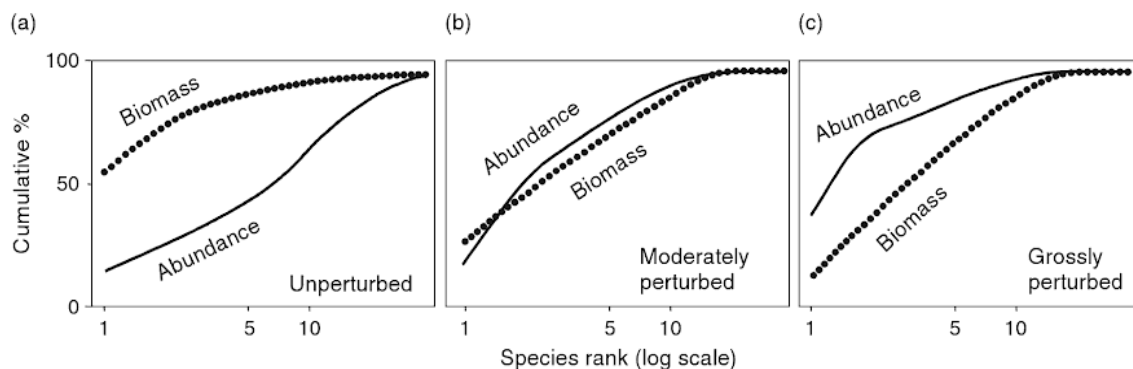


Figura 4. Representación de las tres posibles gráficas de las Curvas ABC (Tomado de Warwick, 2008).

2.3.2 Índice de Diversidad

Índice de Shannon-Wiener

El índice refleja la diversidad de una comunidad sobre la base de dos factores: el número de especies presentes y su equitatividad. El índice aumenta a medida que aumenta el número de especies y los individuos se distribuyen más homogéneamente entre todas las especies (Pla, 2006).

La diversidad de Shannon está dada por:

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

Donde:

H' = valor del índice de Shannon-Wiener.

P_i = proporción del número de individuos de la especie i con respecto al total de individuos (n_i/n).

n_i = número total individuos pertenecientes a la especie i .

n = número total de individuos de todas las especies.

Además, existe una interpretación en la relación entre los valores de diversidad con la contaminación del agua en donde nos dicen que un índice mayor $H > 3$ son aguas limpias y $H < 3$ hay contaminación en el agua (Tabla 2) (Wilhm y Dorris, 1968).

Tabla 2. Relación entre los valores del índice de diversidad con la contaminación del agua.

Valor del Índice de Shannon y Wiener	Interpretación
$H > 3$	Aguas limpias
$H = 2-3$	Aguas ligeramente contaminadas
$H = 1-2$	Aguas mediamente contaminadas
$H = 0-1$	Aguas fuertemente contaminadas

El índice de Shannon usualmente se emplea junto con el de equidad (uniformidad) (J') de Pielou (1975), que es una medida de la uniformidad de la abundancia entre las poblaciones de las especies que integran la comunidad. La equidad asume un valor entre 0 y 1 siendo 1 la uniformidad completa.

La equidad está dada por:

$$J' = H' / H' \text{ máx.}$$

Donde:

H' = índice de Shannon-Wiener

H' máx. = Diversidad de especies bajo condiciones de igualdad máxima.

Asimismo, se calculó la Diversidad Máxima (H' máx.), que es la medida de la diversidad bajo condiciones de máxima equidad, que está dada por:

$$H' \text{ máx.} = \ln(S)$$

Donde:

H' máx. = Diversidad de especies bajo condiciones de igualdad máxima.

S = Número de especies de la comunidad.

2.3.3 Índice de correlación simple de Pearson

El coeficiente de correlación de Pearson (1896) se define en términos de la covarianza de las variables aleatorias X y Y, cuya finalidad es examinar la dirección y fuerza de asociación entre las dos variables cuantitativas (Fallas, 2012; Laguna, 2014). La covarianza es una medida de la variabilidad común de dos variables X, Y, (crecimiento de ambas al tiempo o crecimiento de una y decrecimiento de la otra), es decir, es la expresión numérica que indica el grado de relación existente entre las 2 variables y en qué medida se relacionan (Laguna, 2014).

Este índice solo toma valores comprendidos entre -1 y 1 , y suele representarse por el estadístico " r ", de tal modo que " r " es una medida del tamaño del efecto, que suele interpretarse de la siguiente manera:

Tabla 3. Interpretación general del coeficiente de correlación de Pearson.

Interpretación	Coficiente
Correlación Perfecta	$r = 1$
Correlación Muy alta	$0.80 < r < 1$
Correlación Alta	$0.60 < r < 0.80$
Correlación Moderada	$0.40 < r < 0.60$
Correlación Baja	$0.20 < r < 0.40$
Correlación Muy baja	$0 < r < 0.20$
Correlación Nula	$r = 0$

Fuente: Jiménez-Cornejo, 2018.

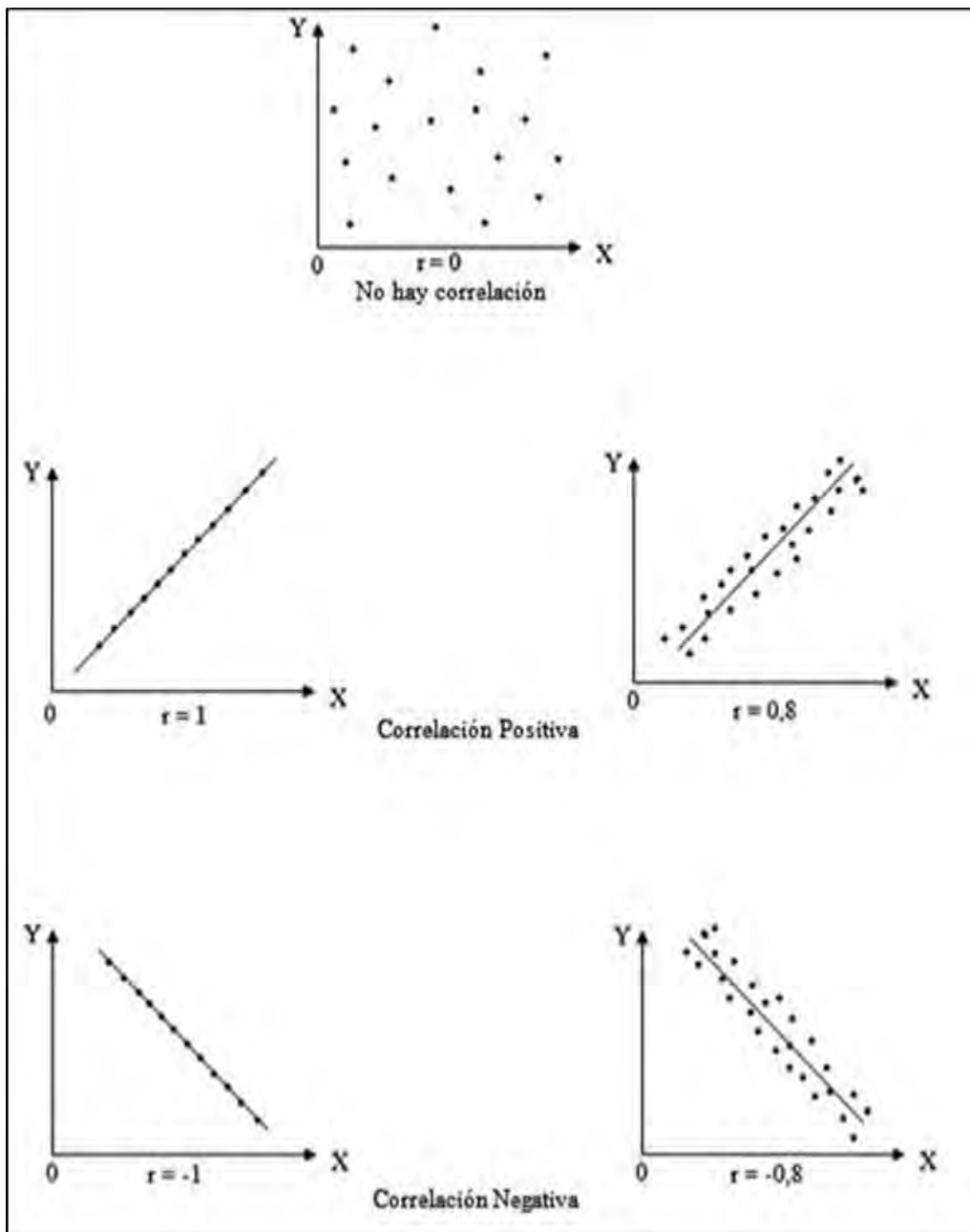


Figura 5. Diagramas de dispersión expresando diferentes tipos de relación.

Con la ayuda de este índice se evaluó la correlación entre los datos de la composición de las comunidades de poliquetos y los datos ambientales. Cada variable se correlaciono con las demás, con el fin de conocer cuales están estrechamente relacionadas.

CAPÍTULO III

RESULTADOS

CAPÍTULO III

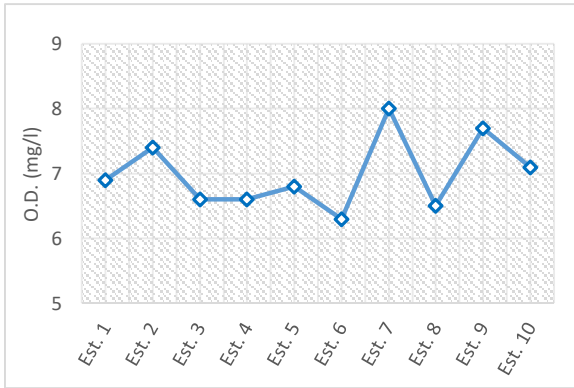
RESULTADOS

3.1 Comportamiento general de los parámetros ambientales por estación

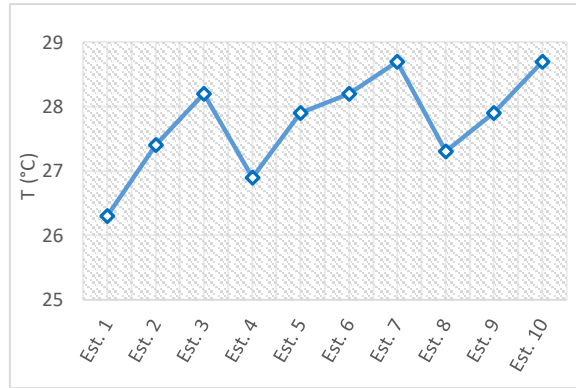
Los valores de los parámetros ambientales registrados en la columna de agua para cada estación se encuentran en la Tabla 4. La temperatura más alta se registró en las estaciones Balneario Dos Mulas y Balneario Calderitas con 28.7 °C y la mínima en el Monumento Renacimiento con 26.3°C, mientras que la conductividad vario entre 5.21 y 19.25 mS/cm. En el pH se observó que no existen cambios drásticos entre estaciones. Con respecto a la salinidad la estación UQROO registro el valor más alto con 10.9 ppm y la estación del Monumento Renacimiento registró el valor más bajo con 2.9 ppm. El comportamiento del oxígeno disuelto fluctuó entre 8 mg/l siendo la más alta en la estación Balneario Dos Mulas y 6.3 mg/l sienta la más baja en la estación Refugio de Aves. Para el contenido de materia orgánica los valores más elevados se presentaron en las estaciones Leos Bar y UQROO con 2.1% y 1.8% respectivamente (Fig. 6A-F).

Tabla 4. Parámetros ambientales registrados por estación.

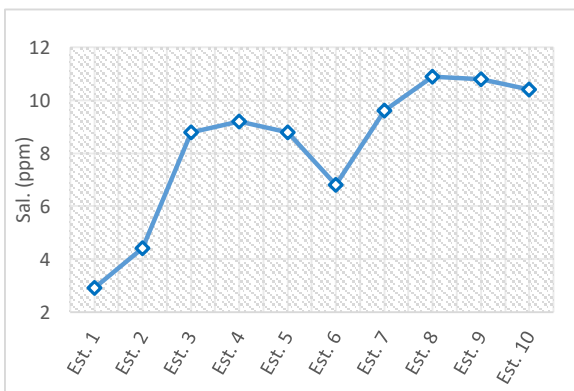
Estaciones	Parámetros					
	Oxigeno D. (mg/l)	T (°C)	Salinidad (ppm)	Conductividad (mS/cm)	pH	M.O. %
Monumento Renacimiento	6.9	26.3	2.9	5.21	8.21	0.72
Muelle Fiscal	7.4	27.4	4.4	9.23	8.13	1.32
Congreso del Estado	6.6	28.2	8.8	15.92	8.09	1.32
Balneario Punta Estrella	6.6	26.9	9.2	18.24	7.98	0.9
Leos Bar	6.8	27.9	8.8	16.32	7.86	2.1
Refugio de Aves	6.3	28.2	6.8	17.93	7.8	1.26
Balneario Dos Mulas	8	28.7	9.6	18.49	7.9	0.84
UQROO	6.5	27.3	10.9	19.25	7.89	1.8
Drenaje de Proterritorio	7.7	27.9	10.8	18.14	7.96	0.9
Balneario Calderitas	7.1	28.7	10.4	18.67	7.93	0.84



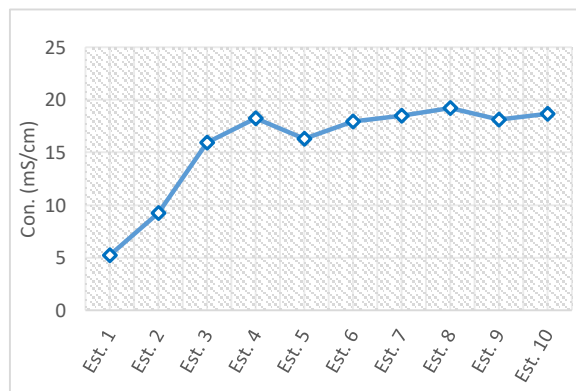
A



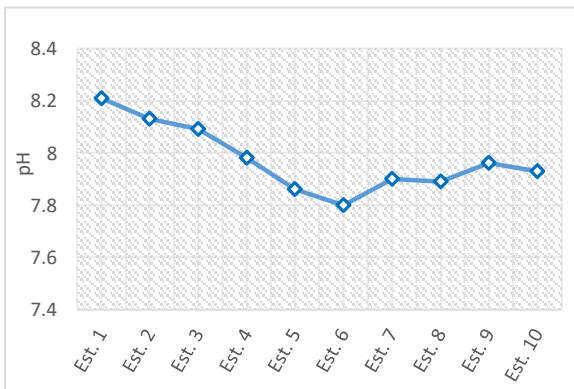
B



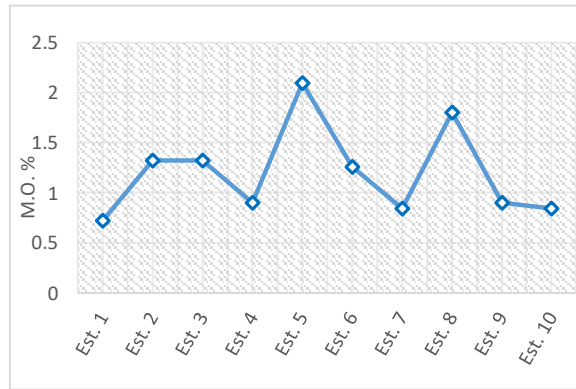
C



D



E



F

Figura 6A-F. Comportamiento de los parámetros ambientales.

3.2 Análisis Granulométrico

La composición del sedimento en la bahía de Chetumal se caracteriza arenoso: Tres estaciones presentaron arena fina, cuatro con arena mediana y tres con arena gruesa (Tabla 5).

Tabla 5. Tipo de sedimento encontrado por estación.

Estación	Tipo de Sedimento
Monumento Renacimiento	Arena fina
Muelle Fiscal	Arena fina
Congreso del Estado	Arena mediana
Balneario Punta Estrella	Arena mediana
Leos Bar	Arena gruesa
Refugio de Aves	Arena gruesa
Balneario Dos Mulas	Arena mediana
UQROO	Arena gruesa
Drenaje de Proterritorio	Arena fina
Balneario Calderitas	Arena mediana

3.3 Relación entre las variables ambientales del área de estudio

La matriz de dispersión muestra gráficamente la relación entre las variables ambientales. Se puede observar que no existe una asociación significativa entre las variables ambientales, sin embargo solamente las variables de conductividad y salinidad presentan una relación muy fuerte, puesto que los puntos no presentaron gran dispersión (Fig. 7).

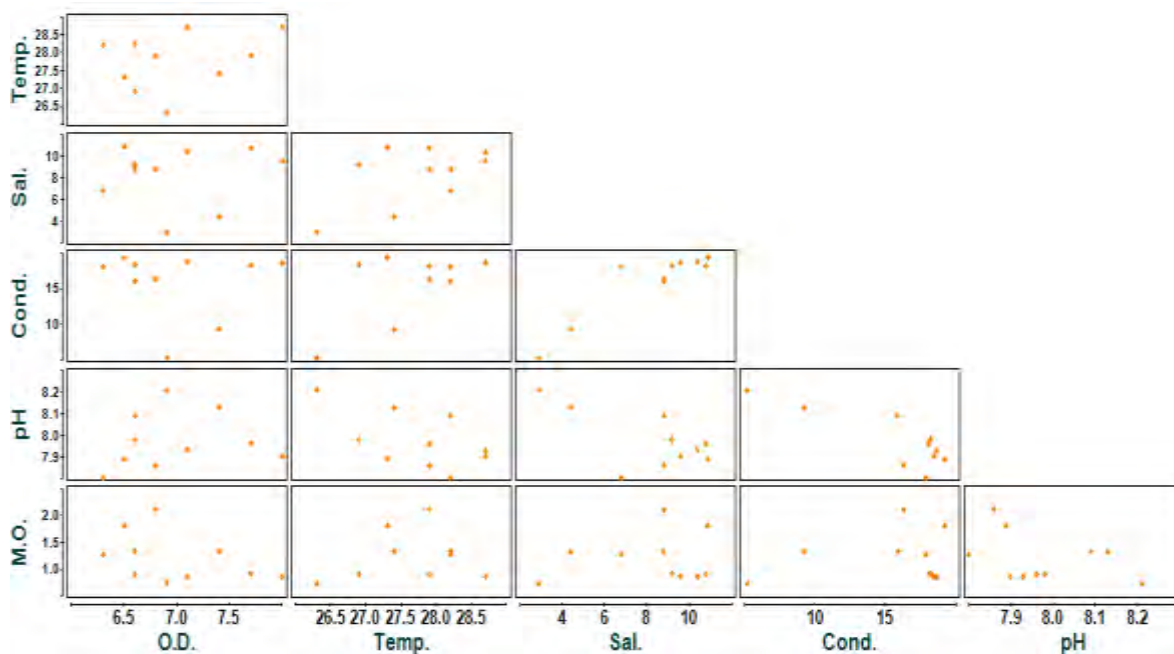


Figura 7. Matriz de diagramas de dispersión de las variables ambientales

3.4 Análisis de la comunidad de poliquetos

Abundancia y biomasa de los poliquetos

Se identificaron cuatro especies (280 individuos) pertenecientes a tres familias de poliquetos. En la estación 9 se encontró un mayor número de poliquetos con 96 individuos. La segunda estación más abundante fue la estación 6 con 61 individuos seguido por la estación 4 con 45 poliquetos. En las estaciones 2, 3 y 5 se identificaron 18 poliquetos por estación y en la estación 10 solo 15 individuos. Para las estaciones 7 y 8 se encontraron un total de 8 organismos y por último la estación 1 fue la de menor abundancia con solo un individuo (Fig. 8).

Con respecto a la biomasa total de poliquetos por estaciones, las estaciones 4, 3 y 9 presentaron los valores más altos; 1.07, 0.7 y 0.52g respectivamente, mientras que la estación con el valor más bajo fue representada por la estación 7 con 0.02g.

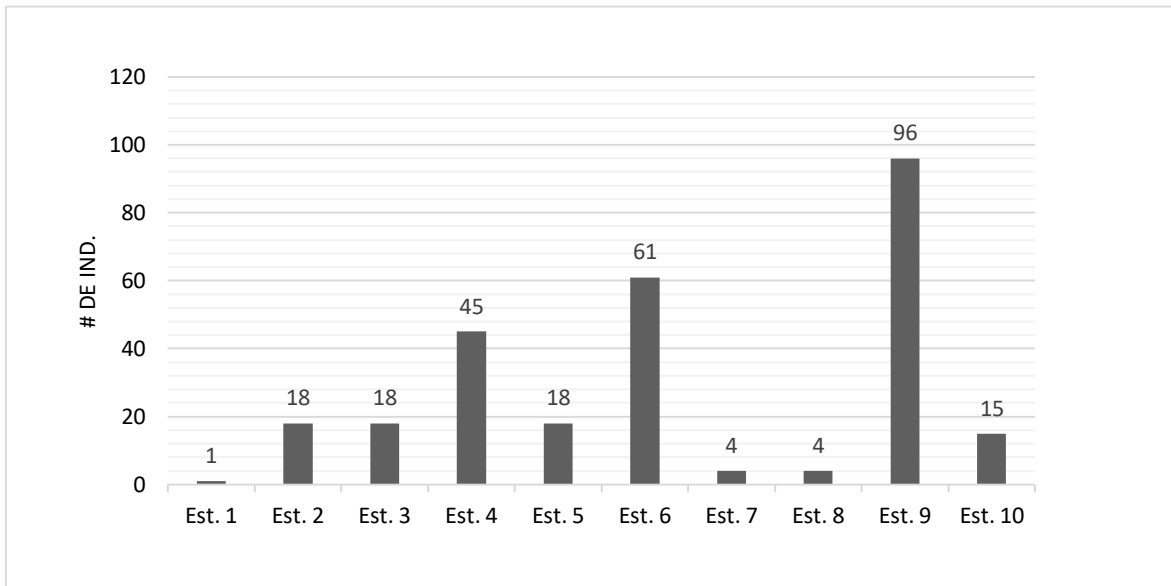


Figura 8. Abundancia total de poliquetos por estación.

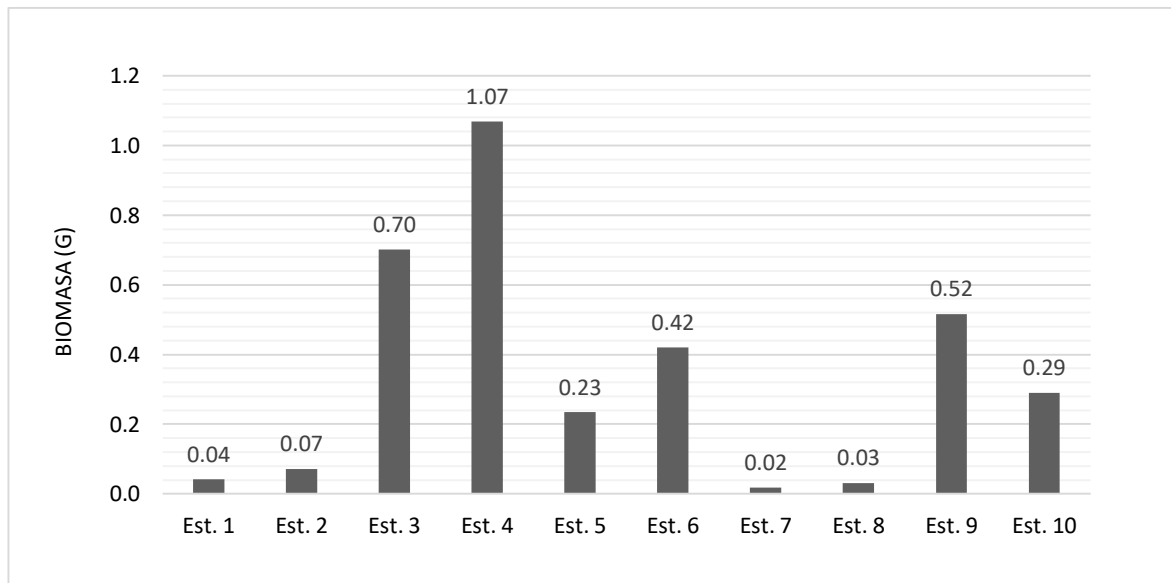


Figura 9. Biomasa total de poliquetos por estación.

Índice de diversidad

En la tabla 6 se presentan los valores de los índices ecológicos: número de especies por estación (S); abundancia total de poliquetos por estación (N); equidad ecológica por el índice de Pielou (J'); índice de Shannon-Weiner (H').

Tabla 6. Índices ecológicos de la comunidad de poliquetos.

Estaciones	S	N	J'	H'
Monumento Renacimiento	1	1	0	0
Muelle Fiscal	2	18	0.92	0.64
Congreso del Estado	2	18	0.65	0.45
Balneario Punta Estrella	3	45	0.71	0.78
Leos Bar	3	18	0.66	0.73
Refugio de Aves	2	61	0.12	0.08
Balneario Dos Mulas	3	4	0.95	1.04
Universidad de Quintana Roo	2	4	0.81	0.56
Drenaje de Proterritorio	2	96	0.94	0.65
Balneario Calderitas	2	15	0.57	0.39

Las especies identificadas durante el muestreo para la época de nortes son: *Laeonereis culveri*, *Capitella cf. capitata*, *Heteromastus filiformis* y *Streblospio benedicti*. La especie más abundante durante la época de nortes fue *Laeonereis culveri* con 178 individuos y de igual manera dominaron en términos de biomasa. La menos abundante fue *Heteromastus filiformis* con solo dos ejemplares, así mismo fue también la más baja en términos de biomasa (Tabla 7).

Tabla 7. Abundancia y Biomasa total de poliquetos.

Especies	Abundancia	Biomasa (g)
<i>Laeonereis culveri</i>	178	3.1784
<i>Capitella cf. capitata</i>	91	0.2065
<i>Heteromastus filiformis</i>	2	0.005
<i>Streblospio benedicti</i>	9	0.0029

Distribución de las especies de poliquetos.

Con respecto a la distribución espacial, durante la época de nortes la especie *Laeonereis culveri* estuvo presente en las diez estaciones de muestreo (Fig. 10). *Capitella cf. capitata* tuvo una amplia distribución en la zonas de muestreo con 80% de distribución (Tabla 8). *Streblospio benedicti* se distribuyó únicamente en las estaciones 4, 5 y 7, mientras que la especie *Heteromastus filiformis* solo estuvo presente en la estación 10 (Fig. 10).

Tabla 8. Porcentajes de distribución de las especies de poliquetos.

Especies	% Distribución
<i>Laeonereis culveri</i>	100%
<i>Capitella cf. Capitata</i>	80%
<i>Heteromastus filiformis</i>	10%
<i>Streblospio benedicti</i>	30%

Las dos especies más frecuentes en las zonas de muestreo fueron *Laeonereis culveri* y *Capitella cf. capitata*. *Laeonereis culveri* fue la más abundante en la estación 6 con 60 ejemplares y la menos abundante en las estaciones 1 y 7 con solamente un poliqueto en cada estación. *Capitella cf. capitata* fue la más abundante en la estación 9, representando 62 individuos y de menor abundancias en las estaciones 5, 6 y 8 con solamente un individuo por estación. Con respecto a las dos especies restantes, *Streblospio benedicti* fue de mayor abundancia en las estaciones 4 y 5 con cuatro poliquetos por estación y *Heteromastus filiformis* solo estuvo presente en la estación 10 con solamente dos ejemplares (Fig. 10).

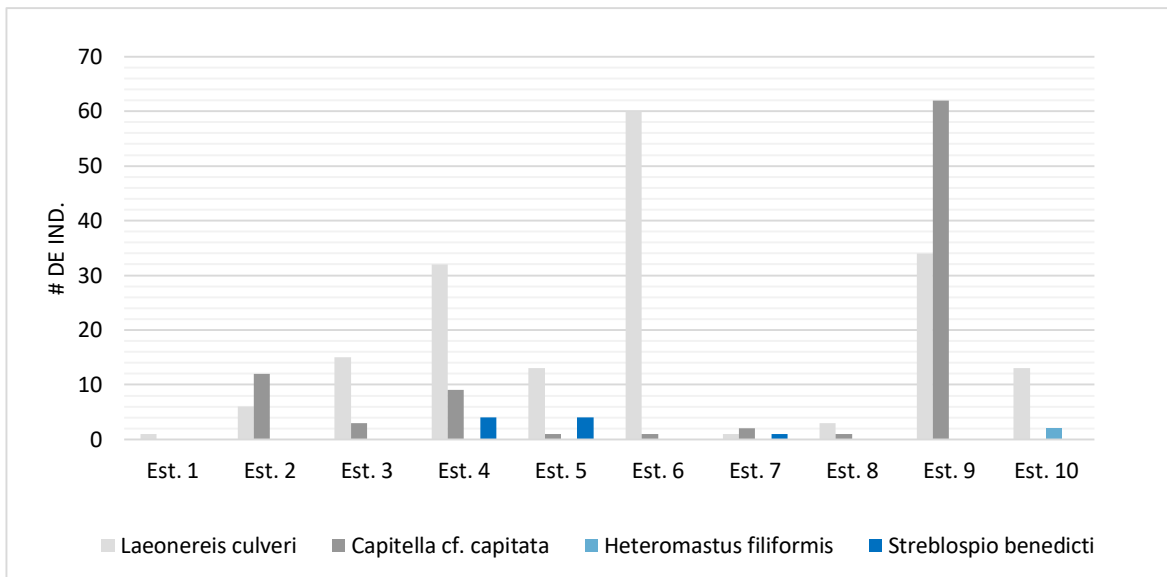


Figura 10. Número de individuos por especie en cada zona de muestreo.

3.5 Concentración y distribución de Materia Orgánica.

El contenido y distribución de la materia orgánica no mostró ninguna tendencia espacial. Los valores más elevados se presentaron en las estaciones 5 (Leos Bar) y 8 (UQROO) con 2.1 y 1.8% respectivamente. Las estaciones 2 (Muelle Fiscal) y 3 (Congreso del Estado) presentaron valores semejantes (1.32%). Con respecto a la estación 6 (Refugio de Aves) el valor del contenido de materia orgánica fue de 1.26%. Para las estaciones restantes sus valores registrados fueron menores al 1%, siendo la estación 1 (Monumento Renacimiento) con el más bajo contenido de materia orgánica con 0.72% (Fig. 11).

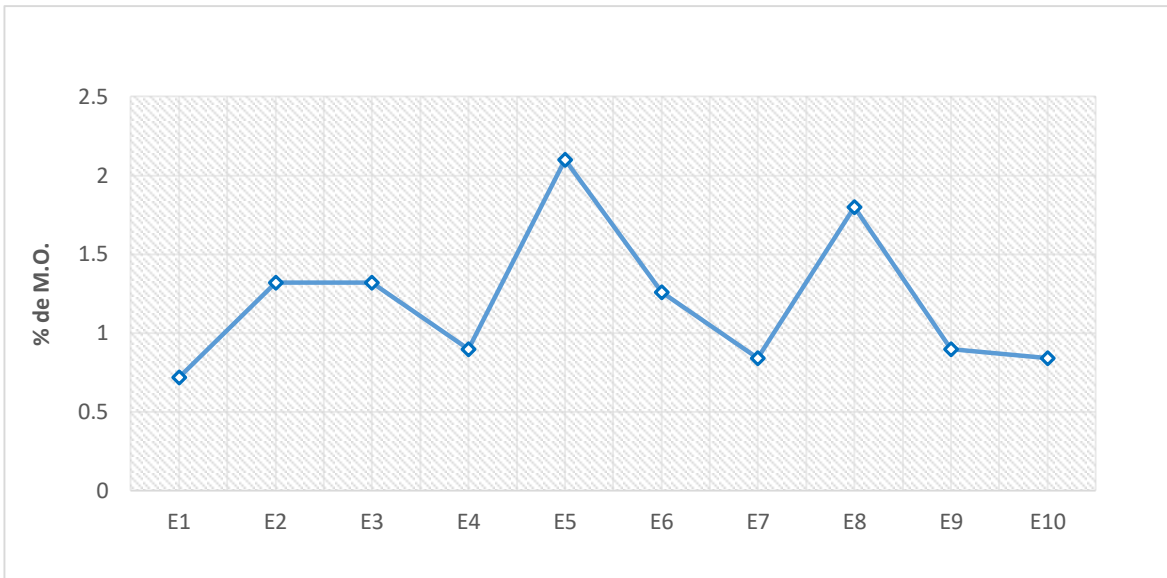


Figura 11. Distribución espacial de materia orgánica del sedimento en la zona de muestreo.

3.6 Relación entre la composición faunística y los parámetros fisicoquímicos

Con la ayuda del índice de correlación simple de Pearson utilizando el programa PRIMER 7 se pudo analizar la abundancia total de los poliquetos encontrados en el área de estudio, donde se observó que no presentó ninguna asociación significativa con alguna de las variables ambientales (Tabla 9).

Tabla 9. Coeficiente de correlación de la abundancia total con las variables ambientales.

Parámetros	Abundancia
Oxígeno Disuelto (mg/l)	0.06
Temperatura (°C)	0.11
Salinidad (ppm)	0.25
Conductividad (mS/cm)	0.33
pH	-0.29
Materia Orgánica %	-0.18

Con la ayuda del índice de correlación simple de Pearson utilizando el programa PRIMER 7 se observó que la abundancia de las dos especies más dominantes no presentaron alguna correlación fuerte con las variables ambientales, sin embargo para la especie *Laeonereis culveri* el valor de correlación más alto fue de 0.38 con la variable de conductividad. Respecto a la especie de *Capitella cf. capitata* el valor de correlación más alta fue de 0.47 con la variable de oxígeno disuelto (Tabla 10).

Tabla 10. Coeficiente de correlación de la abundancia de dos de las especies más dominantes con las variables ambientales.

Parámetros	<i>Laeonereis culveri</i>	<i>Capitella cf. capitata</i>
Oxígeno Disuelto (mg/l)	-0.37	0.47
Temperatura (°C)	0.17	0.01
Salinidad (ppm)	0.11	0.27
Conductividad (mS/cm)	0.38	0.13
pH	-0.47	0.04
Materia Orgánica %	-0.07	-0.24

Asociación de especies dominantes con la salinidad y el contenido de materia orgánica.

El análisis de correlación simple de Pearson no presentó una asociación significativa entre las especies dominantes con relación a la salinidad y el contenido de materia orgánica presente en el sedimento. Las gráficas evidencian la ausencia de relación, sin embargo resaltan algunas particularidades. Por ejemplo, *Laeonereis culveri* registró su mayor abundancia entre 6 y 8 ppm de salinidad y para el contenido de materia orgánica fue entre 1 y 1.5 % (Fig. 12A-B). *Capitella cf. capitata* registró su mayor abundancia entre 10 y 11 ppm de salinidad y con respecto al contenido de materia orgánica fue entre 0.5 y 1 % (Fig. 12C-D).

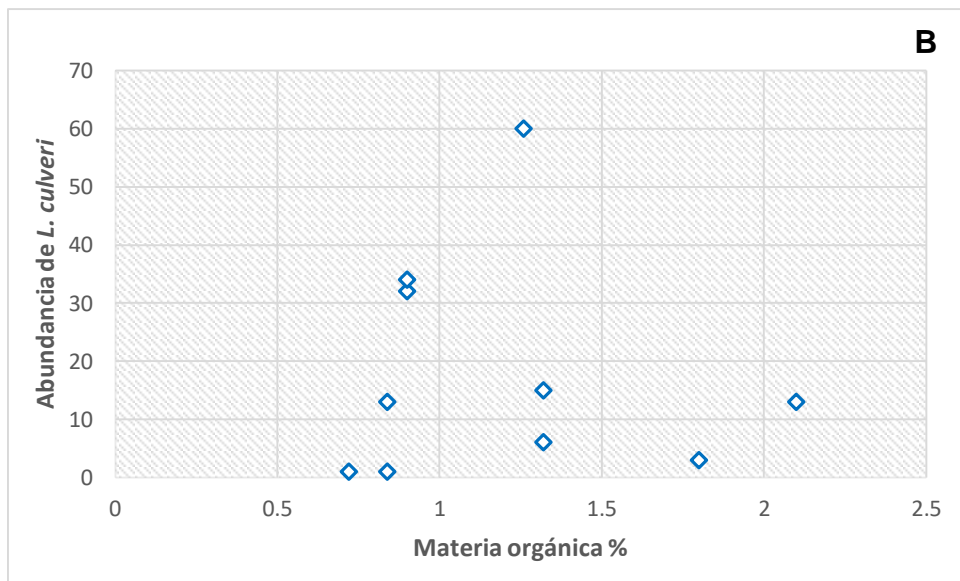
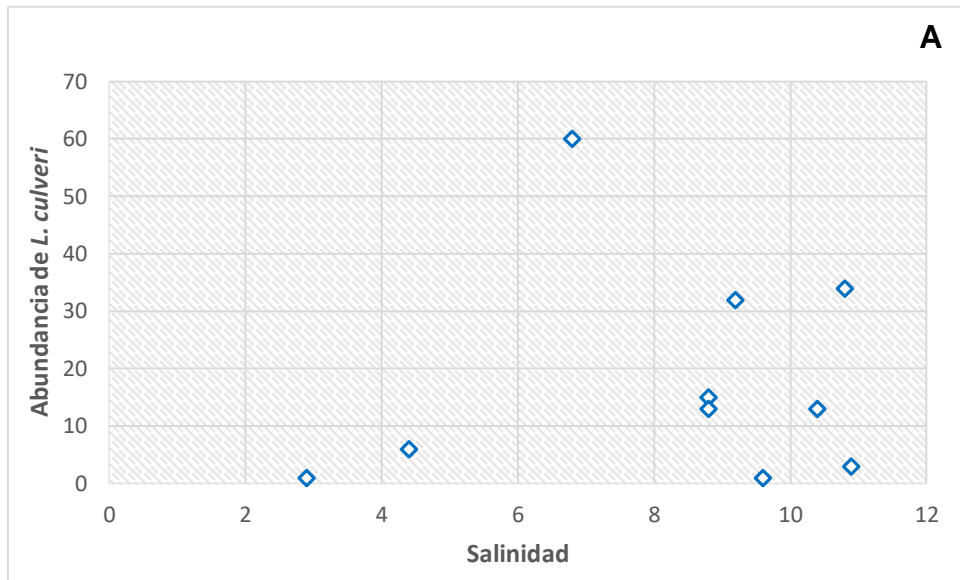


Figura 12A-B. Distribución de las especies de mayor dominancia con respecto a la salinidad y materia orgánica.

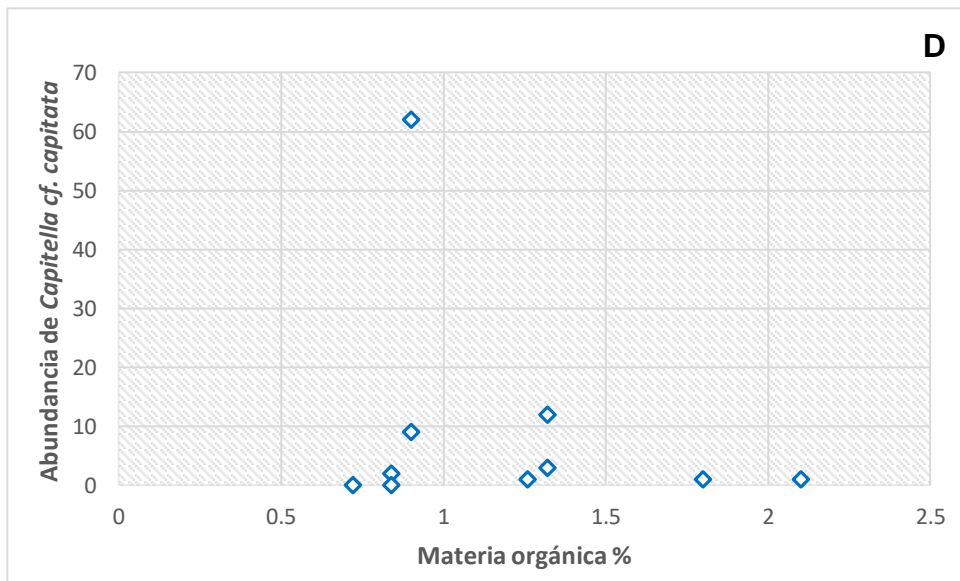
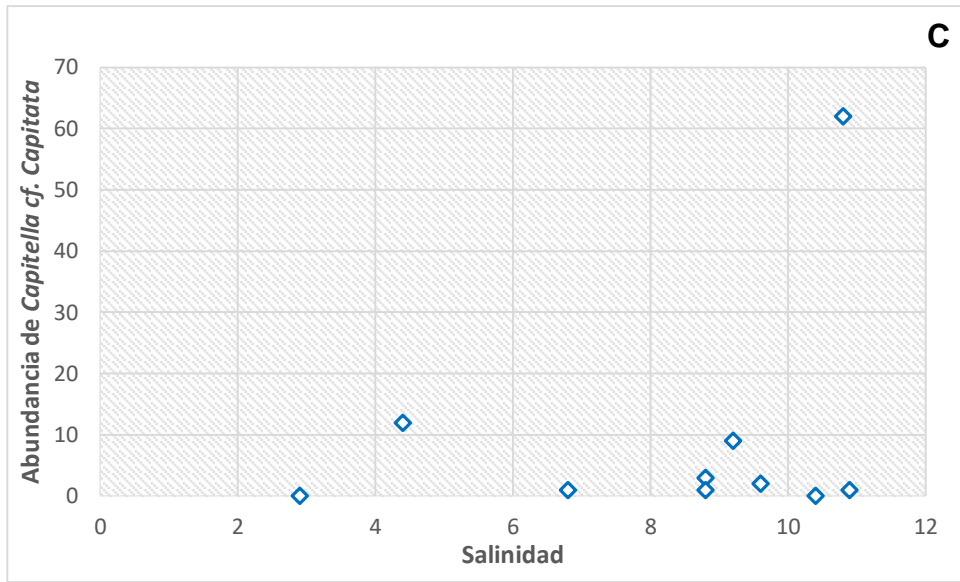


Figura 12C-D. Distribución de las especies de mayor dominancia con respecto a la salinidad y materia orgánica.

3.7 Curvas de Abundancia-Biomasa (ABC)

Curvas de Abundancia-Biomasa (ABC) por estación

Debido a la poca diversidad y bajo número de individuos no se pudo realizar las curvas de ABC para las estaciones 1, 6 y 8. Para las siete estaciones restantes si se pudo realizar las curvas de ABC. El análisis realizado de las curvas ABC determinó que las estaciones no se encuentran contaminadas (Fig. 13A-G), esto debido a que la curva de la biomasa se encuentra por encima de la curva de abundancia.

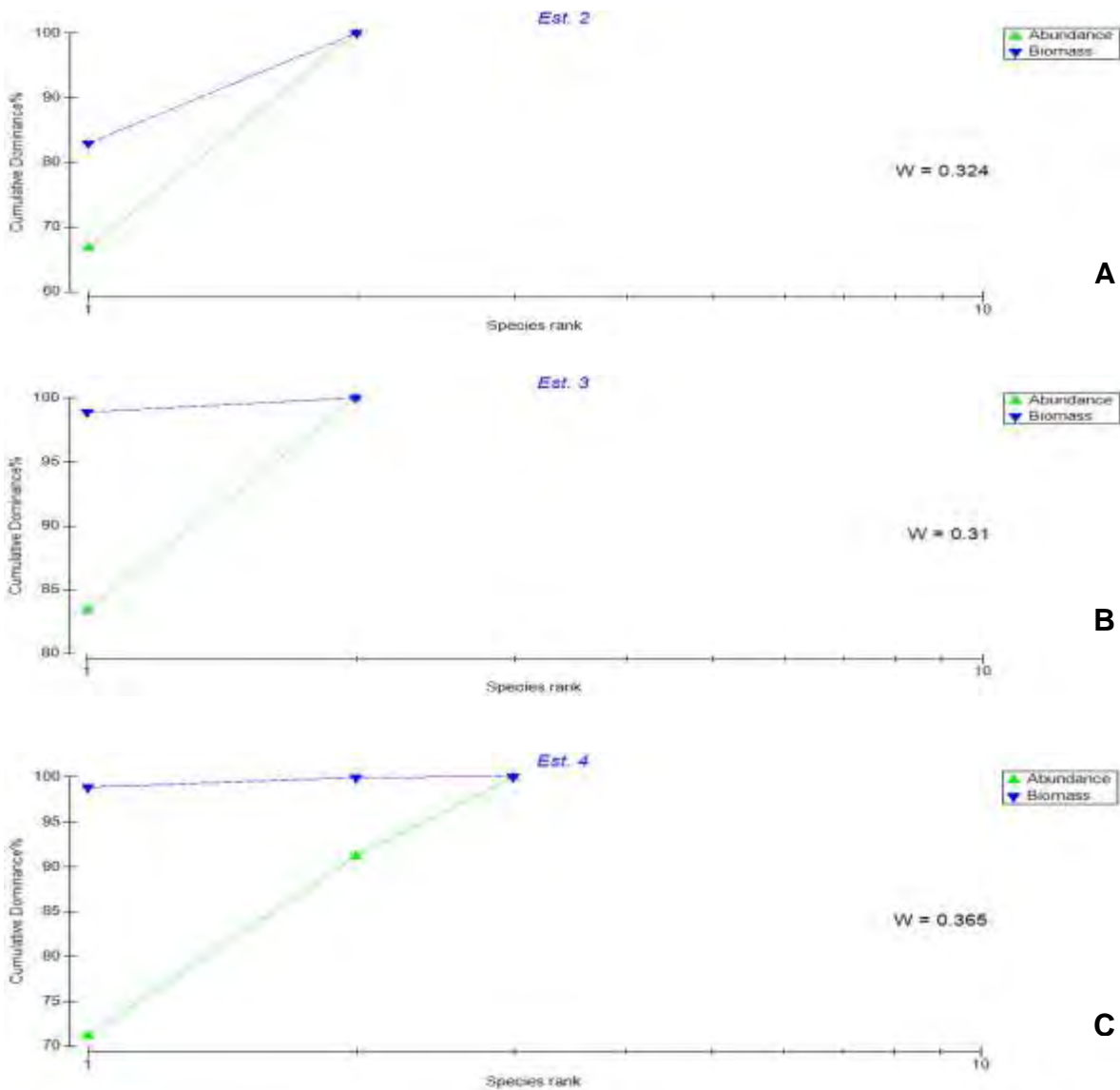
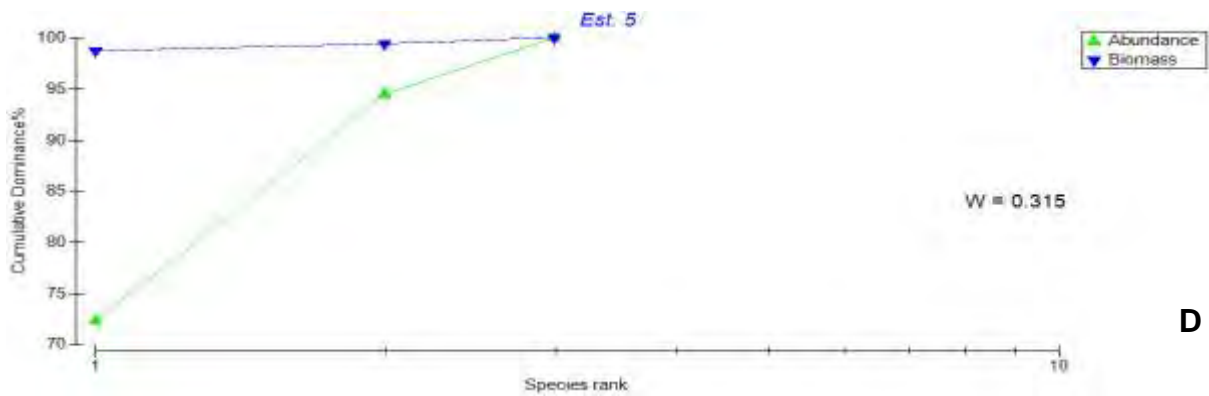
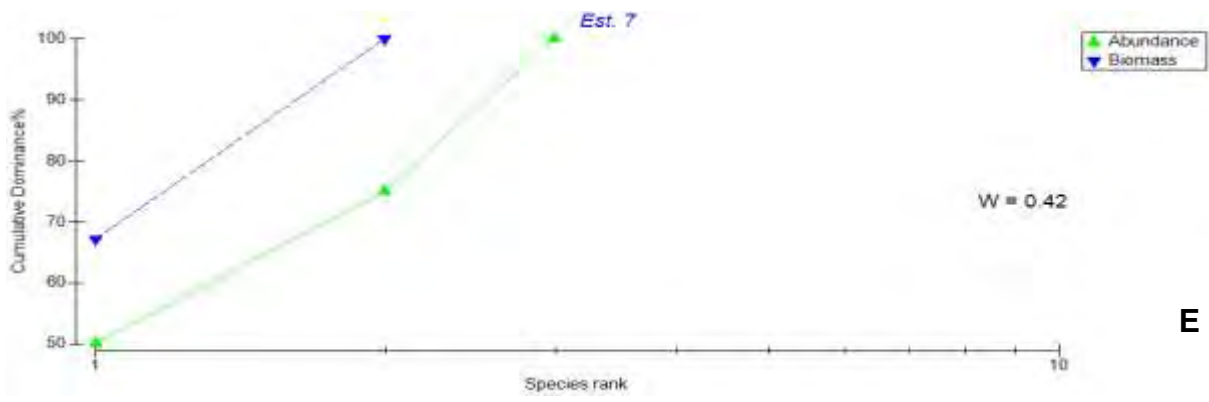


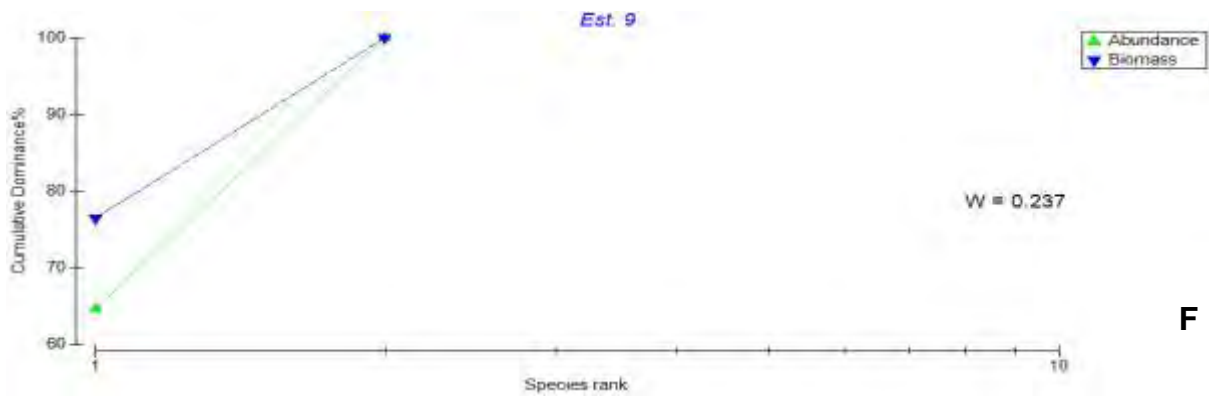
Figura 13A-C. Curvas de Abundancia-biomasa (ABC) por estación.



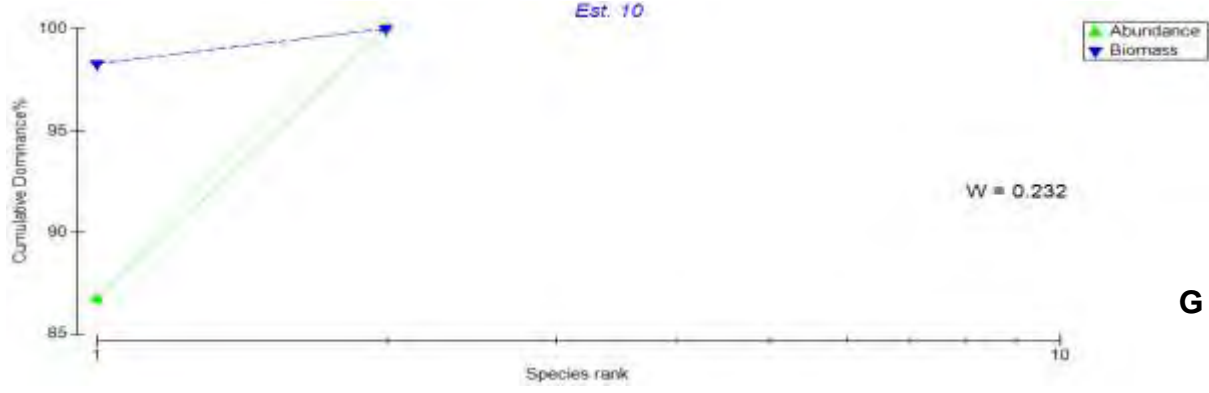
D



E



F



G

Figura 13D-G. Curvas de Abundancia-biomasa (ABC) por estación.

Curvas de Abundancia-Biomasa (ABC): Análisis general

Al realizar un análisis general de todas las estaciones de la zona de estudio, con la Curva ABC, se determinó que es un ambiente no perturbado dado que la curva de biomasa está por encima de la curva de abundancia (Fig. 14).

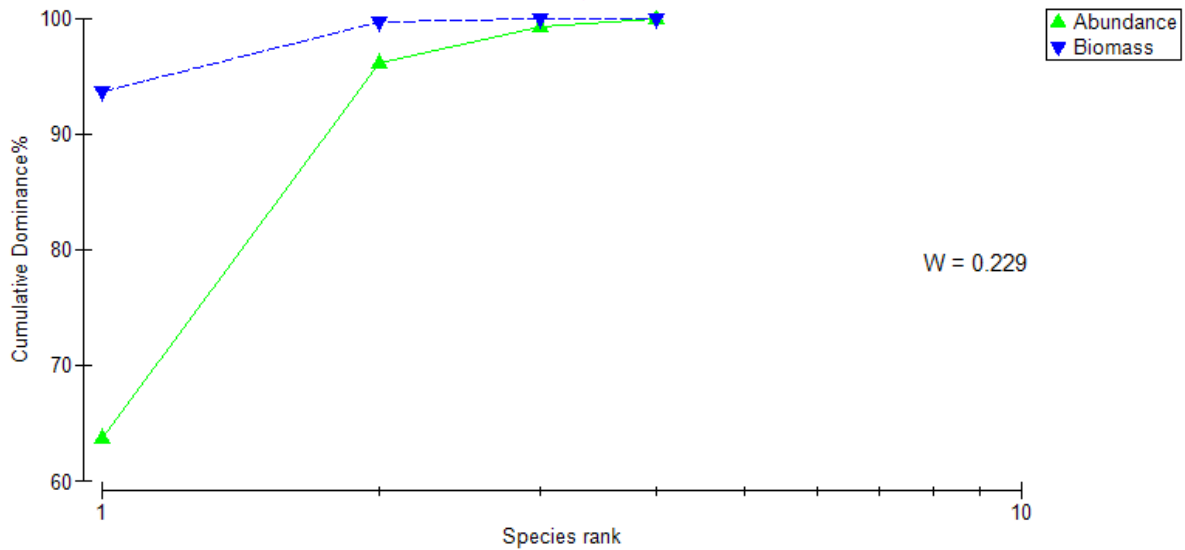


Figura 14. Curva ABC del análisis general de la zona de estudio.

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN / CONCLUSIÓN

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN

La bahía de Chetumal es un cuerpo de agua que presenta características fisiográficas e hidrológicas particulares (Gasca & Castellanos, 1993), además de encontrarse expuesto a una gran variedad de fuentes de contaminación; por ejemplo, las descargas de aguas residuales vertidas directamente al sistema estuarino, por lo que es de esperarse cambios en la composición física y química de ciertos puntos de muestreo de la Bahía. Estos cambios, a su vez, es posible que induzcan un cambio en aspectos como biomasa, composición biológica, caracterizada por cambios en la abundancia y diversidad de especies y sus poblaciones por causas de alteración al ecosistema.

De acuerdo con Carrillo, Palacios-Hernández, Ramírez & Morales-vela (2004-2005), estudios sobre las variables físicas en la Bahía de Chetumal son muy escasos. La influencia marina al interior de la bahía es limitada y variable (Ruíz-Pineda, Suárez-Morales & Gasca, 2016), por lo que los resultados de salinidad (2.9-10.9 ppm) para las 10 estaciones muestreadas indican que es de baja a moderada, siendo la estación 1 (Monumento Renacimiento) la que mostró los valores de salinidad más bajos comparados con el resto de las otras zonas (Tabla 4), lo cual se explica por estar ubicada en cercanía a la desembocadura del río Hondo. La abundancia de las especies dominantes *Laeonereis culveri* y *Capitella cf. capitata* no mostró ninguna asociación significativa con la salinidad, sin embargo, la *Capitella cf. capitata* presentó un coeficiente de correlación más alto (0.27) sobre *Laeonereis culveri* respecto a esta variable, por lo que se puede inferir sobre la tolerancia de las especies dominantes a la salinidad, por ejemplo; *Laeonereis culveri* podría considerarse la especie más tolerante a la salinidad encontrándose abundante tanto en las estaciones con baja, moderada y alta salinidad.

Por su parte el pH, puede tener un efecto significativo sobre la biota que habita en el fondo. Se considera que el pH es estable en el ambiente marino y cuando es menor que 7, se tienen condiciones anóxicas (Giere, 1993). En el caso de la Bahía esto no ocurrió para ningunas de las estaciones en donde los valores del pH

registrados oscilaron entre 7.8–8.21. Los valores de oxígeno disuelto se mostraron homogéneos y relativamente altos 6.3–8 mg/L, con un promedio de 6.9, datos similares a los reportados por Carrillo *et al.* (2004-2005), con un promedio anual de 6.9 ± 0.8 mg/L O₂. Roldán-Pérez & Ramírez-Restrepo (2008) afirman que su presencia y concentración define el tipo de especie de acuerdo con su tolerancia y rangos de adaptación, y por ende Ramírez y Viña (1998) refieren que son importantes para establecer toda la estructura y funcionamiento biótico de ecosistemas acuáticos. Los valores de temperatura por su parte no fluctuaron, manteniéndose relativamente homogéneas a lo largo de las 10 estaciones muestreadas (26.3–28.7°C) indicando la presencia de aguas cálidas en la bahía. En el caso de la variable conductividad, la estación 1 mostró el valor más bajo 5.21 mS/cm, que dista de los resultados reportados por Kuk (2007), con valores de 7.26, 8.73 y 9.70 mS/cm para la misma estación en la época de nortes, sin embargo considerando que la bahía de Chetumal es un cuerpo de agua oligotrófico (Hernández-Arana, Espinoza-Avalos & Islebe, 2009), los datos detectados para las 10 estaciones (5.21-19.25 mS/cm), son representativos de aguas oligotróficas, tal y como lo han afirmado Roldán-Pérez & Ramírez-Restrepo (2008), siendo esta variable de gran importancia para el estudio de la dinámica de los organismos, porque nos permite conocer acerca del metabolismo de las comunidades bióticas.

Los porcentajes de materia orgánica variaron de 0.72 a 2.1%, el mínimo se encontró en la estación 1 y el máximo en la estación 5, con un porcentaje promedio para los sitios de muestreo de 1.2% por debajo, al reportado en el estudio realizado por Delgado-Blas *et al.*, (2011) que fue de (1.6%), lo que puede confirmar el probable efecto que tiene el arrastre o la suspensión de los sedimentos en la misma Bahía. Según las concentraciones de materia orgánica, la Bahía de Chetumal se clasifica como un ambiente moderadamente contaminado para 5 estaciones (2, 3, 5, 6 y 8) considerando un rango de contaminación de 1-2% (Mora, Planas & Silva, 1989), las 5 estaciones restantes podrían considerarse zonas de transición, representativas de un intervalo de 0-1% de MO, esto puede deberse a que el enriquecimiento por materia orgánica en algunos cuerpos de agua puede ser mayor en las zonas urbanas y en particular en sitios sujetos al aporte por drenaje (doméstico y pluvial)

o en aquellos donde las corrientes son tan limitadas que promueven la acumulación y depósito del material suspendido.

Durante el muestreo realizado a finales de la época de nortes (2018) se encontraron cuatro especies de poliquetos sumando un total de 280 individuos: *Capitella cf. capitata*, *Heteromastus filiformis*, *Laeonereis culveri* y *Streblospio benedicti*. Las primeras dos especies pertenecen a la familia Capitellidae y las otras dos pertenecen a la familia Nereididae y Spionidae respectivamente. Dichas especies ya habían sido identificadas previamente en estudios realizados en la bahía de Chetumal por Delgado-Blas *et al.*, (2011). Con respecto a las familias de poliquetos encontrados, Raz-Guzman (2000) tiene señaladas por lo menos alguna especie de cada familia como indicador de contaminación por materia orgánica. En particular la especie *Capitella capitata* ha sido considerada uno de los primeros anélidos bentónicos utilizado como bioindicadores en las evaluaciones de los ecosistemas acuáticos marinos. Uno de los primeros estudios fue realizado en Alemania por Wilhelmi (1916) quién detectó a la especie como indicadora de contaminación en áreas marinas (Ortiz-Gallarza & Ortega-Rubio, 2014).

De acuerdo al índice de Shannon-Weiner la diversidad en la zona urbana de la bahía de Chetumal fue muy baja con valores en el rango de 0-1 bits/ind. Este número reducido de especies es característico de ambientes estuarinos (Little, 2000). Así mismo, esta baja diversidad podría estar relacionado con que las especies encontradas no están igualmente abundante, es decir, existe una fluctuación de abundancia entre las especies. Esto puede estar influenciado por ciertos parámetros fisicoquímicos; por ejemplo, la salinidad, que para el caso de la especie *Laeonereis culveri* fue la más abundante y podría considerarse la especie más tolerante a la salinidad y por su parte para especies de la familia *Spionidae* de acuerdo con Díaz-Jaramillo *et al.*, (2008) es la variable ambiental que controla su diferenciación espacial.

Los sedimentos recolectados fueron representativos en un 40% arenas medianas, 30% arenas finas y 30% arenas gruesas. Lankford (1977) ubicó a la bahía de Chetumal como un cuerpo de agua de baja energía, por lo que se esperaría

encontrar sedimentos finos. Sin embargo, los datos encontrados en este trabajo indican que los sedimentos finos se encontraron en misma proporción a los gruesos, con tonalidades grises. De acuerdo con Álvarez-Legorreta (2009), los sedimentos constituyen un depósito de mediano y largo plazo de los contaminantes que reciben los sistemas acuáticos, por lo que se han utilizado para evaluar la calidad de los cuerpos de agua.

Así mismo, la naturaleza lodosa del sustrato (arena fina) en la estación 9 (Drenaje de Proterritorio) provocó que el núcleo se manejara con facilidad para extraer la muestra de sedimento. Este hecho pudo favorecer la presencia de la especie *Capitella cf. capitata*, ya que su presencia fue más abundante en esta estación respecto de las otras, esto puede deberse a que esta especie es característica de sustratos arenosos y lodosos (Raz-Guzman, 2000). Por otro lado, la presencia de la especie *Laeonereis culveri* fue más abundante en la estación 6 (Leos Bar) donde predomina el sustrato rocoso, sin embargo el tipo de sedimento no influye en su presencia o ausencia, ya que en este estudio estuvo presente en las 10 estaciones de muestreo, esto puede deberse a que es una especie común en estuarios, debido a su diversidad y abundancia en prácticamente todos los sustratos marinos (Webster, 1879; De León, 1997).

En los resultados de las curvas ABC, las gráficas para las estaciones (2, 3, 4, 5, 7, 9 y 10) presentaron condiciones de no contaminación, puesto que la curva de biomasa está por arriba de la curva de abundancia. En el caso de las estaciones (1, 6 y 8) las curvas ABC no pudieron realizar, esto puede deberse a factores como poca o nula diversidad de especies, abundancia y baja o nula biomasa. Además, al realizar el análisis general de las 10 estaciones muestreadas de la Bahía respecto a los resultados obtenidos para la curva ABC, se determinó que estas son representativas de un ambiente no perturbado, dado que la curva de biomasa está por encima de la curva de abundancia. Así mismo, los valores obtenidos para el oxígeno disuelto (6.3-8 mg/L) no reflejan condiciones de anoxia o hipoxia, que de acuerdo con Abarca (2007) cuando los niveles O.D. caen por debajo de 5 mg/L ponen en riesgo la vida acuática y ser representativos de ambientes perturbados.

De modo que, variables de vital importancia como el oxígeno disuelto son imprescindibles para el diagnóstico de la contaminación de cuerpos de agua debido a su alta sensibilidad en su concentración a la presencia de contaminantes de tipo orgánico o inorgánico.

CONCLUSIÓN

Un total de 280 poliquetos bentónicos fueron identificados en la época de nortes (noviembre-febrero) correspondientes a cuatro especies: *Capitella cf. capitata*, *Heteromastus filiformis*, *Laeonereis culveri* y *Streblospio benedicti*. Encontrándose que la fauna de poliquetos está dominado por *Laeonereis culveri* y *Capitella cf. capitata*. Las estaciones 4 (Balneario Punta Estrella), 6 (Refugio de Aves) y 9 (Drenaje de Proterritorio) se caracterizaron por presentar la mayor abundancia de individuos. Con respecto al índice de diversidad las estaciones 4 (Balneario Punta Estrella), 5 (Leos Bar) y 7 (Balneario Dos Mulas) fueron las que presentaron mayor diversidad.

La especie más exitosa y característica de la zona urbana de la bahía de Chetumal para este estudio fue *Laeonereis culveri* ya que estuvo presente en todas las estaciones de muestreo. Esto demuestra la gran adaptabilidad de la especie para prosperar principalmente en ambientes con distintas salinidades.

Para este trabajo de investigación se concluye que en las estaciones de estudio existen diferencias en la estructura de las poblaciones de poliquetos, sin embargo, estas diferencias no pudieron ser explicadas en su totalidad por las variables ambientales, con énfasis en la salinidad y materia orgánica. Por lo que es importante evaluar el papel estructural que juegan otras variables ambientales, como son las propiedades de sedimento y los niveles de contaminantes orgánicos persistentes e inorgánicos.

De acuerdo a los resultados de las Curvas de Abundancia-Biomasa utilizando a los poliquetos como indicadores de contaminación, la zona urbana de la bahía de Chetumal se ha considerado como un ambiente no perturbado para la época de nortes. En cuanto al contenido de materia orgánica se obtuvieron valores entre 0-2.5%. Por lo tanto las estaciones con mayor contenido de materia orgánica fueron las estaciones 2 (Muelle Fiscal), 3 (Congreso del Estado), 5 (Leos Bar) y 8 (UQROO), reflejando un ambiente moderadamente contaminado. No obstante, esta no se vio reflejada al analizar las curvas de abundancia-biomasa, por lo que, se considera que ciertos factores como la riqueza, abundancia y biomasa podría haber

afectado el grado de precisión, ya que para las estaciones muestreadas solo se encontró la presencia de 1 a 3 especies por estación, con un total de 280 poliquetos y con muy bajos valores de biomasa.

RECOMENDACIONES

Dada la importancia ecológica de este sistema acuático y la diversidad de impactos potenciales a los que está sometido, se recomienda;

- Evaluar el papel estructural que juegan otras variables ambientales, como son, las propiedades del sedimento y los niveles de contaminantes orgánicos persistentes e inorgánicos.
- Establecer programas de monitoreo que permitan tener una base de datos confiables a largo plazo, y hacer uso de datos de factores físicos, químicos y biológicos, con los que se podrían establecer correlaciones que expliquen los niveles de contaminación y sus efectos en las comunidades acuáticas, así como en los procesos ecológicos tales como dinámica de poblaciones y estructuras tróficas.
- Incrementar el número de sitios de muestreo a diferentes profundidades para cada estación, a fin de incrementar la probabilidad de obtener más especies y mayor número de individuos, con la finalidad de aumentar la confiabilidad de los resultados de las Curvas de Abundancia-Biomasa y otros índices ecológicos como por ejemplo el índice de diversidad de Shannon-Wiener.
- Realizar muestreos en épocas de secas y lluvias para poder comparar el comportamiento y distribución espacial y temporal de la comunidad de poliquetos y las variaciones de los parámetros fisicoquímicos tanto en la columna del agua como en los sedimentos.
- Se recomienda no descartar otros organismos que no sean poliquetos en el momento del muestreo ya que estos pueden servir para conocer si existen o no depredadores de poliquetos y tener influencia en su presencia o ausencia.

- Se recomienda medir la demanda béntica de oxígeno (SOD), a fin de determinar la cantidad de oxígeno disuelto que es consumido durante el proceso de oxidación de la materia orgánica y los sedimentos. Ya que este proceso juega un papel fundamental, al reflejar no solo la calidad del agua sino también el deterioro en el hábitat de los organismos bentónicos.

Referencias

- Abarca, F.J. (2007). Técnicas para evaluación y monitoreo del estado de humedales y otros ecosistemas acuáticos. En O., Sánchez (ed.), *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*, pp. 113-144. México: Instituto Nacional de Ecología.
- Aguirre, L. & Canales, R. (2017). Poliquetos de Perú: Estado Actual y Perspectivas para la Investigación: 101-114 En: O. Díaz-Díaz, D. Bone, C.T. Rodríguez & V.H. Delgado-Blas (Eds.) 2017. Poliquetos de Sudamérica. Volumen especial del Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela. Cumaná, Venezuela, pp.149.
- Álvarez-Legorreta, T. (2009). Contaminación Acuática. En J., Espinoza-Avalos, G.A., Islebe & H.A., Hernández-Arana (Eds.), *El sistema ecológico de la bahía de Chetumal/Corozal: costa occidental del Mar Caribe*, pp. 205-217. Chetumal, Quintana Roo, México: ECOSUR.
- Arteaga-Flórez, C. & Londoño-Mesa, M.H. (2015). Neréididos (Nereididae, Polychaeta, Annelida) asociados a raíces de mangle rojo, *Rhizophora mangle*, en islas San Andrés y Providencia, Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 44(1), pp. 163-184.
- Belan, T.A. (2003). Marine environmental quality assessment using polychaete taxocene characteristics in Vancouver Harbour. *Marine Environmental Research*, 57 (1-2), pp. 89-101.
- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W., Courchamp, F. (2012), Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters*, 15 (4), pp. 365-377.
- Bilyard, G.R., (1987). The value of benthic infauna in marine pollution monitoring studies. *Mar. Pollut. Bull.* 18 (11), pp.581-585.
- Blake, J.A. (1994). Introduction to the Polychaeta. En J.A., Blake & B., Hilbig (Eds.), *Taxonomic Atlas of the Santa Maria Basin and Western Santa Barbara Channel. Vol. 4. Annelida Part 1. Oligochaeta and Polychaeta: Phyllodocida (Phyllodocidae to Paralacydoniidae)*, pp. 37-108. Massachusetts, Science Applications International Corporation.
- Burger, J. (2006). Bioindicators: A review of their use in the environmental literature 1970-2005. *Environmental Bioindicators*, 1(2), pp. 136-144.

Cairns, J. Jr., McCormick, P. & Niederlehner, B. (1993). A Proposed Framework for Developing Indicators of Ecosystems Health. *Hydrobiologia*, 263, pp. 1-44. Recuperado de:

<https://www.napawatersheds.org/img/managed/Document/3508/Cairns%20et%20a%201993%20%20A%20proposed%20framework%20for%20developing%20i.pdf> el 9 de julio de 2018.

Carrasco, D.F. (2004). Organismos del bentos marino sublitoral: algunos aspectos sobre abundancia y distribución. En C., Werlinger (ed.), *Biología marina y oceanografía: conceptos y procesos*, pp. 315-345. Chile: Gobierno de Chile, Consejo Nacional del Libro y la Lectura.

Carrillo, L., Palacios-Hernández, E., Ramírez, A.M & Morales-Vela, J.B. (2009). Características hidrometeorológicas y batimétricas. En J., Espinoza-Avalos, G.A., Islebe & H.A., Hernández-Arana (eds.), *El sistema ecológico de la bahía de Chetumal / Corozal: costa occidental del Mar Caribe*. Chetumal, Quintana Roo. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR).

Carrillo, L., Palacios-Hernández, E., Ramírez, A.M. & Morales-Vela, J.B. (2004-2005). Características hidrometeorológicas y batimétricas. En J. Espinoza-Avalos, G.A. Islebe y H.A. Hernández-Arana (eds.) *El sistema ecológico de la bahía de Chetumal / Corozal: costa occidental del Mar Caribe*, pp.12-20. Chetumal, México. ECOSUR.

Clarke, K.R., 1990. Comparisons of dominance curves. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 138 (1-2), pp. 143-157.

CPPS. Comisión Permanente del Pacífico Sur, PNUMA (1999). Conclusiones Seminario Internacional sobre el Estado del Medio Ambiente Marino y Costero en el Pacífico Sur, pp. 23.

Dauvin, J. C., Bellan, G. & D. Bellan-Santini. (2010). Benthic indicators: from subjectivity to objectivity –Where is the line? *Marine Pollution Bulletin*, 60 (17), pp. 947–953.

Dean, H.K. (2008). The use of polychaetes (Annelida) as indicator species of marine pollution. *Biología Tropical*, 56 (4), pp. 11-38.

De León J.A. (1997). Nereididos (Polychaeta: Nereidae) de los litorales mexicanos: sistemática, biogeografía y alimentación. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Biológicas y División de Estudios de Postgrado. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, Nuevo León, pp.298.

Del Pilar, Y., & Giménez-Casaldueiro, M.F. (coords.) (2014). Familias de poliquetos (Filo Annelida) de las costas del Mediterráneo español. En J.A. de la Ossa., J.L. Sánchez & A.A. Ramos (eds.), *Guía práctica para la identificación de familias de poliquetos*, pp. 5-45. Spain: Editorial Club Universitario.

Delgado-Blas, V.H., Hernández, H.A. & Kuk, J.G. (2011). Distribución espacial y temporal de poliquetos (Polychaeta: Annelida) de la bahía de Chetumal, Quintana Roo. En V.H., Delgado-Blas, J.S., Ortigón-Aguilar, M.M., Vázquez-González, A., González-Damián y J., Hernández-Rodríguez (ed.), *Avances de ciencia y tecnología en Quintana Roo*, pp.73-103. México: Plaza y Valdés.

Díaz-Castañeda, V. & Reish, D.J. (2009). Polychaetes in Environmental Studies. En D. H., Shain (Ed.), *Annelids in Modern Biology*, pp. 203-227. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Días-Jaramillo, M., Muñoz, P., Delgado-Blas, V.H. & Bertrán, C. (2008). Distribución espacio-temporal de los espiónidos (Polychaeta-Spionidae) en un sistema de estuarios del centro sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 81 (2): pp. 501-514.

Dirección General de Comunicación Social-Universidad Autónoma de México (2008, 2 de julio). Ayudan gusanos marinos a detectar la contaminación de los mares, Banco de boletines. Recuperado de: http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2008_434.html el 22 de julio de 2018.

Espinoza-Avalos, J., Islebe, G.A. & Hernández-Arana, H.A. (2009). Introducción y perspectiva. En J.E., Ávalos, G.A., Islebe & H.A., Hernández-Arana (eds.), *El sistema ecológico de la bahía de Chetumal / Corozal: costa occidental del Mar Caribe*, pp. 1-4. Chetumal, Quintana Roo: El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR).

Fallas, J. (2012). *Correlación Lineal. Midiendo la relación entre dos variables. Correlación no es sinónimo de causa-efecto*. Costa Rica: UCI, Universidad para la Cooperación Internacional.

Fauchald, K. (1984). Preface. In: J.M. Uebelacker, & P.G. Johnson (Eds.). Taxonomic guide to the Polychaetes of Northern Gulf of Mexico. Final report to the Minerals Management Serv. Vittor & Ass. Inc. Mobile, Alabama, 7 vol.

Fernández-Rodríguez, V. & Londoño-Mesa, M.H. (2015). Poliquetos (Annelida: Polychaeta) como indicadores biológicos de contaminación marina: casos en Colombia. *Revista Gestión y Ambiente*, 18 (1): pp. 189-204.

Figuroa, R., Valdovinos, C., Araya, E. & Parra, O. (2003). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, Vol. 76, pp. 275-285.

Gámez, D.R., Sánchez, V.D., & Díaz-Gaxiola, J.M., (2014). Anélidos Poliquetos de la Colección de Invertebrados del Laboratorio de Ecología del Instituto Tecnológico de los Mochis. *Juyyaania, Revista sobre el Manejo, Uso y Aprovechamiento de los Recursos Naturales*. Vol. (2), Número 2, pp. 157–171.

Gasca, R. & Castellanos, I. (1993). Zooplankton de la Bahía de Chetumal, Mar Caribe, México. *Revista de Biología Tropical*, vol. 41 (3), pp. 619-625.

Giere, O. (1993). *Meiobenthology. The Microscopic Fauna in Aquatic Sediments* Springer-Verlag, Berlin, pp.320.

Gillet, D., Holland, A.F. & Sanger, D.M. (2005). Secondary Production of a dominant Oligochaete (*Monopylephorus rubroniveus*) in the Tidal Creeks of South Carolina and its relation to ecosystem Characteristics. *Limnology and Oceanography*, Vol.50 (2), pp. 566-577.

Glasby, C.J., Hutchings, P.A., Fauchald, K., Paxton, H., Rouse, G.W., Watson-Russell, C., & Wilson, R.S. (2000). Class Polychaeta. En P. L., Beesley, G.J. B., Ross, & C.J. Glasby (eds.), *Polychaetes & Allies: The Southern Synthesis*, pp. 1-296. Melbourne: CSIRO Publishing.

González-Coto, J. (2014). Bioindicadores como aliados en el monitoreo de condiciones ambientales [Archivo 252 en Portal CEGESTI]. Recuperado de: http://www.cegesti.org/exitoempresarial/publicaciones/publicacion_252_240214_es.pdf el 9 de julio de 2018.

González, N.E., Carrera-Parra, L.F., Salazar-Silva, P., Llanes-Baeza, C., González-Escalante, L.E., y Salazar-Vallejo, S.I., (2009). Macro bentos. En J., Espinoza-Ávalos, G.A., Islebe y H.A., Hernández-Arana (ed.), *El sistema ecológico de la bahía de Chetumal / Corozal: costa occidental del Mar Caribe*, pp. 88-101. Chetumal, Quintana Roo, México: ECOSUR.

González-Zuarth, C.A. & Vallarino, A. (2014). Los bioindicadores ¿una alternativa real para la protección del medio ambiente? En C.A., González-Zuarth, A., Vallarino, J.C., Pérez-Jiménez, A.M., Low-Pfeng (eds.), *Bioindicadores: Guardianes de nuestro futuro ambiental*, pp. 21-37. México: El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR).

Gorza, G. (14 de febrero de 2009). Biomonitorio ambiental con abejas “Estaciones Gemelas con análisis simultáneos” [Archivo en Portal de Internet, EcoPortal]. Recuperado de: https://www.ecoportel.net/temasespeciales/contaminacion/biomonitorio_ambiental_con_abejas_estaciones_gemelas_con_analisis_simultaneos/ el 9 de julio de 2018.

Hartman, H. (1968). *Atlas of the Errantia Polychaetous annelids from California*. Allan Hancock Misc. Publ. 828 p.

Hartman, H. (1969). *Atlas of the Sedentariate Polychaetous annelids from California*. Allan Hancock Misc. Publ. 812 p.

Hawksworth, D. L., Iturriaga, T. & A. Crespo, (2005). Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos. *Revista Iberoamericana de Micología* 22: 71-82.

Hernández-Alcántara P., (2002). Composición y estructura de las comunidades de poliquetos (Annelida: Polychaeta) bénticos de la plataforma continental del Golfo de California. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México: México. 196 p.

Hernández-Arana, H.A., Espinoza-Avalos, G.A. & Islebe, G.A. (2009). Introducción y Perspectivas. En J. Espinoza-Avalos, G.A. Islebe y H.A. Hernández-Arana (eds.) *El sistema ecológico de la bahía de Chetumal/Corozal: costa occidental del Mar Caribe*, pp.1-4. Chetumal, México. ECOSUR.

Hickman, C. P., Roberts, L. S., & Larson, A. (1997). Segmented Worms. *Integrated principles of zoology*, pp. 356-373. New York: McGraw-Hill.

Holland, A.F., Sanger, D.M., Gawle, C.P., Lerberg, S.B., Santiago, M.S., Riekerk, G.H. & Scott, G.E (2004). Linkages between Tidal Creek Ecosystems and the Landscape and Demographic Attributes of their Watersheds. *Journal Experimental Marine Biology and Ecology*, Vol. (298), pp.151-178.

Jiménez-Cornejo, D. (2018). Coeficiente de Pearson. En Estadísticos Descriptivos de la Guía para la Elaboración de la tesis de Grado en Ciencias Sociales y Ciencias Médicas.

Kennish, M.J. (1997). *Estuarine and Marine Pollution*. New Jersey: CRC Press, Inc.

Kim, K.C. & Byrne, L.B. (2006). Biodiversity loss and the taxonomic bottleneck: emerging biodiversity science. *Ecol. Res.* 21, pp. 794-810.

Knox, G.A. (1985). Tipo Anélidos. En A. J., Marshall & W. D., Williams (eds.), *Zoología. Invertebrados*, pp. 325-422. España: Editorial Reverté.

Laguna, C. (2014). *Correlación y Regresión Lineal*. Instituto de Aragonés de Ciencias de la Salud. Servicio de Publicaciones del Diplomado en Salud Pública.

Lankford, R.R. 1977. Coastal lagoons of Mexico. Their origins and classification. En M. Wiley (Ed.). *Estuarine proceses*, pp. 182-215. New York: Academic Press

León-González, J.A., Bastida-Zavala, J.R., Carrera-Parra, L.F., García-Garza, M.E., Peña-Rivera, A., Salazar-Vallejo, S.I. & Solís-Weiss, V. (2009). *Poliquetos (Annelida: Polychaeta) de México y América tropical*. Monterrey, Nuevo León, México: Universidad Autónoma de Nuevo León.

Liñero-Arana, I. (2000). ¿Biodiversidad sin taxonomía? *Fontus*, 7, pp.45-58.

Liñero-Arana, I. & Díaz-Díaz, O. (2011). *Poliquetos de Venezuela, I. Aspectos Biológicos y Ecológicos, Cumaná, Venezuela*. Editorial de la Universidad de Oriente.

Liñero-Arana, I. & Reyes-Vásquez, G. (1978). Nereididae (Polychaeta, Errantia) del Golfo de Cariaco, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de la Universidad de Oriente*, 18 (1-2), pp. 3-12.

Little, C. (2000). The estuarine benthos and its distribution. *The Biology of Soft Shores and Estuaries*, pp. 151-168. New York: Oxford University Press.

Londoño-Mesa, M.H. (2017). Poliquetos de Colombia: Un reto para la Megadiversidad: 71-88 En: O. Díaz-Díaz, D. Bone, C.T. Rodríguez & V.H. Delgado-Blas (Eds.) 2017.

Long, R.E. & Chapman, P.M. (1985). A Sediment Quality Triad: Measures of Sediment Contamination, Toxicity and Infaunal Community Composition in Puget Sound. *Marine Pollution Bulletin*, 16 (10), pp. 405-415.

Lucero-Rincón, C. H., Bolívar, G., Neira, R. & Peña, E.J. (2008). Utilización de la macrofauna bentónica como indicadora de calidad ambiental en la desembocadura del río Anchicaya, pacífico colombiano”. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente* No. 7: 94-101.

Mason, C.F. (1984). *Biología de la contaminación del agua dulce*. Madrid: Editorial Alhambra.

Méndez, N. (2012). Poliquetos (Annelida, Polychaeta) del talud continental suroriental del golfo de California y su relación con algunas variables ambientales, pp. 161-222. En: P. Zamorano, M.E. Hendrickx y M. Caso (eds.). Biodiversidad y comunidades del talud continental del Pacífico mexicano. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat).

Méndez, N., Romero, J. & Flos, J. (1997). Population dynamics and production of the polychaete *Capitella capitata* in the littoral zone of Barcelona (Spain, NW Mediterranean). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 218 (2), pp. 263-284.

Monserate, L. & Medina, J.F. (2011). *Estudio de Condiciones Físicas, Químicas y Biológicas en la Zona Intermareal de Dos Sectores del Estero Salado con Diferente Desarrollo Urbano*. (Tesis doctoral). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas, Oceánicas y Recursos Naturales. Guayaquil, Ecuador. Recuperado de: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/19190/1/ART%C3%8DCULO%20TESIS%20ESTERO%20SALADO.pdf> el 7 de julio de 2018.

Mora, J., Planas, M. & Silva, R. (1989). Impacto de la contaminación orgánica en la Ensenada de Lourizán (Proyecto Escorp). El medio físico y la macrofauna bentónica. *Cahiers de Biologie Marine*, vol.30, pp. 181-199.

Muniz, P., Rodríguez, M. & Kandratavictus, N. (2017). Los Poliquetos de Uruguay: Síntesis y Actualización del Conocimiento: 115-126. En: O. Díaz-Díaz, D. Bone, C.T. Rodríguez & V.H. Delgado-Blas (Eds.) 2017. Poliquetos de Sudamérica. Volumen especial del Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela. Cumaná, Venezuela, 149 pp.

Navarrete, A. de J., Oliva Rivera, J.J., Valencia-Beltrán, V. y Quintero-López, N. (2000). Distribución de los sedimentos en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. *Hidrobiológica*, 10 (1), pp. 61-67.

Ortiz, G.S. y Ortega, R.A. (2014). Los organismos bentónicos como bioindicadores de la salud ecológica de los océanos. En C. González, A. Vallarino, J. Pérez y A. Low (ed.), *Bioindicadores: Guardianes de nuestro futuro ambiental*, pp.175. México. Ecosur-INECC.

Ortiz, M.C. y Sáenz J.R. (1996). Detergents and Orthophosphates Inputs from Urban Discharges to Chetumal Bay, Quintana Roo, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 59 (3), pp. 486–491.

Ortiz, M.C. y Sáenz J.R. (1997). Effects of Organic Material and Distribution of Fecal Coliforms in Chetumal Bay, Quintana Roo, México. *Environmental Monitoring and Assessment*, 55 (3), pp. 423–434.

Pearson, T.H. y Rosenberg, R. (1978). Macrobenthic sucesion in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanography and Marine Biology*, 16, pp. 229-311.

Peña, J., Johst, K., Grimm, V., Arntz, W.E. & Tarazona, J. (2006). Disentangling the effects of El Niño on a population of the polychaete *Sigambra bassi* in the Bay of Ancon, Peru. *Adv. Geosciences*, Vol. 6, pp.161-166.

Pinilla-Agudelo, G.A. (1998). Generalidades sobre la indicación biológica. En U.J., Tadeo-Lozano (ed.), *Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia*, pp. 9-14. Colombia: Litográficas Pabón.

Pla, L. (2006). Biodiversidad: inferencia basada en el índice de shannon y la riqueza. *Interciencia*, 31 (8), pp. 583-590.

Polanía, J. (2010). Indicadores biológicos para el monitoreo de puertos en Colombia. *Revista Gestión y Ambiente*, 13 (2), pp. 75-86.

Raz-Guzman, M.A. (2000). Crustáceos y Poliquetos. En E.G. De la Lanza, P.S. Hernández & P.J.L. Carbajal (Comp.), *Organismos indicadores de la Calidad del agua y de la Contaminación (Bioindicadores)*, pp. 265-267. Cd. México, México, Plaza y Valdés.

Reish, D.J. (1979). Bristle Worms (Annelida: Polychaeta). En C.W., Hart & S.L., Fuller (eds.), *Pollution Ecology of Estuarine Invertebrates*, pp. 77-125. New York: Academic Press.

Reish, D.J. (1986). Benthic invertebrates as indicators of marine pollution: 35 years of study. *IEEE Oceans* 86, pp 885-888.

Roldán-Pérez, G.A. & Ramírez-Restrepo, J.J. (2008). El ecosistema acuático. *Fundamentos de Limnología Neotropical*, pp. 15-39. Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia.

Ruíz-Pineda, C., Suárez-Morales, E. & Gasca, R. (2016). Copépodos planctónicos de la Bahía de Chetumal, Caribe Mexicano: variaciones estacionales durante un ciclo anual. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, vol. 51(2), pp.302.

Salazar-Vallejo, S. I. (1988). Los anélidos poliquetos de México. Univ. Autón. Baja California Sur, La Paz, B.C.S. 118 p.

Salazar-Vallejo, S.I. (2000). Contaminación Marina: Métodos de Evaluación Biológica. Centro de Investigaciones de Quintana Roo. Chetumal, México: Fondo de publicaciones y Ediciones. Gobierno de Quintana Roo.

Salazar-Vallejo, S.I., De León-González, J.A. & Salaices-Polanco, H. (1989). Poliquetos (Annelida: Polychaeta) de México. Libros Universitarios, Universidad Autónoma de Baja California Sur, México, pp. 211.

Salazar-Vallejo, S.I., Jiménez-Cueto, S., Oliva-Rivera, J.J. & González, E. (1991). Fauna béntica, En T., Camarena-Luhrs y S.I., Salazar-Vallejo (eds.), *Estudios Ecológicos preliminares de la zona Sur de Q.Roo, Centro de Investigación, México, Dirección de investigación científica.*

Scarabino, F. (2006). Faunística y taxonomía de invertebrados bentónicos marinos y estuarinos de la costa uruguaya. En: R. Menafrá, L. Rodríguez-Gallego, F. Scarabino & D. Conde (Eds.) Bases para la conservación y el manejo de la costa uruguaya, vida silvestre Uruguay (Sociedad Uruguayana para la Conservación de la Naturaleza) Montevideo, Uruguay.

Secretaría de Marina. (1984). Invertebrados de algunas especies de la flora y fauna bentónica en la Bahía de Topolobampo, Sinaloa, México. Secretaria de Marina Dirección general de oceanografía naval estación de investigación oceanográfica del Pacífico centro Topolobampo, Sinaloa.

Soto, G. S. Y. (2001). La participación de balanos (*Balanus nubilis* y *Balanus amphitrite*), mejillones (*Mytella guyanensis*) y poliquetos (Familia Spionidae), en el ciclo de vida de gregarinas (Protozoa: Apicomplexa) que infectan a *Litopenaeus vannamei*. Higuera de Zaragoza, Ahome, Sinaloa, México. Instituto Tecnológico de Los Mochis. Memoria de Residencia Profesional.

SPSS España (2002). Análisis de Correlación Lineal: Los procedimientos Correlaciones bivariadas y Correlaciones parciales. En Guía para el Análisis de Datos con SPSS 10.0, Capítulo 17, pp.324-326.

Tarazona, J., Gutierrez, D., Paredes, C. & Indacochea, A. (2003). Overview and challenges of marine biodiversity Research in Peru. *Gayana*, 67(2), pp. 206-231.

Tovar-Hernández, M.A., Salazar-Silva, P.S., León-González, J.A., Carrera-Parra, L.F. y Salazar-Vallejo, S.I. (2014). Biodiversidad de Polychaeta (Annelida) en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85(12), pp. 190-196. Recuperado de: <http://revista.ib.unam.mx/index.php/bio/article/view/1075/973>.

Villamar, F. (1983). Catálogo de los poliquetos bentónicos del Golfo de Guayaquil. *Revista Acta Oceanográfica del Pacífico*. INOCAR, Vol. 2 (2).

Warwick, R.M. & Clarke, K.R. (1994). Relearning the ABC: taxonomic changes and abundance/biomass relationships in disturbed benthic communities. *Marine Biology*, 118 (4), pp. 739-744.

Webster, H. E. (1879). Annelida Chaetopoda of New Jersey (Annual Report No. 32, 1878). New York: New York State Museum of Natural History.

Wilhm, J.L., & Dorris, T.C. (1968). Biological parameters for water quality criteria. *BioScience*, 18 (6), pp. 477-481.

Word, J.Q. (1979). The Infaunal Trophic Index, *Coastal Water Research Project, California, USA*, pp. 19-39.

Zenetos, A. & Bogdanos, C. (1987). Benthic community structure as a tool in evaluation effects of pollution in Elefsis Bay. *Thalassographica*, 10 (1), pp. 7-21.

Zúñiga, M. del C. & Cardona, W. (2009). Bioindicadores de la Calidad de Agua y Caudal Ambiental. En J., Cantera, J., Carvajal & L.M., Castro (eds.), *Caudal Ambiental: Conceptos, Experiencias y Desafíos*, pp. 176-206. Cali, Colombia: Universidad del Valle.

ANEXO

Anexo 1. Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo

# de Estaciones	Estaciones	Coordenadas	
		Latitud	Longitud
Est. 1	Monumento Renacimiento	18°29'35.38"	88°18'12.28"
Est. 2	Muelle Fiscal	18°29'34.40"	88°17'54.59"
Est. 3	Congreso del Estado	18°29'33.28"	88°17'35.38"
Est. 4	Balneario Punta Estrella	18°29'35.06"	88°17'30.11"
Est. 5	Leos Bar	18°29'37.88"	88°17'11.96"
Est. 6	Refugio de Aves	18°30'02.19"	88°17'01.44"
Est. 7	Balneario Dos Mulas	18°30'31.90"	88°16'42.37"
Est. 8	UQROO	18°31'14.54"	88°16'08.75"
Est. 9	Drenaje de Proterritorio	18°31'41.11"	88°15'57.09"
Est. 10	Balneario Calderitas	18°33'35.12"	88°14'58.68"

Anexo 2. Parámetros fisicoquímicos por estación

# de Estaciones	Estaciones	Parámetros				
		Oxígeno D. (mg/l)	T (°C)	Salinidad (ppm)	Conductividad (mS/cm)	Ph
Est. 1	Monumento Renacimiento	6.9	26.3	2.9	5.21	8.21
Est. 2	Muelle Fiscal	7.4	27.4	4.4	9.23	8.13
Est. 3	Congreso del Estado	6.6	28.2	8.8	15.92	8.09
Est. 4	Balneario Punta Estrella	6.6	26.9	9.2	18.24	7.98
Est. 5	Leos Bar	6.8	27.9	8.8	16.32	7.86
Est. 6	Refugio de Aves	6.3	28.2	6.8	17.93	7.8
Est. 7	Balneario Dos Mulas	8	28.7	9.6	18.49	7.9
Est. 8	UQROO	6.5	27.3	10.9	19.25	7.89
Est. 9	Drenaje de Proterritorio	7.7	27.9	10.8	18.14	7.96
Est. 10	Balneario Calderitas	7.1	28.7	10.4	18.67	7.93

Anexo 3. Número de individuos por especie en cada estación

Familia	Nereididae	Capitellidae		Spionidae
Especies	<i>Laeonereis culveri</i>	<i>Capitella cf. capitata</i>	<i>Heteromastus filiformis</i>	<i>Streblospio benedicti</i>
Estaciones				
Est. 1	1	0	0	0
Est. 2	6	12	0	0
Est. 3	15	3	0	0
Est. 4	32	9	0	4
Est. 5	13	1	0	4
Est. 6	60	1	0	0
Est. 7	1	2	0	1
Est. 8	3	1	0	0
Est. 9	34	62	0	0
Est. 10	13	0	2	0

Anexo 4. Biomasa total (g) de individuos por especie en cada estación

Familia	Nereididae	Capitellidae		Spionidae
Especies	<i>Laeonereis culveri</i>	<i>Capitella cf capitata</i>	<i>Heteromastus filiformis</i>	<i>streblospio benedicti</i>
Estaciones				
Est. 1	0.0417	0.0000	0.0000	0.0000
Est. 2	0.0121	0.0585	0.0000	0.0000
Est. 3	0.6926	0.0080	0.0000	0.0000
Est. 4	1.0566	0.0111	0.0000	0.0011
Est. 5	0.2310	0.0013	0.0000	0.0018
Est. 6	0.4205	0.0000	0.0000	0.0000
Est. 7	0.0124	0.0061	0.0000	0.0000
Est. 8	0.0313	0.0000	0.0000	0.0000
Est. 9	0.3945	0.1215	0.0000	0.0000
Est. 10	0.2857	0.0000	0.0050	0.0000

Anexo 5. Resultados del análisis del contenido de materia orgánica

#	Estación	Peso de Sedimento Seco (g)	Sulfato Ferroso Gastado (ml)	M.O %	CLASE
E1	Monumento R.	0.5002	8.8	0.72	bajo
E2	Muelle F.	0.5000	7.8	1.32	medio
E3	Congreso del E.	0.5007	7.8	1.32	medio
E4	Balneario P. E.	0.5006	8.5	0.9	bajo
E5	Leos Bar	0.5004	6.5	2.1	medio
E6	Refugio de A.	0.5006	7.9	1.26	medio
E7	Balneario D. M.	0.5004	8.6	0.84	bajo
E8	UQROO	0.5006	7	1.8	medio
E9	Drenaje de P.	0.5008	8.5	0.9	bajo
E10	B. Calderitas	0.5007	8.6	0.84	bajo



Anexo 6. Especie: *Capitella cf. capitata*



Anexo 7. Especie: *Laeonereis culveri*



Anexo 8. Tamizado de muestra de sedimento



Anexo 9. Selección de poliquetos de tamiz



Anexo 10. Análisis granulométrico utilizando el método de tamizado a través de un mezclador marca RO-TAB RX-29



Anexo 11. Instrumentos de medición para los parámetros fisicoquímicos