

**Caracterización de las condiciones fisicoquímicas,
clorofila *a* y seston total en el golfo de Urabá y su
relación con la distribución espacial de grandes grupos
de zooplancton**

Trabajo de grado

Estudiante:

ELIZABETH QUICENO

Asesora:

Nataly Gutiérrez Isaza MSc

Asesor enlace:

Fernando Parra Velandia PhD

Co-Asesora:

Ana María Palacio Castro PhD

Universidad de Antioquia

Corporación Académica Ambiental

Programa Ecología de Zonas Costeras

Turbo

2020

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto Lineamientos Prioritarios para la Formulación de un Ordenamiento Pesquero del Golfo de Urabá- LOPEGU financiado por la Gobernación de Antioquia a través del Sistema General de Regalías.

A la profesora Jenny Leal, Coordinadora del proyecto LOPEGU, quien no solo me brindó una oportunidad laboral invaluable, sino que me permitió retomar mi proyecto académico al ofrecerme la opción de realizar mi trabajo de grado dentro del marco del proyecto LOPEGU.

A mis asesores por el apoyo, la paciencia, las enseñanzas, y compromiso durante todo este proceso.

A doña Rocio Cartagena, por creer en mí y apoyarme tanto, porque su apoyo fue fundamental y demasiado valioso para mí, gracias a ella pude contar con los recursos para ingresar a la Universidad y costear todo mi proceso académico.

A mi familia, por ser mi base, motor y motivación para seguir y no desfallecer.

A Nata y a Luisa, porque más que amigas, compañeras y maestras de vida, han sido guía, hoy son parte de mi familia y me han enseñado demasiado, siempre estaré agradecida con Dios y la vida por poder seguir contando con Luisa y muy especialmente por poner a Nata en mi camino, gracias por estar y por aguantarme, por esa paciencia sobredimensionada que me tuviste en tantos momentos.

A Cristian por motivarme y ser ese impulso cuando yo no pensaba que podría seguir, gracias por estar y acompañar de una manera tan innata y natural, gracias por hacer el camino más llevadero y a mis hijas que son mi vida, el mayor impulso y más vital fuerza para seguir.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	6
1.1. Marco teórico.....	9
1.2. Antecedentes.....	10
1.3. Planteamiento del problema.....	14
1.4. Preguntas de Investigación.....	15
1.5. Hipótesis.....	15
1.6. Objetivo General:.....	15
1.6.1 Objetivos específicos:	15
2. MÉTODOS	16
2.1. Área de estudio.....	16
2.2. Métodos en campo.....	18
2.3. Metodología de Laboratorio	19
2.3.1. Parámetros fisicoquímicos.....	19
2.3.2. Clorofila <i>a</i>	19
2.3.3. Seston total.....	20
2.3.4. Zooplancton.....	20
2.4. Análisis de datos.....	21
3. RESULTADOS	22
3.1. Variables ambientales.....	22
3.2. Zooplancton.....	30
3.3. Relación de las variables ambientales y grupos de zooplancton.....	37
4. DISCUSIÓN	39
4.1. Variables ambientales.....	39
4.2. Zooplancton.....	42
4.3. Relación de las variables ambientales y grupos de zooplancton.....	44
5. CONCLUSIONES	45
6. RECOMENDACIONES	46
BIBLIOGRAFÍA	47
ANEXOS	52

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Listado de los valores promedio de las variables fisicoquímicas, clorofila <i>a</i> y seston total medidas en las estaciones de muestreo	25
Tabla 2 Correlación de Spearman entre las diferentes variables fisicoquímicas y los valores hallados de concentración de clorofila <i>a</i> y seston total. ** Valores de correlación significativa entre las variables. * Valores de correlación significativa entre las variables, pero menores a 0.6.	26

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio, ubicación de las 13 estaciones de muestreo del proyecto LOPEGU	18
Figura 2 Relación de los valores de transparencia y salinidad por sitio de muestreo (se observan los resultados de muestreos dobles, debido a que de cada uno se realizó réplica) y temperatura asociada a cada sitio. Coeficiente de Spearman (ρ , $p < 0.05$) para transparencia y salinidad = 0.75, transparencia y temperatura = 0.77, temperatura y salinidad = 0.53.	27
Figura 3 Relación entre los valores de transparencia, clorofila <i>a</i> (mg/L) y seston por sitio de muestreo. A: clorofila <i>a</i> versus transparencia (Todos los datos, $\rho = -0.59$). B: clorofila <i>a</i> versus transparencia (Sin El Uno, $\rho = -0.55$). C: clorofila <i>a</i> versus seston total (Todos los datos, $\rho = 0.53$). D: clorofila <i>a</i> versus seston total (Sin El Uno, Leoncito y El Roto, $\rho = \text{NS}$).	27
Figura 4 Análisis de componentes principales para los datos fisicoquímicos colectados en las diferentes localidades del golfo de Urabá.	29
Figura 5 Riqueza, densidad y biomasa volumétrica de los grupos de zooplancton descritos en las estaciones de muestreo	33
Figura 6 Densidad de grupos zooplanctónicos por sitio de muestreo. Los datos de han sido transformados con logaritmo en base 10 para visualizar mejor los grupos menos abundantes.	34
Figura 7 Grupos zooplanctónicos con abundancias relativas mayores al 15%.	35
Figura 8 Análisis de agrupamiento para la clasificación de los diferentes sitios de muestreo con base en la abundancia de los taxones encontrados. El eje Y muestra la distancia entre las diferentes ramas del árbol.	36

Figura 9 Relación de la salinidad y la clorofila a con variables biológicas (riqueza y densidad).....	38
--	----

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 Catálogo en orden alfabético de grandes grupos del zooplancton de las muestras colectadas durante el proyecto “Lineamientos Prioritarios para la Formulación de un Ordenamiento Pesquero del Golfo de Urabá” Actividad 2 “Evaluación Biológica y Pesquera de los Principales Caladeros de Pesca del golfo de Urabá”	53
Anexo 2 Listado de las estaciones establecidas por LOPEGU y valores fisicoquímicos medidos durante el séptimo muestreo.	62
Anexo 3 Listado taxonómico de los grandes grupos de zooplancton identificados en este estudio (Boltovskoy, 1981).	63
Anexo 4 Listado en orden alfabético de los grandes grupos de zooplancton identificados, densidades de estos grupos en cada una de las estaciones de muestreo; densidad total y biovolumen.	68

1. INTRODUCCIÓN

Son diversos los factores ambientales que influyen la composición de las comunidades biológicas en los ecosistemas (temperatura, oxígeno disuelto, pH, transparencia del agua, salinidad, entre otros). En general, se considera que temperatura y salinidad son los factores fisicoquímicos más importantes que afectan la distribución de los organismos planctónicos en los ecosistemas marinos (Harris et al., 2000). Así mismo, se ha encontrado la relación de estos factores con variables biológicas del zooplancton y se ha encontrado que hay una asociación positiva con la riqueza y la densidad de estos organismos (Gadea-Pérez, 2009, Harris et al., 2000). En general, estos factores influyen las comunidades biológicas en las que se llevan a cabo las complejas dinámicas de transferencia de energía entre los diferentes niveles tróficos, desde los grupos de plancton hasta llegar a los peces (Friedland et al., 2012).

El plancton comprende a todos aquellos organismos marinos que derivan en el agua, ya sea porque carecen de medios de locomoción, o porque estos medios son insuficientes para soportar las corrientes (Harris et al., 2000). Este diverso grupo de organismos puede ser clasificado de acuerdo a su nivel trófico en productores primarios o fitoplancton y consumidores o zooplancton. Tanto el fitoplancton, como el zooplancton constituyen la base de las redes tróficas en los ecosistemas marinos y costeros, y como tal el impacto de los factores ambientales que moldean su estructura y funcionamiento afectarán a la estructura y composición de grupos tróficos superiores (Conti y Scardi, 2010, Friedland et al., 2012).

Los controles de las redes tróficas en estos ambientes pelágicos pueden variar de acuerdo a las épocas climáticas entre un control "bottom-up" o "top-down". El control bottom-up ocurre en la base de la red trófica y se extiende hacia los niveles tróficos superiores. En el ambiente pelágico este control bottom-up está relacionado con las restricciones en los nutrientes que limitan al fitoplancton y, por consiguiente, limitan los niveles tróficos superiores que dependen del fitoplancton. El control top-down se

relaciona con el control que es llevado a cabo por grupos tróficos superiores, los cuales limitan las poblaciones de grupos tróficos inferiores al alimentarse de estos. En el ambiente pelágico estos controles co-existen, y pueden variar de acuerdo a la época climática, con el control top-down asociado a una red microbial siendo más frecuente en regiones cálidas y oligotróficas, mientras que el control bottom-up suele ser más frecuente en zonas eutróficas de aguas frías (Harris et al., 2000). En particular, ha sido descrito un fenómeno en zonas con gran cantidad de nutrientes donde el aumento del zooplancton ejerce presión top-down sobre el fitoplancton, que podría explicar que ciertas regiones con altos niveles de nutrientes, tengan concentraciones bajas de clorofila (Harris et al., 2000).

El estudio de las complejas relaciones tróficas entre el fitoplancton y el zooplancton requiere diversos enfoques. Es innegable que las actividades antropogénicas afectan la estructura y funcionamiento de los ecosistemas marinos (Conti y Scardi, 2010; Gadea-Pérez, 2009). Cada vez es mayor la cantidad de nutrientes y sedimentos que llegan a las zonas costeras de todo el mundo debido en gran medida a la deforestación causada por actividades como la minería, la agricultura, entre otras. Este aumento en el arrastre de nutrientes y sedimentos a los ecosistemas marinos impactan directamente el fitoplancton que es la base de las redes tróficas (Gadea-Pérez, 2009). Este impacto sobre el fitoplancton ocurre principalmente cuando las condiciones óptimas para su crecimiento se ven afectadas, por ejemplo, cuando el sedimento impide el paso de la luz, factor vital para los diversos organismos fotosintéticos que componen el fitoplancton (Betancur-Turizo, 2001). Por lo tanto, estudiar las variables ambientales en conjunto con los organismos que habitan la columna de agua es una herramienta clave para entender la dinámica de las comunidades y el posible impacto de nuestras actividades sobre las redes tróficas.

Debido a la gran diversidad de los organismos que se encuentran en el plancton, han surgido algunas clasificaciones. Estas clasificaciones pueden enfocarse en la presencia de pigmentos fotosintéticos, como por ejemplo la división entre

fitoplancton y zooplancton. Dentro del zooplancton hay una clasificación basada en el tamaño, debido a que se puede encontrar una gran variabilidad en esta característica. De acuerdo a su tamaño el zooplancton puede clasificarse como Femtoplancton (0.02-0.2 μm), Picoplancton (0.2-2.0 μm), Nanoplancton (2.0-20 μm), Microplancton (20-200 μm), Mesoplancton (0.2-20 mm) (Harris et al., 2000). Otra categorización que se reconoce en los grupos de zooplancton corresponde a la zona en la que habita. El plancton oceánico es el que se encuentra fuera de la plataforma continental y el plancton nerítico es aquel que habita en la zona costera. En el plancton nerítico se puede encontrar una mezcla entre el plancton y organismos del bentos (Boltovskoy, 1981). Así mismo, este no presenta migraciones verticales tan marcadas como en las comunidades de la zona oceánica en donde algunos grupos pueden moverse hacia profundidades que alcanzan los 500 a 1000 m (Harris et al., 2000). En términos de diversidad, la mayor diversidad de especies suele encontrarse en zonas tropicales, mientras que valores más bajos suelen encontrarse en zonas polares y áreas salobres como los estuarios (Boltovskoy, 1981; Harris et al., 2000).

Se considera que pueden existir alrededor de 36.000 especies de zooplancton de las cuales se desconoce más de la mitad, principalmente las especies que pertenecen al grupo del meroplancton (Harris et al., 2000). Entre los grupos dominantes en el zooplancton, los crustáceos presentan ocho órdenes que abundan en las comunidades pelágicas: cladóceras, ostrácodos, copépodos, cirripedia, misidáceos, anfípodos, eufaúsidos, y decápodos (Harris et al., 2000). Son también comunes los organismos “gelatinosos” que comprenden varios grupos de cnidarios, tunicados y otros grupos ecológicamente importantes como los rotíferos, pterópodos, quetognatos y especialmente las larvas (y huevos) de peces (Boltovskoy, 1981; Harris et al., 2000). Aun así, es poco lo que se conoce de la diversidad y distribución de estos organismos en el golfo de Urabá, así como se desconoce, cómo los parámetros fisicoquímicos en el Golfo influyen dicha distribución.

1.1. Marco teórico

La caracterización de las comunidades zooplanctónicas en las comunidades acuáticas puede proporcionar información útil para el sector pesquero (Conti y Scardi, 2010). Aun así, encontrar una relación directa entre los productores primarios, productores secundarios y la productividad pesquera es difícil. Debe tenerse en cuenta que los ecosistemas marinos son altamente dinámicos, en donde factores como la temperatura, la salinidad y la profundidad juegan un papel importante en la distribución de organismos; además de reconocer el efecto que pueden tener eventos cíclicos o puntuales, ambientales o antropogénicos sobre dicha distribución (Harris et al., 2000). Sin embargo, se considera que la biomasa zooplanctónica sirve como indicador de la oferta de producción secundaria en sistemas pelágicos (Bernal et al., 2004; Conti y Scardi, 2010).

Se estima que, en los ecosistemas marinos, la eficiencia de la transferencia de energía entre los niveles tróficos oscila de 5 a 20%, y decrece en los niveles tróficos más altos debido al aumento de la respiración. Aunque solo una parte de productores secundarios, como los copépodos y herbívoros, responden directamente a los cambios ocurridos en la productividad primaria (Harris et al., 2000), se ha encontrado que la variabilidad temporal de la productividad primaria está relacionada con las pesquerías (Conti y Scardi, 2010). Por ejemplo, en las zonas oceánicas ricas en nutrientes generalmente hay un mayor porcentaje de pesca porque el fitoplancton permite el sostenimiento de niveles tróficos superiores (IAI, 2010). Algunos estudios han demostrado la relación entre la productividad primaria y la producción pesquera, con resultados a escala regional que indican que la primera puede ser una buena predictora de la segunda (Friedland et al., 2012).

Todas las especies de fitoplancton poseen clorofila *a* como pigmento fotosintético, por lo que la concentración de clorofila *a* es un buen estimador de la biomasa total del fitoplancton (Gregor y Maršalek, 2004); esta estimación se realiza de forma indirecta y dicho valor puede incluso ser usado como un importante índice del estado fisiológico del fitoplancton (Gregor y Maršalek, 2004; Hernández et al., 2011).

En general, la clorofila *a* es considerada un indicador robusto del fitoplancton (Gregor y Maršalek, 2004; Sartory y Grobelaar, 1984).

Como en los ecosistemas marinos no existen límites físicos que eviten la mezcla y transporte de masas de agua entre zonas contiguas, no es posible hacer un seguimiento de las poblaciones de zooplancton (Harris et al., 2000). Debido a que los organismos que componen el zooplancton están fuertemente influenciados por los factores abióticos, se recomienda en estudios del zooplancton, incluso en aquellos que incluyen muestreos periódicos, acompañar los arrastres de las mediciones de variables oceanográficas (Boltovskoy, 1981; Harris et al., 2000). De esta forma se puede asociar los cambios en las propiedades de las masas de agua ocasionados por la hidrodinámica de los lugares con potenciales cambios en la comunidad del zooplancton (Boltovskoy, 1981; Harris et al., 2000). La influencia de los factores abióticos en las comunidades zooplanctónicas puede ser observada en la composición de las mismas, o incluso en algunas características de los organismos que componen el zooplancton. La salinidad y el contenido de oxígeno son factores de estrés físico que limitan la distribución de especies, y, en aquellas especies que pueden resistir cambios en estos factores, es posible observar que su crecimiento (abundancia) y tamaño se ven reducidos. Por ejemplo, los organismos que habitan zonas salobres tienden a ser más pequeños que los que se encuentran en zonas marinas (Harris et al., 2000).

1.2. Antecedentes

En el golfo de Urabá se reconocen dos épocas climáticas: época húmeda y época seca, las cuales tienen una fuerte influencia en la variación espacial de las diferentes variables fisicoquímicas en las capas superficiales del agua (1 m de profundidad) (García-Valencia 2007). La temperatura presenta una distribución más uniforme en la época seca (27.4 - 28.25 °C) comparado con la época húmeda (26 - 29 °C). Del mismo modo la salinidad presenta valores más uniformes en la época seca (0.8 - 35.5 psu) comparado con la época húmeda (2 - 26 psu). El oxígeno disuelto presenta valores que superan los 5 mg/L en la época húmeda, mientras que en la

época seca los valores oscilan entre 3 - 7.5 mg/L. La información de turbidez (sólidos en suspensión) proviene del crucero "Urabá - fase II", el cual se realizó en 1989 (CIOH, 1990), los resultados muestran valores altos que son siempre superiores a 5 mg/L, con algunas pocas excepciones, y que en algunos lugares como la boca de El Roto pueden llegar a superar los 500 mg/L (García-Valencia 2007).

En el golfo de Urabá las estimaciones de la clorofila *a* realizadas usando imágenes satelitales encontraron una concentración entre 0 y 8 mg/m³ (Silva, 2011). Otros estudios en la región que han incluido las diferencias temporales, han reportado rangos de variación más amplios en este parámetro. Por ejemplo, en el sector de la bahía Marirrio se encontró que los valores de máxima concentración de clorofila *a* se presentaron en abril (26.6 mg/ m³) y la menor concentración se presentó en diciembre (0.59 mg/ m³) (Zapata, 2015). Trabajos recientes reportan una mayor concentración de clorofila *a* durante la época húmeda comparada con la época seca: 0.208 - 23.464 mg/ m³ durante la época húmeda y 0.382 - 15.643 mg/ m³ en época seca. Adicionalmente establecen que los valores más bajos de clorofila *a* en la zona del Delta del Río Atrato: El Roto y Marirrio en época húmeda y seca respectivamente; mientras los valores más altos se encontraron en la zona Nororiental del Golfo: Punta Arenas Norte y Sabanilla en época húmeda y seca respectivamente (Ayala-Serrano y Márquez-Palencia, 2017).

El estudio del zooplancton en el golfo de Urabá ha sido más limitado, aunque se resalta el trabajo de Cuesta-Córdoba y Correa-Herrera (2016), en el que se describe la comunidad zooplanctónica de una de las bocas del Atrato. A pesar de la escasez de trabajos previos en el área de estudio, otras publicaciones sirven como base para esta investigación. Por ejemplo, Harris et al. (2000) resalta diversas monografías que investigaron la biología de diferentes grupos de zooplancton como Dinoflagelados (Taylor, 1987), Ostracoda (Angel, 1993) y Copepoda (Rose, 1933; Marshall y Orr 1955; Mauchline 1998), entre otros; para ver una lista completa remitirse a Harris et al. (2000: 6).

En las zonas arrecifales de Costa Rica se ha encontrado que las comunidades zooplanctónicas están dominadas por copépodos y que existe una mezcla entre plancton nerítico y oceánico; adicionalmente se hallaron mayores densidades y riqueza en la época seca, mientras que en la época de lluvias estos valores disminuyeron (Guzmán y Ovando, 1988).

En latitudes altas se ha encontrado que hay una variabilidad estacional en la abundancia de los grupos zooplanctónicos, la cual puede estar relacionada con la circulación de las masas de agua (Araskkevich et al., 2002). También se ha visto que esta variación estacional puede ocurrir en relación con el viento, por ejemplo, se ha encontrado que en una bahía semi-expuesta de la región centro-norte de Chile, los grupos zooplanctónicos fueron más abundantes en invierno, donde la velocidad del viento fue baja en comparación con las otras épocas climáticas (Loreto et al., 2016). Por el contrario, en estuarios tropicales se ha registrado que los cambios en la composición zooplanctónica están principalmente influenciados por la salinidad, la clorofila *a*, la temperatura y las diferencias de pH (Farhadian y Pouladi, 2014).

La relación de la abundancia del zooplancton con la temperatura y la salinidad también ha sido encontrada en los sistemas lagunares, como es el caso de la laguna de Coyuca en el Pacífico Mexicano. En dicha laguna se encontró una correlación positiva entre la temperatura, la salinidad y la abundancia de los organismos zooplanctónicos (Álvarez-Silva y Torres-Alvarado, 2013).

En la bahía de Santa Marta se han registrado diferencias en la diversidad y abundancia del zooplancton en relación inversa con la luz, fenómeno que podría estar relacionado con la migración vertical, también se reportó a los copépodos como el grupo más abundante (Bernal y Zea, 1993).

Muestreos a lo largo del Caribe colombiano (sin incluir puntos de muestreo en el golfo de Urabá) han descrito una distribución espacial y temporal heterogénea de la biomasa de zooplancton. Se reportan a los copépodos como un grupo con altos valores de biomasa solo para la época alta de frecuencia de los vientos alisios; y así mismo, los Chaetognatos fueron el grupo más abundante durante época de baja

frecuencia de alisios, demostrándose así un el efecto de las condiciones atmosférico-oceanográficas (Bernal et al., 2004).

En la costa pacífica colombiana durante la fase cálida del Fenómeno del Niño se han observado la reducción de un orden de magnitud en la abundancia y biomasa del zooplancton. Este patrón que también se refleja en las larvas de peces, lo que podría indicar cambios en las estrategias de reproducción de peces cuando hay eventos que perturban las condiciones ambientales (Martínez-Aguilar et al., 2010).

El inventario de las larvas de peces registradas para el Caribe colombiano reporta un total de 129 especies descritas, de las cuales el orden Perciformes presenta el mayor número de familias. La mayoría de estas especies fueron descritas en La Guajira, Magdalena, Bolívar y San Andrés y Providencia y pertenecen a familias de importancia comercial, particularmente Carangidae, Lutjanidae, Clupeidae y Engraulidae (Medellín-Mora et al., 2013).

Usando arrastres verticales de zooplancton para evaluar el impacto de la desembocadura del río Magdalena en la distribución geográfica del ictioplancton, no se encontró una relación entre factores abióticos como temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y clorofila *a* sobre la densidad de las comunidades ictioplanctónicas; pero se encontró una mayor relación de la densidad con la ubicación geográfica y la profundidad (Pabón-Méndez, 2013).

En la Bahía de Cartagena se han identificado 143 taxones para 3 épocas climáticas, el copépodo *Acartia tonsa* dominó las muestras y su abundancia relativa es mayor en la época lluviosa comparada con la época seca. Adicionalmente, se comprobó que la temperatura y el oxígeno disuelto están relacionados con las variaciones temporales del zooplancton (Dorado-Roncancio 2015).

En el río Atrato, la riqueza y densidad del zooplancton se incrementa desde lugares de menor salinidad hacia lugares de mayor salinidad en una de las bocas. De los 41 taxones de zooplancton descrito para el área, los más importantes son Calanoida y Diplostraca (Cladocera) (Cuesta-Córdoba y Correa-Herrera, 2016).

Aunque la información es poca, existen antecedentes que permiten perfilar los valores de productividad biológica del Golfo usando como estimador las mediciones de clorofila *a* (Silva, 2011; Zapata, 2015; Ayala-Serrano y Márquez-Palencia, 2017). Sin embargo, la caracterización de los grandes grupos de comunidades zooplanctónicas en el Golfo es fragmentaria pues, aparte del trabajo realizado por Cuesta-Córdoba y Correa-Herrera (2016) enfocado en una de las bocas del Atrato, no existe más información específica de la composición del zooplancton en otros puntos del golfo de Urabá.

1.3. Planteamiento del problema

Para entender la dinámica de los ecosistemas marinos es necesario caracterizar las diferentes comunidades presentes en ellos, así como los factores bióticos (e.g. presencia y abundancia de organismos clave) y abióticos (e.g. condiciones fisicoquímicas) que determinan su composición. Como se ha mostrado en la sección de antecedentes, es claro que las comunidades zooplanctónicas están fuertemente influenciadas por los factores fisicoquímicos. En el caso de los ambientes estuarinos, la salinidad es un factor clave que afecta la composición del zooplancton, así como la temperatura y la clorofila *a*.

El conocimiento de las dinámicas que ocurren en la base de las redes tróficas entre las variables fisicoquímicas, los nutrientes disponibles y el plancton permite comprender mejor, e incluso llegar a predecir los posibles efectos en los niveles tróficos superiores (control bottom-up). Es por esto que, estimar la productividad primaria a partir de la clorofila *a*, determinar la abundancia y composición del zooplancton y relacionar el zooplancton con las variables fisicoquímicas nos permitirá entender mejor los ecosistemas marinos y costeros del golfo de Urabá, y el efecto que estos niveles tróficos inferiores pueden llegar a tener en la composición y estructura de niveles tróficos superiores como por ejemplo, el efecto sobre grupos de peces de importancia para las comunidades pesqueras de la región.

Las costas oriental y occidental del golfo de Urabá presentan diferencias estrechamente relacionadas con el aporte de sedimentos y agua dulce del Atrato y sus afluentes; el Golfo presenta así mismo, una zonificación norte-sur con variación

de condiciones marinas a condiciones estuarinas. Estas diferencias hacen del Golfo un lugar idóneo para realizar una comparación entre los patrones espaciales de las variables ambientales, la concentración de clorofila *a*, el seston total y la composición del zooplancton. Este conocimiento puede servir de base para entender cuáles de los factores abióticos moldean la composición de las comunidades planctónicas en el Golfo, afectando la productividad primaria y secundaria, y de esta manera poder predecir el impacto de cambios ambientales en niveles tróficos superiores.

1.4. Preguntas de Investigación

¿Cómo cambian los parámetros fisicoquímicos, clorofila *a* y seston total en el golfo de Urabá y cómo estos influyen en la distribución de los organismos zooplanctónicos?

1.5. Hipótesis 1: Los parámetros fisicoquímicos, la clorofila *a* y el seston tendrán una variación espacial en el golfo de Urabá determinada por la cercanía a las bocas del Atrato (condiciones estuarinas) o al mar abierto (condiciones marinas).

Hipótesis 2: Existen diferencias en la riqueza, densidad, y/o composición de la comunidad zooplanctónica del golfo de Urabá entre los sitios con condiciones marinas versus estuarinas (e.g. entre sitios con alta y baja salinidad).

1.6. Objetivo General: Caracterizar las condiciones fisicoquímicas, la clorofila *a* y el seston total en diferentes zonas del golfo de Urabá y relacionarlas con la presencia de grandes grupos zooplanctónicos.

1.6.1 Objetivos específicos:

- Caracterizar las condiciones fisicoquímicas (temperatura, oxígeno disuelto, salinidad, conductividad, pH, transparencia del agua) en diferentes sitios del golfo de Urabá.
- Estimar la concentración de clorofila *a* y seston total en los sitios de muestreo.

- Identificar grandes grupos de zooplancton presentes en los diferentes sitios del golfo de Urabá.
- Relacionar la variación del zooplancton con las variables fisicoquímicas, la clorofila *a* y el seston total en las zonas de muestreo del Golfo.

2. MÉTODOS

2.1. Área de estudio

El golfo de Urabá está ubicado en el extremo meridional del Mar Caribe colombiano, en cercanías a la frontera con Panamá (Chevillot et al., 1993), enmarcado entre los 8° 37' y 7° 55' N y 77° 25' y 76° 55' W. El área es compartida por los Departamentos de Chocó y Antioquia; su longitud es de aproximadamente 85 km, y el sector más ancho tiene 39 km (entre Triganá y Necoclí), mientras que el sector más estrecho tiene 9 km (entre Puntas de Las Vacas y Bocas del Atrato) (Chevillot et al., 1993; Díaz et al., 2000). Está catalogada como una de las regiones más lluviosas del mundo, con valores cercanos a los 3000 mm (Díaz et al., 2000). Su temperatura promedio es de 27.2 °C (López, 2005) y en él se presentan dos épocas climáticas definidas: La primera, denominada época media, va desde finales de diciembre hasta abril y se caracteriza por el predominio de vientos alisios muy fuertes con dirección norte-noreste, y una velocidad mensual promedio de 4 m/s, siendo más intensos en febrero cuando alcanza los 9.4 m/s. La segunda época comienza en mayo, se conoce como época húmeda, presenta vientos de direcciones variables, con predominio de las componentes del sur y velocidades bajas (Chevillot et al., 1993).

En la época media el oleaje es bastante fuerte, se registra una frecuencia de 10% para olas con altura superior a los cuatro metros y de 3% para olas mayores a los seis metros, oleaje que es el factor determinante de la deriva litoral que provoca erosión y acreción en las costas del Golfo. La época húmeda se caracteriza por vientos débiles con dirección variable principalmente del sur y una alta pluviosidad, que origina gran aporte fluvial de agua dulce y turbidez. Dichos vientos junto con las

corrientes de la superficie facilitan el transporte de las partículas diluidas en las masas de agua, hacia el norte, cuyo carácter marino aumenta a medida que se alejan del Golfo (Chevillot et al., 1993).

La velocidad del viento muestra una variación bimodal estacional a lo largo del Golfo. Generalmente es fuerte en temporada seca entre noviembre y marzo, seguido por una rápida disminución de su velocidad entre marzo y mayo acompañada del aumento de lluvias; luego se produce incremento en la intensidad durante junio y septiembre, conocido como el veranillo de San Juan, luego esta disminuye hasta noviembre cuando la estación de vientos comienza nuevamente (Andrade, 1993).

El golfo de Urabá se ve fuertemente influenciado por el gran aporte de sedimentos y aguas dulces, del río Atrato y los otros afluentes de la cuenca. Estos dos factores determinan que gran parte del ecosistema costero esté formado por amplios cinturones de manglares, playones fango-arenosos y barras de sedimentación (Haffer, 1970). Este estudio se realizó en la zona del Golfo que corresponde al departamento de Antioquia, la cual comprende los municipios costeros de Turbo, Necoclí, San Juan de Urabá y Arboletes.



Figura 1. Área de estudio, ubicación de las 13 estaciones de muestreo del proyecto LOPEGU.

2.2. Métodos en campo

Los datos usados en este estudio fueron colectados en las 13 estaciones durante el séptimo muestreo (10 al 28 de agosto del 2016, época húmeda) del Proyecto “Lineamientos Prioritarios para la Formulación de un Ordenamiento Pesquero del Golfo de Urabá - LOPEGU” (Figura 1).

En cada sitio se midieron por duplicado las variables fisicoquímicas. Usando un multiparámetro HANNA, se obtuvieron datos de temperatura, oxígeno disuelto, conductividad y pH. El límite de visibilidad en la columna de agua o transparencia fue medido con un disco Secchi de 30 cm de diámetro; adicionalmente, se tomaron muestras de agua superficiales usando un muestreador Alfa horizontal en PVC marca Wildco, las muestras de agua fueron almacenadas en recipientes plásticos

de 1 L de capacidad. Las muestras para estimar la clorofila *a*, se almacenaron en recipientes oscurecidos y fueron transportadas al laboratorio en neveras plásticas con hielo para evitar la degradación de la clorofila *a*.

Para muestrear el zooplancton, se usó una red cónica de ojo de malla 250 μm , 1.2 m de largo y 30 cm de diámetro con colector rígido de PVC. Se realizaron arrastres superficiales durante 6 min, cubriendo un área circular a una velocidad promedio de 2 nudos. La red fue remolcada lateralmente desde una lancha de motor fuera de borda. El volumen fue establecido usando un flujómetro marca Hydro-bios, los números inicial y final del contador del flujómetro fueron registrados para cada arrastre. Las muestras de zooplancton fueron almacenadas en recipientes plásticos de 500 ml de capacidad, fijadas con formol al 4 % y transportadas al laboratorio (Boltovskoy, 1981, Harris et al., 2000).

2.3. Metodología de Laboratorio

2.3.1. Parámetros fisicoquímicos

Los datos fisicoquímicos fueron digitalizados y los valores de salinidad fueron calculados a partir de los registros obtenidos de conductividad y temperatura, usando los algoritmos descritos en UNESCO (1983) y la plantilla de excel desarrollada por Douglass (2010).

2.3.2. Clorofila *a*

Debido a las diferencias en la carga de la muestra de agua y la velocidad de saturación del filtro, los volúmenes filtrados para la estimación de la concentración de clorofila *a* variaron entre 250 ml y 1 L (Wetzel y Likens, 2000). La estimación de la clorofila *a* se llevó a cabo aplicando el método Stricklan y Parson descritos en Garzón-Ferreira *et al.* (2002). Las muestras almacenadas en frascos oscuros se filtraron empleando una bomba de vacío y filtros de fibra de vidrio Whatman GF/F (0,7 μm de poro). Al terminar de filtrar se limpiaron los bordes del frasco contenedor con agua de mar filtrada, se le agregaron al filtro 2 ml de solución de carbonato de magnesio para evitar que la muestra en el filtro se acidificara y se volvió a filtrar. Una vez obtenida la muestra en el filtro este se dobló por la mitad 3 veces hasta

obtener una figura correspondiente a un octavo del círculo inicial. Los filtros se guardaron en sobres de papel aluminio y se llevaron al congelador por 24 horas, luego el filtro se introdujo en tubos de ensayo plásticos de 15 ml con tapa y forrados en papel aluminio. A cada tubo se le agregaron 13 ml de acetona al 90%, se trituraron con el homogeneizador de tejidos y se almacenó en la nevera por 24 horas. Pasadas las 24 horas se centrifugaron las muestras a 4000 rpm por 5 minutos (UNESCO, 2010). Se realizó la medición espectrofotométrica a 750 y 665 nm de longitud de onda, y se hizo la corrección por turbidez. También se realizaron las lecturas a 750 y 665 nm luego de acidificar la muestra con 5 gotas de ácido clorhídrico; con los resultados obtenidos se aplicó la ecuación de Lorenzen (1967) para determinar la concentración de feofitinas (Garzón-Ferreira et al. 2002, Rivera et al., 2005, Hernández et al., 2011).

2.3.3. Seston total

Para la estimación del seston total se siguió el protocolo descrito en USEPA (1999), se prepararon filtros de fibra de vidrio de 4.7 cm de diámetro los cuales fueron secados en una estufa a 103 °C durante 1 hora y pesados después de dejarlos enfriar; los filtros permanecieron en el desecador hasta el momento de ser usados. Una vez se tenían las muestras en el laboratorio, 0.1 L de agua previamente homogenizada fueron filtrados. Después de realizar la filtración de la muestra, el filtro se secó en el horno a 103°C por 1 hora, se dejó enfriar, se pesó y se registró el peso final. Los resultados se obtuvieron al dividir la diferencia de peso inicial y final por el volumen filtrado y las unidades resultantes fueron en mg/L.

2.3.4. Zooplancton

En el laboratorio cada muestra de zooplancton se concentró mediante filtración cuidadosa con el fin de no deteriorar los organismos. Una vez concentrada la muestra, fue usada para estimar la biomasa volumétrica depositándola en una probeta con un volumen definido de agua y registrando el volumen inicial y final. Dependiendo del resultado del bio-volumen la muestra fue dividida en porciones iguales usando un separador de muestras, con el fin de obtener fracciones homogéneas para realizar el conteo e identificación en el estereoscopio

(Boltovskoy, 1981). Volúmenes iguales o menores a 1 ml fueron contabilizados en su totalidad, volúmenes mayores a 1 ml y menores de 3.5 ml fueron divididos una vez, mientras que volúmenes superiores a 3.5 ml fueron divididos entre 3 a 4 veces. Una vez se realizó el conteo de organismos en las fracciones seleccionadas, se calculó el número total de individuos en cada muestra al multiplicar por el denominador de la fracción (Boltovskoy, 1981). Adicionalmente fue posible obtener mediciones de densidad en cada sitio de muestreo, al relacionar el número de organismos total y biovolumen, con volumen filtrado por arrastre; el cual fue calculado en metros cúbicos usando las fórmulas descritas en el manual del flujómetro Hydro-bios. Para la identificación de los grandes grupos de zooplancton, se empleó un catálogo de organismos realizado por N. Gutiérrez-Isaza (comunicación personal, 2019) en el marco del proyecto LOPEGU (Anexo 1), el cual usó como guía el libro de Boltovskoy (1981) y el curso de Zooplancton marino impartido por la profesora Beatriz Beltrán para la determinación de los grandes grupos de zooplancton de los primeros seis muestreos. La fuente original (Boltovskoy, 1981) fue consultada cuando se presentaron dudas en la identificación.

2.4. Análisis de datos

Antes de realizar las comparaciones espaciales entre las estaciones de muestreo, se realizó el cálculo de los promedios de las diferentes variables fisicoquímicas medidas en cada sitio. Los datos outliers fueron cotejados con información contenida en las notas de campo para decidir si se incluían o removían de los análisis estadísticos posteriores. Se realizó una correlación de Spearman para tratar de identificar las relaciones entre las variables ambientales, la clorofila *a* y el seston total. Los valores de transparencia del agua, como variable claramente influenciada por el arrastre de sedimentos por el río Atrato, se usaron gráficamente para separar los sitios de muestreo de acuerdo a sus valores de salinidad y temperatura, y seston y clorofila *a*.

Por otra parte, con el fin de observar la variabilidad de los parámetros y determinar en qué medida dichos parámetros influyen el grado de similitud o diferencia entre las estaciones de muestreo, se realizó un análisis de componentes principales

(ACP) con base en las variables ambientales, la clorofila *a* y el seston total. Para este análisis se usaron los valores promedio de las variables, con excepción del valor de oxígeno en Candelaria, el cual correspondió a una sola de las réplicas ya que la otra presentó un dato outlier que fue removido (ver Anexo 2). Adicionalmente se usó el paquete *vegan* (Oksanen et al. 2019) en R v.3.6.3 (R Core Development Team 2020) para hacer el ACP, el cual permite la estandarización automática de las variables para poder trabajar con variables que presentan diferentes unidades como fue el caso.

Para explorar las variables biológicas se realizaron los cálculos de riqueza, densidad (#individuos/m³) y biomasa volumétrica (ml/L). Los valores totales de estas variables fueron graficados para ver a grandes rasgos diferencias entre los sitios. También, se realizaron gráficas de la densidad de organismos diferenciando taxones entre cada sitio y removiendo a los copépodos con el fin de observar la distribución de los otros organismos que tienen menor densidad. Adicionalmente, se contrastaron las variables biológicas con las variables ambientales y la clorofila *a* (estimador de la productividad primaria), con el fin de observar patrones.

3. RESULTADOS

3.1. Variables ambientales

La temperatura promedio registrada en el Golfo durante el mes de agosto de 2016 fue 29.6 °C (+/- 0.839). El lugar que registró la temperatura más alta fue Río Necoclí-Necoclí con un promedio de 30.6 °C (+/- 0.007), mientras que la estación de muestreo ubicada en El Roto-Turbo fue el sitio en el que se registró la temperatura más baja (27.6 °C). Con respecto al oxígeno disuelto, Isla Margarita-Turbo presentó el máximo valor (3.75 mg/L), mientras que Currulao-Turbo tuvo el valor más bajo (2.71 mg/L). En la estación de Bahía Candelaria, una de las réplicas de la medición de oxígeno fue anómalamente alto, alejándose del patrón de datos obtenidos en todas las estaciones de muestreo. Debido a que no se encontraron razones para considerar que este valor estuviera reflejando las condiciones reales, se consideró que este valor outlier pudo deberse a un error al medir dicha variable, por lo que fue removido de los análisis posteriores. La salinidad y conductividad tuvieron una alta

variación, con el valor más alto en Currulao-Turbo (28.7 psu, 48705 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente) y el más bajo en Leoncito-Turbo (0.22 psu, 484 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente). Los valores de pH oscilaron entre 7.5 y 8.8 siendo el más bajo el registrado en El Roto-Turbo y el más alto en Punta Arenas Sur-Necoclí respectivamente. Los valores más altos de transparencia fueron obtenidos en las estaciones más marinas Bajo del Medio-Arboletes y Sabanilla-San Juan de Urabá, donde el disco Secchi registró una profundidad de 5 m, mientras los valores más bajos se registraron más al interior del Golfo, en una de las bocas del río Atrato, Leoncito-Turbo (0.095 m) y Bahía El Uno-Turbo (0.42 m). El valor más bajo de clorofila *a* se registró en Bajo del Medio-Arboletes (1.2322 mg/m^3), mientras que el más alto se registró en Bahía el Uno (14.0575 mg/m^3) (Tabla 1 y Anexo 2); sin embargo, debe resaltarse que los valores de Sabanilla-San Juan de Urabá se ubicaron por debajo de los límites de detección de la técnica empleada ($< 0.347 \text{ mg}/\text{m}^3$).

En general, la transparencia presentó correlaciones de Spearman significativas ($p < 0.05$) con múltiples variables ambientales; temperatura ($\rho = 0.77$), salinidad ($\rho = 0.75$) y pH ($\rho = 0.70$) se correlacionaron positivamente con esta variable, mientras que seston total ($\rho = -0.74$) y clorofila *a* ($\rho = -0.59$) mostraron correlaciones negativas (Tabla 2). La temperatura también estuvo positivamente correlacionada con pH ($\rho = 0.76$) y salinidad ($\rho = 0.53$) y negativamente con seston ($\rho = -0.57$), aunque estas dos últimas correlaciones no fueron muy fuertes. Finalmente, se destacan las correlaciones de pH y seston total ($\rho = -0.65$), oxígeno y clorofila *a* ($\rho = 0.56$) y seston y clorofila *a* ($\rho = 0.53$) (Tabla 2).

Al relacionar tres variables importantes como lo son la transparencia, salinidad y temperatura (Figura 2), se observan dos grupos principales. El grupo con los valores más altos de salinidad, transparencia y en general las más altas temperaturas, conformado principalmente por los sitios más al norte del Golfo (Necoclí y Arboletes) y dos de las estaciones ubicadas en Turbo (Bahía Candelaria y Currulao). Por otra parte, se encuentra el grupo de valores intermedios a bajos de Salinidad,

Transparencia y Temperatura conformado netamente por estaciones de muestreo en Turbo (Figura 2).

De manera similar se puede observar la relación inversa entre la transparencia del agua y la concentración de clorofila *a*. Al considerar todas las estaciones de muestreo estas variables tuvieron una relación inversa ($\rho=-0.59$, $p<0.05$) pero se observa que los valores de clorofila *a* para El Uno se encuentran por fuera del rango de valores observados en las demás estaciones (Figura 3A). Si no se considera la estación de El Uno, dicha correlación es menos significativa ($p<0.1$), pero mantiene la misma tendencia ($\rho=-0.55$) (Figura 3B).

Si bien al incluir todos los sitios de muestreo se encontró una relación positiva entre el seston y la clorofila *a* ($\rho=0.53$, $p<0.05$), es evidente que además de los datos excepcionalmente altos de clorofila *a* en El Uno existen valores extremos de seston total en Leoncito y El Roto (Figura 3C), al remover dichos valores esta relación no es significativa ($p>0.05$; Figura 3D).

Estos patrones de relación entre las variables ambientales fueron confirmados posteriormente con el ACP (Figura 4). En este análisis los dos primeros ejes explicaron la mayoría de la varianza total, con el eje 1 explicando el 54.56% y el eje 2 el 21.36%. En el primer eje, los sitios con condiciones más marinas (Bajo del Medio, Punta Sabanilla, Punta Arenas y Necoclí) se separan a la izquierda del eje, aunque este grupo también incluye lugares más al interior del Golfo como Currulao y Candelaria. Estos lugares se caracterizan en general por tener valores más altos de profundidad del disco Secchi (transparencia), salinidad, temperatura y pH. A la derecha del eje 1 se encuentran los sitios ubicados en el interior del Golfo. Este grupo está adicionalmente dividido en el eje 2. En la parte superior del eje se agrupan dos de las bocas del Atrato (El Roto y Leoncito), caracterizadas por altos niveles de seston total y bajos valores de temperatura, pH y salinidad. Finalmente, en el cuadrante inferior derecho se separan El Uno e Isla Margarita, y en menor medida Yarumal y Marirrí. Estos sitios se encuentran en el interior del Golfo, pero no directamente adyacentes a una de las bocas del Atrato. Dichos sitios se caracterizan por mayores concentraciones de oxígeno disuelto y clorofila *a*.

Tabla 1 Listado de los valores promedio y desviación estándar de las variables fisicoquímicas, clorofila a y seston total medidas en las estaciones de muestreo.

Estaciones	Promedio Temperatura (°C)	Promedio Oxígeno (mg/L)	Promedio Salinidad (psu)	Promedio Conductividad (μS/cm)	Promedio pH	Promedio Transparencia (m)	Promedio Clorofila a (mg/m ³)	Promedio Seston Total (mg/m ³) (mg/L)
El Roto	27.6 (±0.04)	2.73 (±0.01)	0.93 (±0.13)	1946 (±254)	7.53 (±0.08)	0.32 (±0.04)	2.499 (±0.0004)	64200 (±15) (64.2)
Río Necoclí	30.6 (±0.01)	3.32 (±0.01)	20.03 (±0.47)	35745 (±756)	8.44 (±0.01)	3.92 (±0.18)	3.176 (±0.0001)	18534 (±7) (18.5)
Punta Arenas S	30.4 (±0.01)	3.22 (±0)	25.39 (±0.02)	44125 (±35)	8.80 (±0.04)	3.20 (±0.08)	2.204 (±0.00003)	17400 (±7) (17.4)
Punta Arenas N	29.5 (±0)	3.25 (±0.09)	25.22 (±0.73)	43155 (±254)	8.37 (±0)	2.12 (±0.25)	1.371 (±0.0001)	19.700 (±11) (19.7)
Bajo del Medio	30.2 (±0.08)	2.81 (±0.23)	22.97 (±0.07)	40220 (±1124)	8.48 (±0)	5 (±0)	1.232 (±0)	14850 (±1) (14.9)
Sabanilla	30.1 (±0.01)	3.23 (±0)	24.67 (±0.38)	42730 (±608)	8.36 (±0.01)	5 (±0)	< 0.347	13450 (±0.2) (13.5)
Candelaria	29.8 (±0.05)	3.67 (±1.99)	23.88 (±0.04)	41330 (±28)	8.08 (±0.03)	2.28 (±0.05)	2.655 (±0.0002)	21454 (±2.5) (21.5)
Isla Margarita	29.1 (±0.06)	3.75 (±0.08)	8.40 (±0.02)	15675 (±49)	8.36 (±0.08)	0.95 (±0.15)	4.425 (±0.0005)	27127 (±0.5) (27.1)
Leoncito	28.4 (±0.01)	3.43 (±0.02)	0.22 (±0.09)	484 (±203)	7.78 (±0)	0.09 (±0.01)	2.846 (±0.0005)	161000 (±35) (161)
Marirrí	30.0 (±0.06)	3.43 (±0.01)	10.10 (±0.10)	18925 (±190)	8.19 (±0.06)	1.18 (±0.05)	2.204 (±0.001)	16550 (±0.9) (16.6)
Currulao	29.8 (±0.04)	2.71 (±0.06)	28.69 (±0.24)	48705 (±390)	8.03 (±0.01)	2.4 (±0.14)	2.239 (±0.0001)	23400 (±1.1) (23.4)
El Uno	29.9 (±0.07)	3.51 (±0.01)	13.71 (±0.01)	25000 (±56)	8.13 (±0.01)	0.42 (±0.04)	14.057 (±0.00005)	48000 (±4.5) (48)
Yarumal	28.8 (±0.01)	3.55 (±0.04)	13.71 (±0.002)	23230 (±0)	8.15 (±0.01)	1.62 (±0.11)	3.193 (±0.001)	14650 (±4.5) (14.7)
Promedio	29.6	3.17	16.70	29328	8.21	2.20	0.0033	33297

Tabla 2 Correlación de Spearman entre las diferentes variables fisicoquímicas y los valores hallados de concentración de clorofila a y seston total. ** Valores de correlación significativa entre las variables. * Valores de correlación significativa entre las variables, pero menores a 0.6.

	Temperatura	Oxígeno Disuelto	Salinidad	pH	Transparencia	Clorofila a
Temperatura	-					
Oxígeno Disuelto	-0.18	-				
Salinidad	0.53*	-0.49	-			
Conductividad	0.78	-0.33	1.00			
pH	0.76**	0.0019	0.40	-		
Transparencia	0.77**	-0.42	0.75**	0.70**	-	
Clorofila a	-0.26	0.56*	-0.51	-0.27	-0.59*	-
Seston Total	-0.57*	0.075	-0.51	-0.65**	-0.74**	0.53*

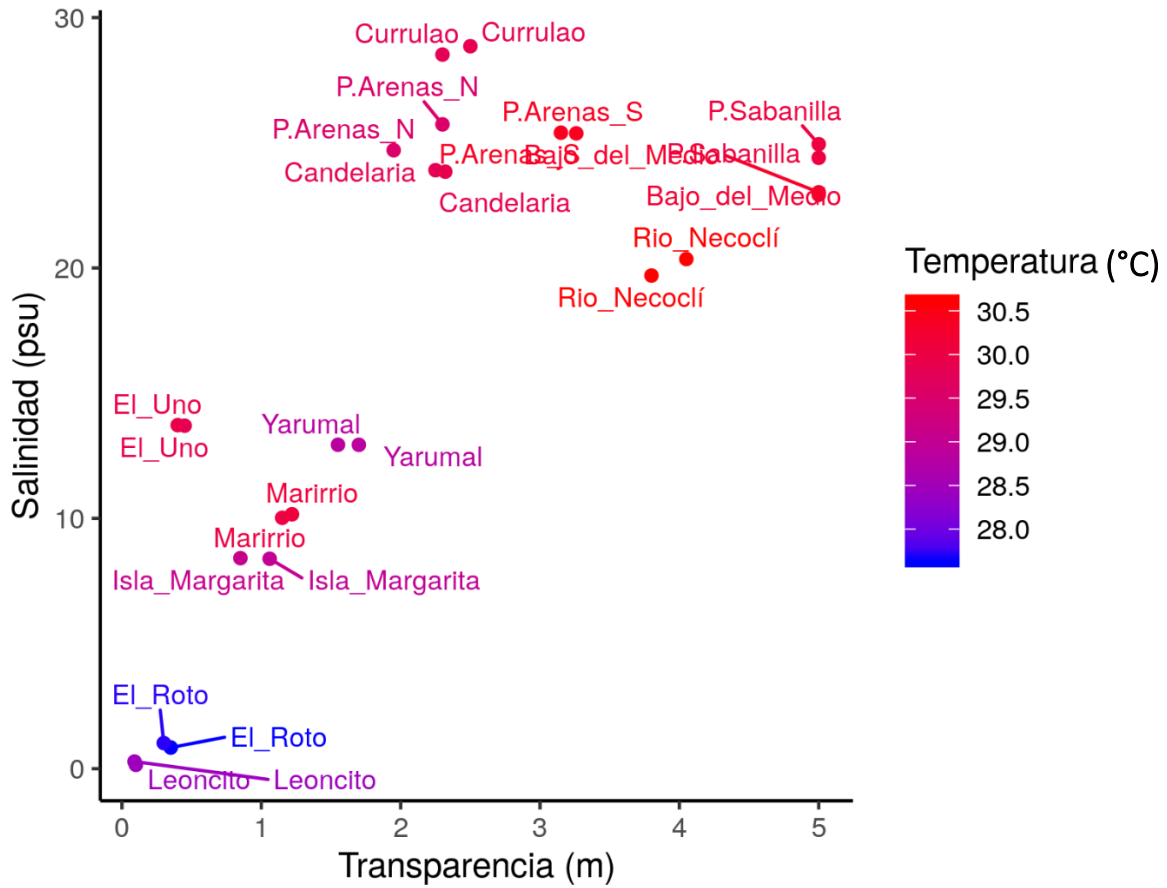


Figura 2 Relación de los valores de transparencia y salinidad por sitio de muestreo (se observan los resultados de muestreos dobles, debido a que de cada uno se realizó réplica) y temperatura asociada a cada sitio. Coeficiente de Spearman (ρ , $p < 0.05$) para transparencia y salinidad = 0.75, transparencia y temperatura = 0.77, temperatura y salinidad = 0.53.

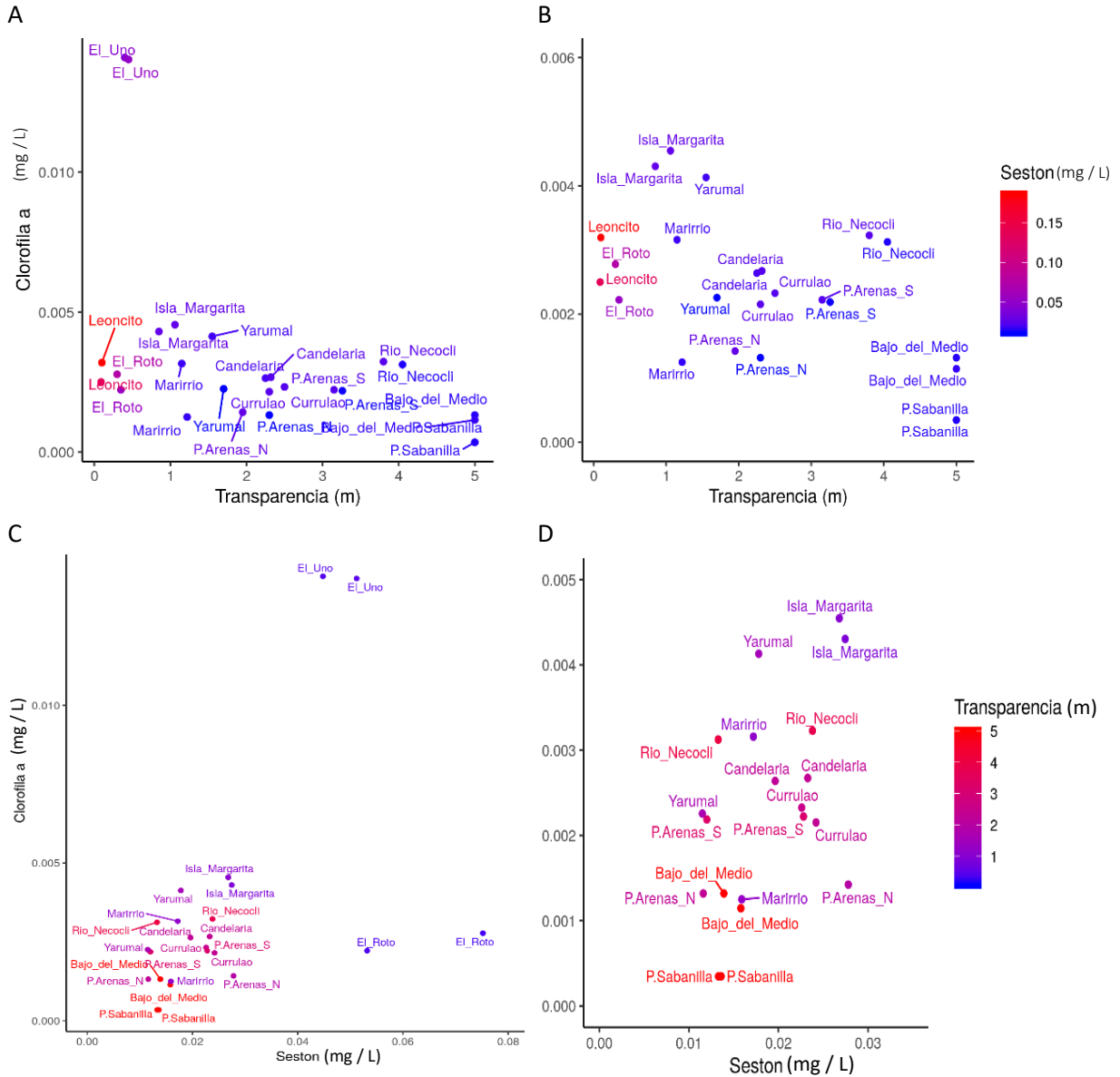


Figura 3 Relación entre los valores de transparencia, clorofila a (mg/L) y seston (mg/L) por sitio de muestreo. **A:** clorofila a versus transparencia (Todos los datos, $\rho = -0.59$). **B:** clorofila a versus transparencia (Sin El Uno, $\rho = -0.55$). **C:** clorofila a versus seston total (Todos los datos, $\rho = 0.53$). **D:** clorofila a versus seston total (Sin El Uno, Leoncito y El Roto, $\rho = \text{NS}$).

Análisis de Componentes Principales (75.9%)

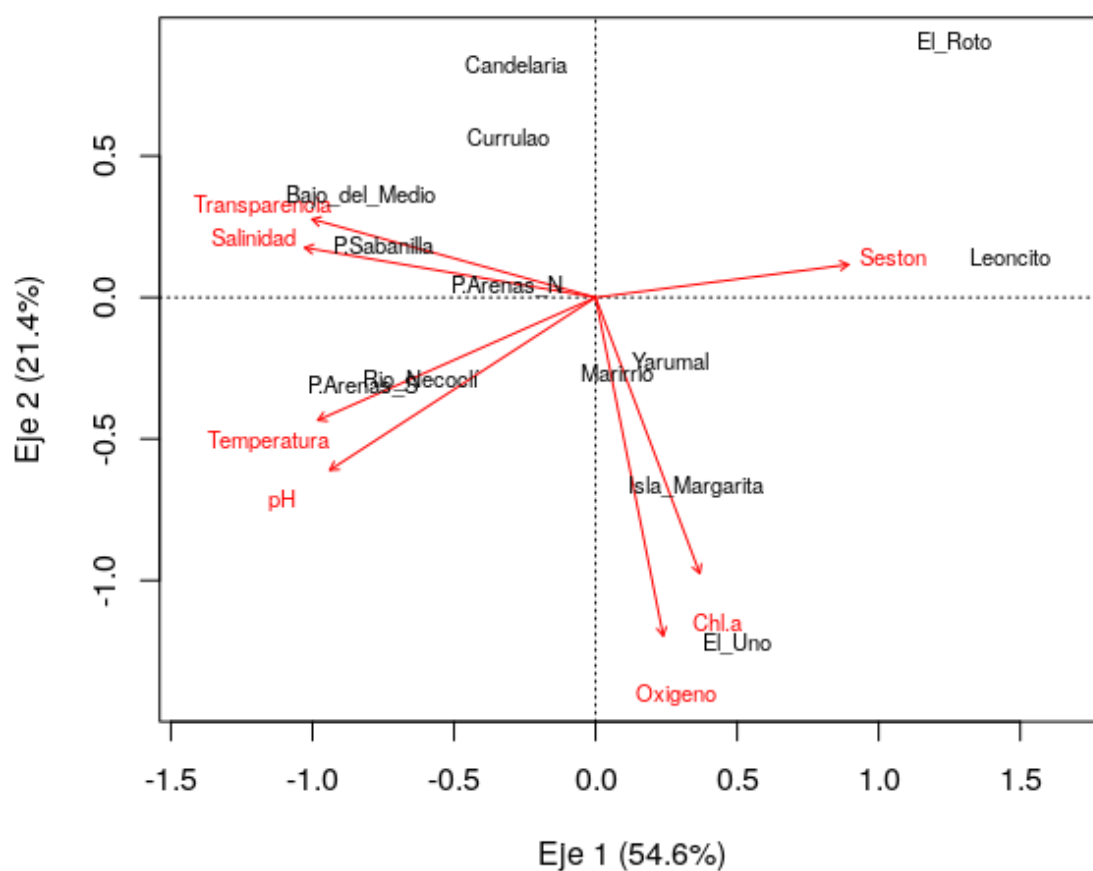


Figura 4 Análisis de componentes principales para los datos fisicoquímicos colectados en las diferentes localidades del golfo de Urabá.

3.2. Zooplancton

Se describieron un total de 21 grupos o taxones de zooplancton en las 13 estaciones de muestreo (Anexo 3). La estación que presentó la menor riqueza fue Leoncito con cinco grupos, seguido por El Roto y Bahía El Uno con seis grupos cada uno, mientras que los valores más altos de riqueza los presentó Punta Arenas Sur (18 grupos) seguido de Río Necoclí y Currulao (17 grupos cada uno) (Anexo 4, Figura 5A). De manera similar, los índices de diversidad (H') más altos se presentaron en Punta Arenas Sur, Río Necoclí, Isla Margarita y Currulao, mientras que la diversidad más baja se encontró en Marirrí (Figura 5B). Los valores de densidad de organismos por volumen variaron significativamente entre los sitios. Los valores más bajos de densidad se registraron en Isla Margarita (21 ind/m^3), seguido de Río Necoclí (72 ind/m^3) y Punta Arenas Sur (77 ind/m^3), mientras que Yarumal y Marirrí registraron valores excepcionalmente altos (1823 y 1053 ind/m^3 respectivamente) (Anexo 4, Figura 5C). En el caso de biomasa volumétrica, los valores más bajos se registraron en Isla Margarita (0.0078 ml/m^3) y Leoncito (0.0086 ml/m^3) mientras que Yarumal (0.1932 ml/m^3) y Currulao (0.1466 ml/m^3) presentaron los valores más altos (Anexo 4, Figura 5D). En general, los valores de biomasa volumétrica correspondieron con los valores de densidad a excepción de los valores registrados en Bajo del Medio y Marirrí, los cuales presentaron valores relativamente altos de densidad que no correspondieron con valores altos de volumétrico comparado con los otros sitios (Anexo 4, Figura 5C,5D).

En general, los copépodos estuvieron presentes en todos los sitios de muestreo y dominaron la densidad en 10 de las 13 estaciones (Figura 6). Aun así, es notorio que algunas estaciones se caracterizan por altas densidades de unos pocos taxones como Leoncito, El Roto, Bahía El Uno, Marirrí y Bajo del Medio; mientras otras estaciones tienen mayores riquezas y densidades variables de los diferentes grupos identificados, como Candelaria, Currulao, Río Necoclí, Punta Arenas Norte y Sur, y Sabanilla (Figura 6). Es notorio que los Cladóceros fueron abundantes en sitios con dos condiciones ambientales muy diferentes. Por un lado, fueron el grupo dominante en Leoncito y El Roto, que son los sitios más impactados por las descargas de agua dulce del río Atrato. A pesar de que este grupo no está presente

en otros lugares al interior del Golfo con condiciones más estuarinas como El Uno, Yarumal, y Candelaria, se vuelve a detectar en sitios al exterior del Golfo como Punta Arenas Norte y Sur, Punta Sabanilla y Bajo del Medio. Este patrón de distribución puede sugerir que existen al menos dos especies diferentes de Cladóceros en el Golfo, una de agua dulce y una marina. Algunos taxones fueron exclusivos de cierto tipo de localidades. Por ejemplo, los Eufáusidos son abundantes localidades con menor salinidad como Leoncito, El Roto e Isla Margarita (salinidad < 10), pero estuvieron ausentes en las demás localidades (salinidad > 10) (Figura 6).

Al considerar únicamente los valores de abundancia relativa mayores al 15% (Cuesta-Córdoba y Correa-Herrera 2016), se obtuvo un total de 8 grupos taxonómicos dominantes presentes en los diferentes sitios de muestreo. Estos grupos son Copépoda presente en todos los lugares a excepción de El Roto; Cladocera presente en El Roto, Leoncito y Bajo del Medio; Eufáusidos presente en El Roto; huevos de peces redondos presentes en Currulao; Larvas de Brachiura presentes en El Uno; Luciféridos presentes en Río Necoclí; Stomatopoda presentes en Isla Margarita; y un grupo de huevos que no fue posible identificar presentes en Punta Arenas Sur (Figura 7).

El análisis de clasificación de los sitios de acuerdo a la abundancia de taxones confirmó algunos de los patrones de abundancia previamente descritos (Figura 8) y coincidió con los principales grupos encontrados en el ACP de las variables ambientales (Figura 4). En un clado se separaron claramente Leoncito y El Roto, lugares caracterizados por su baja riqueza de taxones y alta dominancia de cladóceros, eufáusidos y copépodos. A continuación, se separa El Uno, caracterizado por la alta densidad de larvas de brachiura; e Isla Margarita, caracterizada porque a pesar de tener una baja densidad total de organismos, presentó valores altos de riqueza y diversidad. A pesar de que ningún grupo sobresale como altamente dominante, Isla Margarita se caracterizó por tener la mayor densidad de larvas de peces. Finalmente, se observan dos clados separando por un lado a Bajo del Medio, Marirrio, Yarumal, Punta Arenas Norte, Candelaria, y

Punta Sabanilla, y por otro lado Currulao, Punta Arenas Sur y Río Necoclí (Figura 8). Estos lugares se caracterizaron en el ACP por ser los de mayor influencia marina.

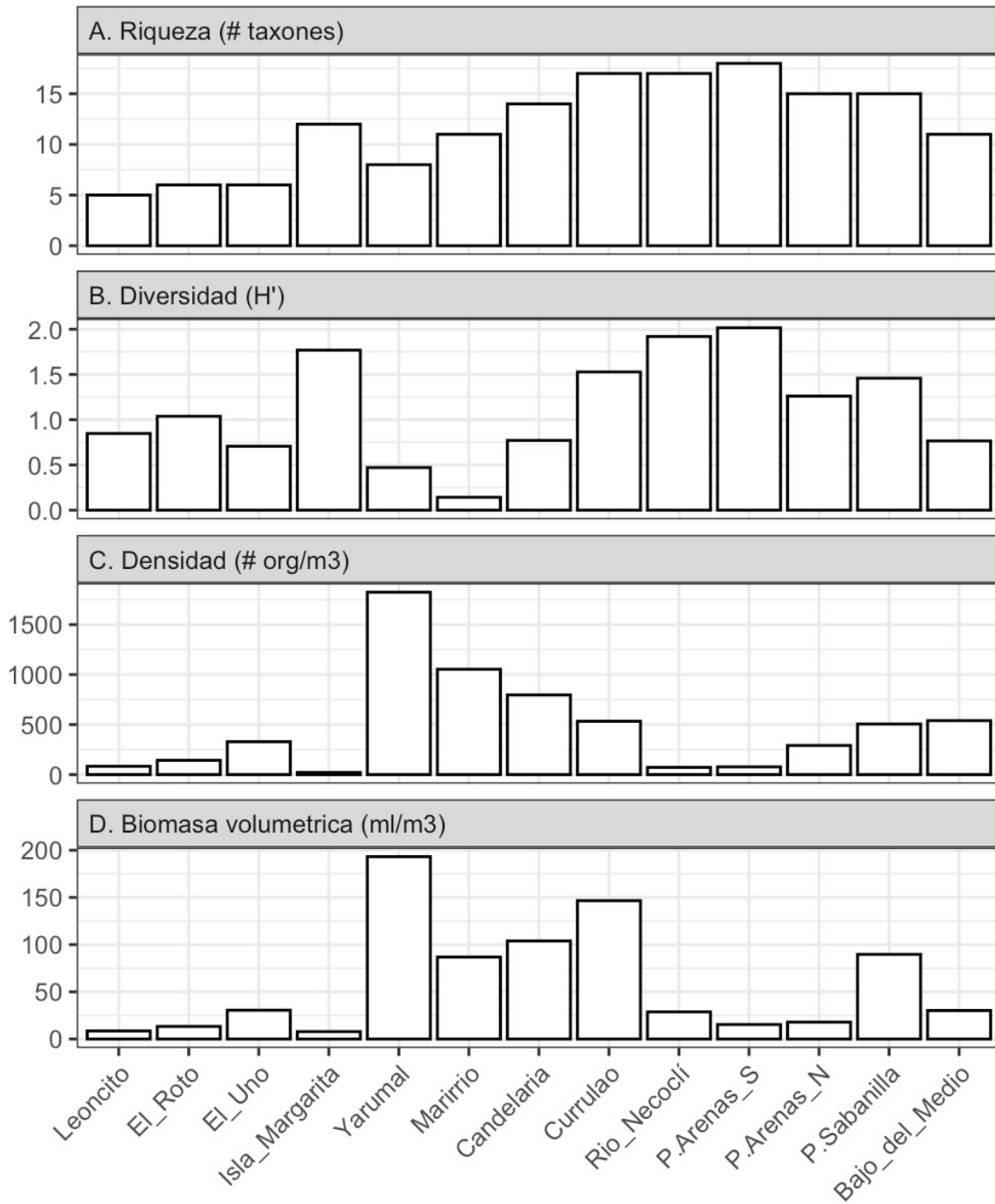


Figura 5 Riqueza, densidad y biomasa volumétrica de los grupos de zooplancton descritos en las estaciones de muestreo.

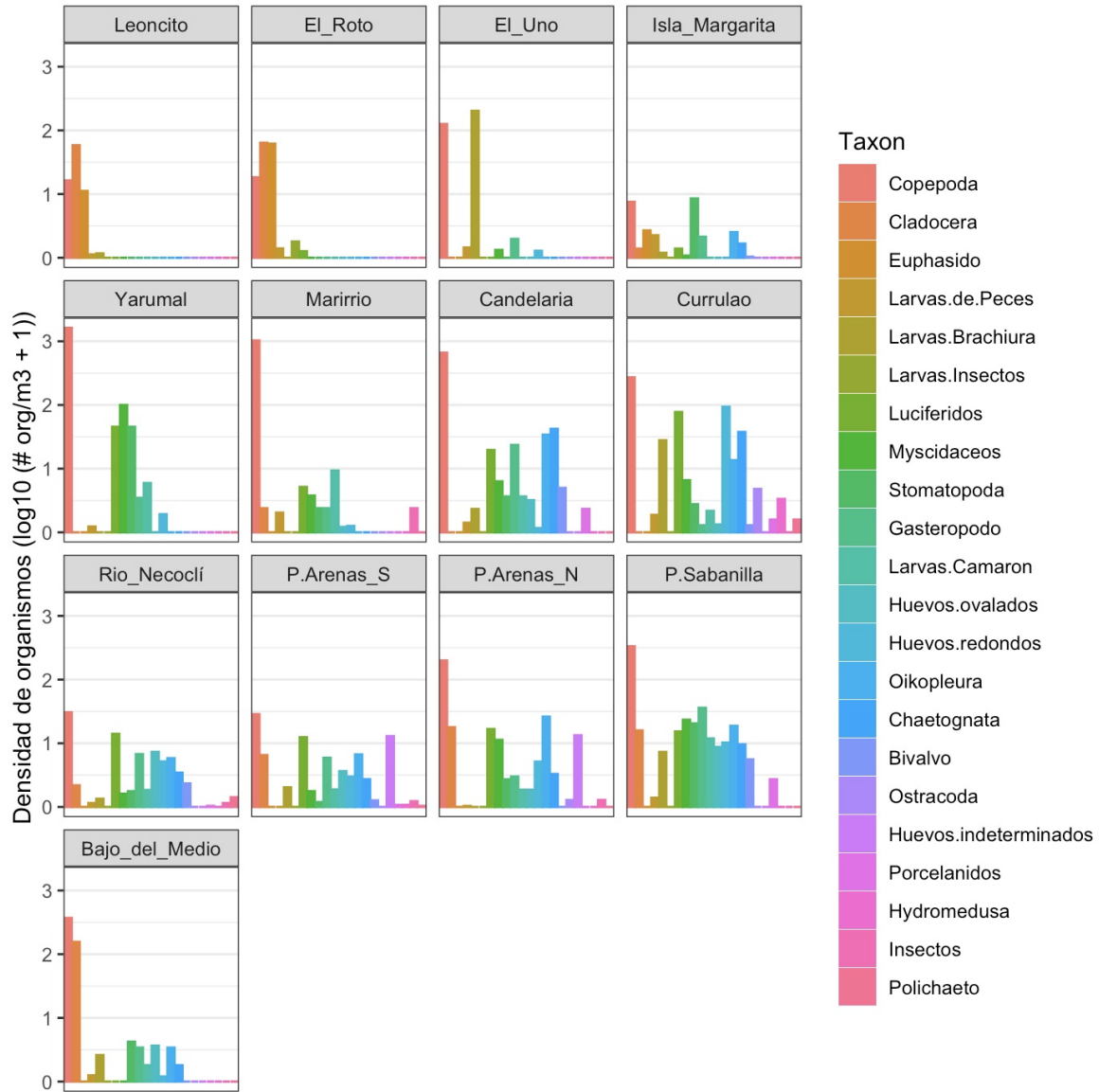


Figura 6 Densidad de grupos zooplanctónicos por sitio de muestreo. Los datos de han sido transformados con logaritmo en base 10 para visualizar mejor los grupos menos abundantes.

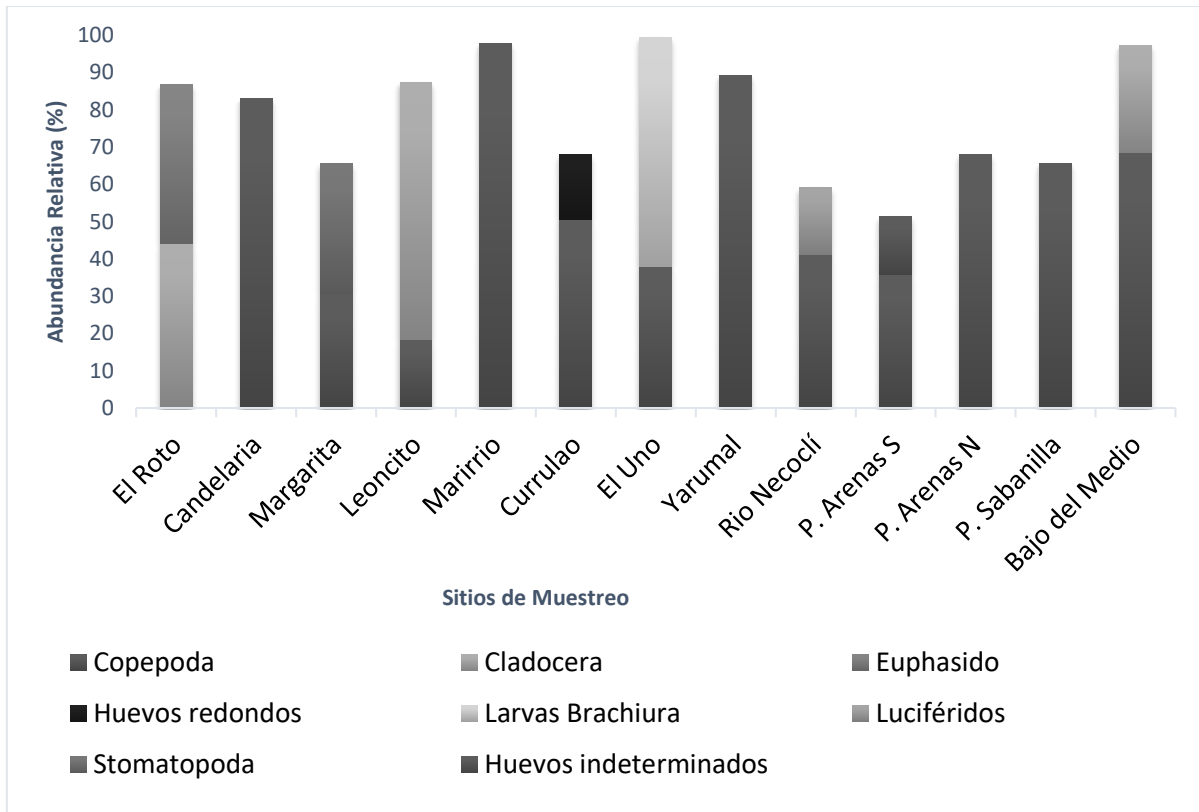


Figura 7 Grupos zooplanctónicos con abundancias relativas mayores al 15%.

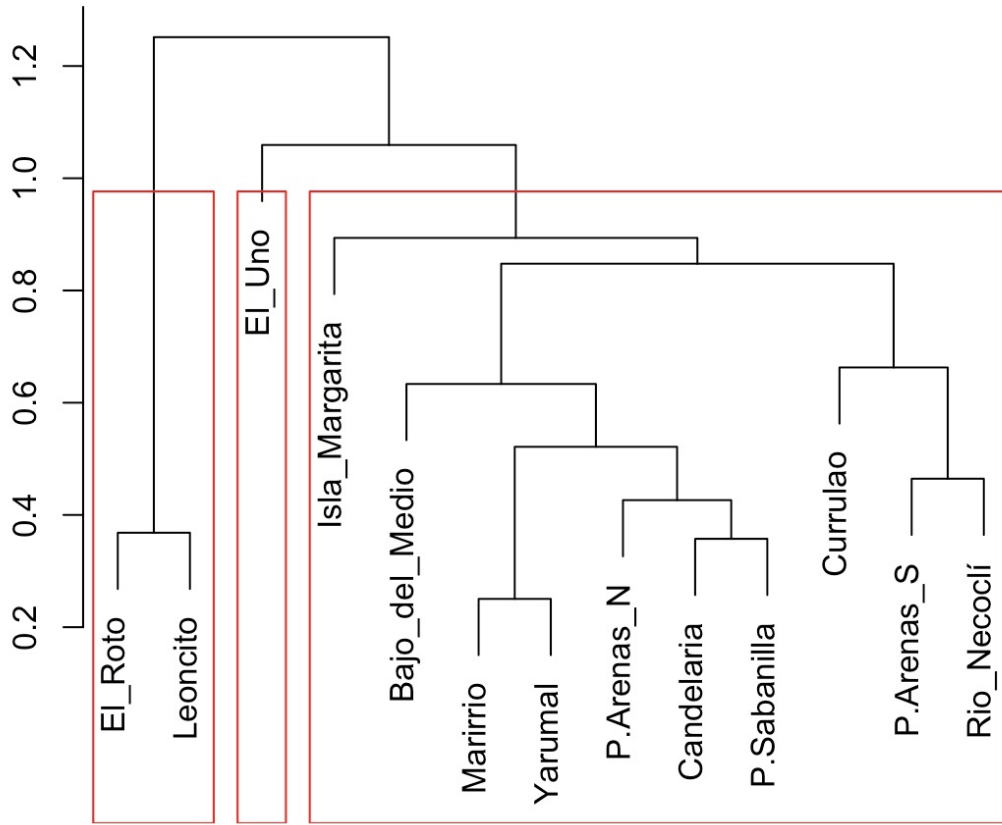


Figura 8 Análisis de agrupamiento para la clasificación de los diferentes sitios de muestreo con base en la abundancia de los taxones encontrados. El eje Y muestra la distancia entre las diferentes ramas del árbol.

3.3. Relación de las variables ambientales y grupos de zooplancton

La riqueza del zooplancton en los sitios de muestreo parece estar relacionada directamente con la transparencia del agua y la salinidad (Figura 9A). Los sitios que presentan los mayores valores de transparencia y salinidad suelen tener los mayores valores de riqueza, mientras que sitios con las menores salinidades y valores de transparencia tienen los valores más bajos de riqueza.

La relación entre las otras variables fisicoquímicas y biológicas no es tan clara. Por ejemplo, la densidad de organismos no parece depender de la salinidad o transparencia (Figura 9B). Tampoco se encontró una relación entre la concentración de la clorofila *a* y la riqueza de especies o densidad de organismos (Figura 9C, 9D).

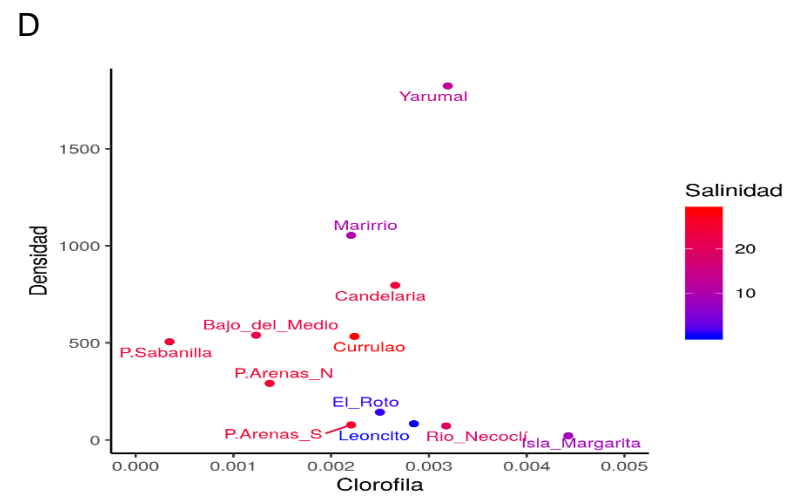
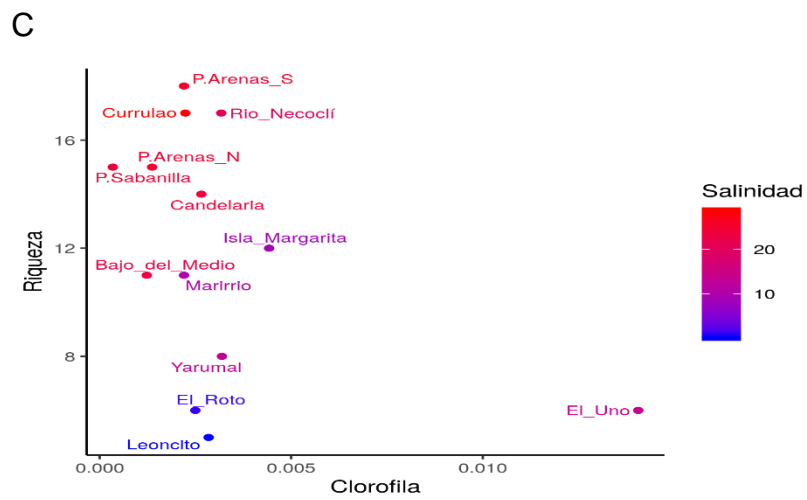
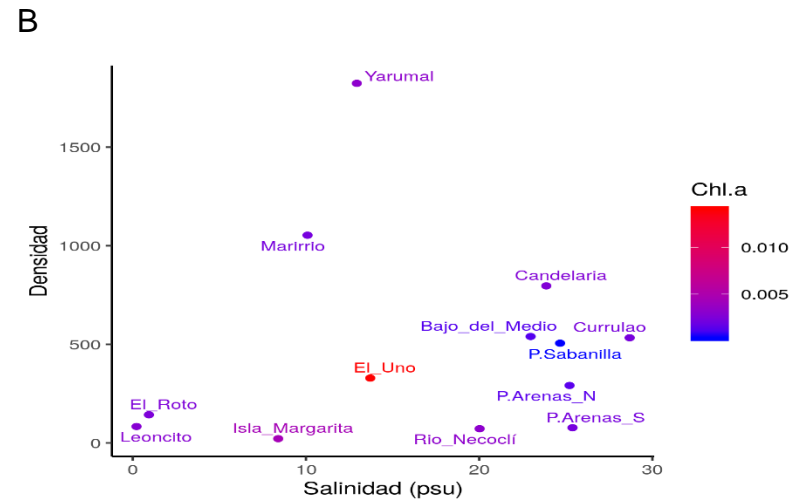
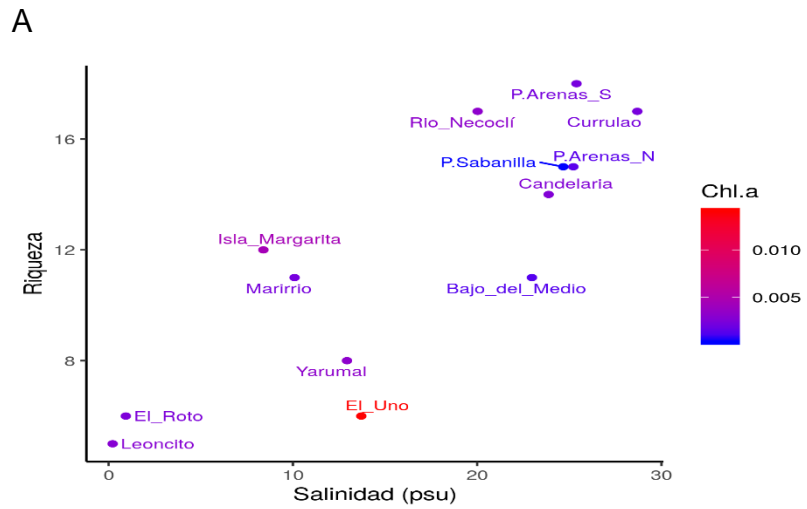


Figura 9 Relación de la salinidad y la clorofila a con variables biológicas (riqueza y densidad).

4. DISCUSIÓN

4.1. Variables ambientales

Los valores de temperatura variaron en un rango entre 27.6 - 30.4 °C. Este rango coincidió con los promedios de temperatura durante la época húmeda en el Golfo, donde los menores valores se observan en las bocas más caudalosas del río Atrato como León y El Roto. Sin embargo, cabe resaltar que el valor mínimo registrado sobrepasa en más de un grado centígrado el valor mínimo promedio para la zona (26 °C). Adicionalmente, el valor máximo registrado (Punta Arenas Sur: 30.4 °C), también supera la temperatura promedio registrada en dicha zona (29.6 °C) (García-Valencia, 2007).

Los valores de oxígeno registrados en este estudio se encuentran por debajo de los valores que han sido reportados en el golfo de Urabá durante la época húmeda (García-Valencia, 2007). Mientras ninguno de los sitios muestreados (desde las bocas del Atrato hasta Arboletes) registra valores por encima de 4 mg/L, los promedios reportados para el Golfo oscilan entre 5.5- 7.2 mg/L. Usualmente valores bajos de oxígeno se asocian con procesos de oxidación de materia orgánica y baja circulación del agua, los cuales son comunes en la boca de los ríos que transportan mucha materia orgánica (García-Valencia, 2007). Esta asociación con las bocas de los ríos también fue reportada por Cuesta-Córdoba y Correa-Herrera (2016), quienes encontraron que en la época seca los valores más bajos de saturación de oxígeno fueron observados en las estaciones más influenciadas por las descargas del río Atrato.

Aunque en algunas zonas del Golfo cercanas a la boca Leoncito se han reportado valores de pH alrededor de 5 en época húmeda, los valores encontrados en este estudio (7.5- 8.8) se ubican por encima del promedio para el Golfo (7.47) (García-Valencia, 2007). La mayoría de los valores observados están por encima de 8 y solo los dos sitios con los mayores valores de seston total y menor salinidad (<1) están por debajo de 8 El Roto (7.5) y Leoncito (7.8). Los valores más altos se obtuvieron en los sitios de la costa nororiental, en los cuales predominan las aguas marinas (García-Valencia, 2007).

En la época húmeda, las plumas de turbidez se concentran alrededor de las desembocaduras de los ríos (García-Valencia, 2007), lo cual explica los altos valores de

seston total obtenidos en las bocas de El Roto (64.2 mg/L) y Leoncito (161 mg/L) y los bajos valores de transparencia y salinidad (Figura 2, Figura 3C). Otro de los lugares que presentó altos valores de seston total y baja transparencia fue bahía El Uno (48 mg/L), que adicionalmente fue el lugar que presentó los valores más altos de clorofila *a* (Figura 3C). Sin embargo, en términos generales los valores de seston total (13.45 - 161 mg/L) (Tabla 1) estuvieron en el rango de los valores registrados en el Golfo durante la época húmeda, que pueden variar entre 0.06 - 100 mg/L (García-Valencia, 2007).

Los valores de salinidad superficial registrados, con algunos picos de salinidad en la zona interior del Golfo, coinciden con el patrón espaciado de los valores de salinidad en la época húmeda (rango: 0.8 - 35.5 psu), donde se observan aguas mixohalinas (valores de salinidad entre 30-35 psu) penetrando hacia el interior del Golfo; lo cual ha sido relacionado con los vientos que vienen del sur y que ayudan a que el agua de los ríos salga del interior del Golfo y el agua marina (mixohalina) ingrese por la zona noroccidental (García-Valencia, 2007).

La mayoría de los valores de clorofila *a* obtenidos en este estudio se encuentran dentro del rango de concentración de entre 0 y 8 mg/ m³ encontrado por Silva-Rodríguez (2011) mediante el análisis de imágenes satelitales. Por otra parte, el dato correspondiente a la bahía El Uno (14.06 mg/m³) aunque se ubica por fuera de dicho rango se encuentra dentro de los rangos reportados en otros trabajos llevados a cabo en el Golfo (Ayala-Serrano y Márquez-Palencia, 2017; Cuesta-Córdoba y Correa-Herrera, 2016); trabajos que incluso han reportado valores más altos (65.9 mg/ m³) (Cuesta-Córdoba y Correa-Herrera, 2016). Aunque estas diferencias, entre los resultados hallados por Silva-Rodríguez (2011) y los otros trabajos, pueden responder exclusivamente a la variación temporal que fue tomada en cuenta por Ayala-Serrano y Márquez-Palencia (2017) y Cuesta-Córdoba y Correa-Herrera (2016), cabe resaltar la diferencia en los métodos empleados, por lo que sería recomendable para futuros estudios calibrar la técnica de imágenes satelitales con datos tomados en campo para incluir en el análisis las particularidades espaciales y temporales del Golfo. Adicionalmente, cabe resaltar que durante la época húmeda hay un aumento en la escorrentía que puede incrementar el arrastre de nutrientes (provenientes de fertilizantes) hacia el mar, lo que aunado a la

descarga de aguas residuales y a la baja circulación en las bahías como bahía El Uno pueden ser los responsables de las altas concentraciones de clorofila *a* reportadas (Ayala-Serrano y Márquez-Palencia, 2017).

Al analizar de manera conjunta todas las variables ambientales mediante el ACP (Figura 4) encontramos que la mayoría de la variabilidad se explica en el primer eje (54.6%). De derecha a izquierda se puede ver cómo se separan los sitios con mayor influencia del río Atrato versus los lugares con más influencia marina. De esta manera, a la derecha del eje 1 se encuentran El Roto y Leoncito caracterizados por tener los valores más altos de seston y menores valores de salinidad, temperatura y transparencia. La separación marcada de estos dos sitios no es sorprendente, dado que, al ser bocas directas del Atrato, no solo reciben grandes cantidades de agua dulce, sino también detritos y minerales que incrementan los valores de seston y disminuyen la transparencia. Más cercanos al centro del eje 1 se encuentran lugares dentro del área del golfo, pero no adyacentes en las bocas de Atrato, estos sitios se caracterizan por tener niveles intermedios de seston, salinidad, y transparencia, pero se diferencian en dos grupos: en la parte inferior del ACP se encuentran El Uno, Isla Margarita y Yarumal con mayores concentraciones de oxígeno y clorofila *a*. Los valores intermedios de salinidad (8-14 PSU) en estas estaciones muestran que allí ocurre mezcla de cuerpos de agua dulce y marina, pero que aún existe una fuerte influencia del Atrato. Por este motivo la concentración de nutrientes puede ser alta y facilitar la proliferación del fitoplancton, lo cual explicaría los altos valores de clorofila *a* y de oxígeno disuelto.

También cercanos al centro del eje 1, pero en la parte superior se encuentran Candelaria y Currulao que presentaron los valores más bajos de oxígeno. Finalmente, a la izquierda se encuentran todos los sitios ubicados en el área nororiental del golfo. Si bien Bajo del Medio y Punta Sabanilla se caracterizan más por tener mayor salinidad y transparencia, mientras que Punta Arenas Norte y Río Necoclí presentan mayor temperatura y pH, ambos grupos en general presentan valores altos para dichos parámetros, los cuales corresponden con una mayor influencia de las condiciones de mar abierto.

4.2. Zooplancton

En este estudio se encontraron en total 21 grupos de zooplancton (Anexo 3), número que es inferior a los 41 taxones encontrados por Cuesta-Córdoba y Correa-Herrera (2016), lo que puede deberse a las diferencias entre los dos estudios en la intensidad y escala de los muestreos y el nivel de refinamiento en la identificación de los organismos. Mientras en este trabajo hubo un enfoque en la escala espacial, realizando un solo muestreo en cada una de las 13 estaciones distribuidas a lo largo del golfo de Urabá antioqueño, Cuesta-Córdoba y Correa-Herrera (2016) realizaron muestreos mensuales cubriendo diferentes épocas climáticas, lo que les permitió registrar los cambios en la composición zooplanctónica derivados de los cambios en la hidrodinámica del Golfo a consecuencia del clima y de esta manera obtener valores de riqueza más altos (Boltovskoy, 1981; García-Valencia, 2007; Harris et al., 2000; Loreto et al., 2016). Adicionalmente, Cuesta-Córdoba y Correa-Herrera (2016) refinaron la identificación de los organismos colectados llegando en muchos casos al nivel de especie, lo que les permitió a estos autores tener una mayor resolución de los grupos zooplanctónicos. Esta diferencia metodológica puede explicar las diferencias en los valores de riqueza obtenidos, ya que, dentro de cada uno de los grupos taxonómicos identificados aquí, pueden encontrarse varias especies, incluidas las que fueron identificadas por Cuesta-Córdoba y Correa-Herrera (2016).

En general, los valores de densidad de organismos correspondieron con los valores de biomasa volumétrica con pocas excepciones, las cuales estuvieron relacionadas a diferencias en las proporciones de los organismos con diferentes volúmenes: como los copépodos o estomatópodos que ocupan volúmenes pequeños comparados con los luciféridos, eufáusidos o los huevos de peces.

Tal como ha sido reportado en diferentes estudios (Boltovskoy, 1981; Escribano et al., 2012; Harris et al., 2000; Loreto et al., 2016) los copépodos estuvieron presentes en todos los sitios de muestreo y fue el grupo que dominó la densidad en 10 de las 13 estaciones (Figura 7), siendo superados por otros grupos únicamente en las estaciones altamente influenciadas por las bocas del Atrato en las que sobresalieron también los cladóceros y eufáusidos. Al considerar los grupos de zooplancton que presentaron las

mayores densidades relativas en cada sitio (por encima del 15 %), se observa una dominancia de consumidores primarios, los cuales en su mayoría son filtradores que se alimentan tanto del fitoplancton como de los detritos (Figura 7). Al mirar en detalle estos taxones dominantes se puede destacar que:

- Copépodos es un grupo que tiene más de 5000 especies, en su mayoría marinos. Son consumidores primarios y también consumen detritos orgánicos. Por lo que, además de constituirse como el alimento primordial para otros organismos zooplanctónicos y peces plactófagos, también contribuyen con la concentración de materia orgánica del agua. Se ha sugerido una relación entre Copepoda y cardúmenes de peces de interés comercial, la cual incluso ha sido usada por pescadores artesanales como indicador de las zonas de pesca (Boltovskoy, 1981).
- Cladocera es un grupo primordialmente dulceacuícola con más de 400 especies y una presencia marina restringida a 9 especies. Son filtradores, pero también pueden llegar a ser depredadores selectivos y alimentarse, entre otros, de huevos de copépodos (Boltovskoy, 1981). La alta densidad de este grupo en las áreas de mayor influencia del Atrato (Leoncito y El Roto) y en las áreas más marinas (e.g. Río Necoclí, Punta Arenas, Punta Sabanilla y Bajo del Medio), pero su ausencia en las estaciones más estuarinas, sugieren la presencia de especies diferentes en las diferentes áreas del Golfo: especies dulceacuícolas cerca de las bocas del Atrato y de especies marinas en la costa nororiental del Golfo.
- Eufáusidos pueden llegar a ser muy abundantes y superar a los copépodos en ciertas épocas del año o en determinadas regiones, se alimentan principalmente de fitoplancton, zooplancton pequeño y materia orgánica particulada (Boltovskoy, 1981). En este estudio, los eufáusidos no se encontraron en la mayoría de las estaciones, pero sobresalieron por su abundancia en Leoncito y El Roto, con una menor abundancia en Isla Margarita.
- Larvas de decápoda (larvas de brachiura, luciféridos) y larvas de Stomatopoda: los estadios larvales de estos grupos llegan a ser bastante comunes en la comunidad zooplanctónica (Boltovskoy, 1981).

Aunque los sitios de muestreo fueron seleccionados por ser caladeros de pesca ampliamente utilizados por los pescadores en el Golfo, en la mayoría de estos sitios no se encontraron valores altos de huevos o larvas de peces que indicaran cuales caladeros podrían estar siendo usados por los peces para la reproducción durante la época del muestreo. Esto refleja la variabilidad de la composición cualitativa y cuantitativa del ictioplacton a lo largo del año, que depende del ciclo reproductivo de los adultos de las diferentes especies (Boltovskoy, 1981).

Sin embargo, se registró una alta densidad de huevos redondos en Currulao lo que podría indicar que en esta época del muestreo este sitio puede ser importante para la reproducción de algunas especies de peces. Adicionalmente, aunque presentaron valores de densidad relativamente bajos (por debajo del 15%), cabe mencionar Río Necoclí y Punta Sabanilla, las que presentaron densidades mayores a 6 ind/m³ de huevos ovalados. Los huevos ovalados son característicos de la familia Engraulidae, la cual está conformada por peces pequeños, de alrededor de 15 cm, conocidos como boquerones, anchoas, anchovetas cuya importancia comercial es diversa, ya que sirven como alimento humano, alimento a poblaciones de peces y también son usados por los pescadores como carnada (Froese y Pauly 2019). De esta forma, estos dos sitios podrían estar siendo usados como zonas de reproducción de las presas de los peces de interés comercial y por tanto, zonas de alimentación de los peces de interés comercial.

4.3. Relación de las variables ambientales y grupos de zooplancton

La comunidad zooplanctónica muestreada (arrastre superficial) se ve sometida a las variaciones de salinidad y temperatura que ocurren como consecuencia de las descargas del río Atrato en el Golfo, que generan gradientes de densidad y temperatura en las capas más superficiales (menores a 2 m) (Ayala-Serrano y Márquez-Palencia 2017). Estos cambios en las capas superficiales tienen un impacto en los organismos zooplanctónicos y se reflejan en las diferencias registradas en la composición y densidad de estas comunidades.

En este estudio, al igual que en el estudio realizado por Álvarez-Silva y Torres-Alvarado (2013) en México y el estudio de Cuesta-Córdoba y Correa-Herrera (2016) en las bocas del Atrato, se encontraron los mayores valores de riqueza en las estaciones que

presentaron las mayores salinidades; sin embargo, los valores de densidad no mostraron un patrón claro asociado con dicho parámetro, donde el menor valor de densidad fue registrado en Isla Margarita (21 ind/m³) con una salinidad alrededor de 8.4 psu, seguida de dos estaciones con salinidades por encima de 20 psu Río Necoclí (72 ind/m³) y Punta Arenas Sur (77 ind/m³); mientras que los valores más altos de densidad se presentaron en estaciones con salinidades cercanas a los 10 psu Yarumal (1823 ind/m³) y Marirrío (1053 ind/m³) (Figura 5C).

Los sitios que presentaron la menor riqueza (Leoncito, El Roto y El Uno) coincidieron con los sitios que presentaron los valores más bajos de transparencia y los valores más altos de seston total, destacándose El Uno con los valores más altos de clorofila *a*. Estos resultados coinciden con el análisis de agrupamiento basado en las densidades de cada taxón, en el cual el grupo compuesto por Leoncito y El Roto se separa de los demás sitios, seguido por la separación de El Uno.

5. CONCLUSIONES

El río Atrato es clave en la división de las masas de agua dentro del golfo de Urabá, de áreas más estuarinas a áreas con una mayor influencia marina. Esta separación ocurre principalmente porque las masas de agua del río Atrato influyen los parámetros fisicoquímicos dentro del Golfo, particularmente el seston, la transparencia y la salinidad.

La salinidad juega un papel importante en la determinación de la composición de los organismos zooplanctónicos, particularmente en la riqueza, siendo los sitios con una mayor influencia marina los que poseen una mayor riqueza. Por su parte, la influencia de la salinidad en la densidad de los organismos no es tan clara, ya que no se genera un patrón definido que asocie estas dos variables, con valores intermedios de salinidad (cerca de 10 psu) registrando tanto el menor como los mayores valores de densidad.

Los valores altos de seston y clorofila *a* influyen la reducción de la transparencia del agua, y estuvieron relacionados con valores bajos de riqueza.

El registro de ictioplancton (huevos y larvas de peces) fue muy bajo y no permitió concluir si alguna de las estaciones de muestreo fue utilizada para la reproducción de especies de peces en el tiempo del muestreo.

6. RECOMENDACIONES

El nivel de resolución en la identificación taxonómica del zooplancton para el golfo de Urabá debe ser mejorado, tratando en la mayoría de los casos de llevarlo hasta el nivel de especie, con el fin de obtener indicadores biológicos que describan mejor las comunidades zooplanctónicas en el Golfo.

Es importante que estudios como este sean tomados en cuenta cuando se contempla la posibilidad de declarar periodos de veda pesquera. Dichos periodos buscan garantizar la reproducción de las especies de peces y preservar los recursos pesqueros del Golfo, por tanto, el uso de esta información permitirá que los esfuerzos sean enfocados en aquellas zonas y épocas en las cuales las especies de interés se están reproduciendo. También consideramos importante que se realicen más estudios que incorporen el componente de variabilidad temporal con este mismo fin.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez-Silva, C., Torres-Alvarado, M. del R. 2013. Composición y abundancia del zooplancton de la laguna de Coyuca, Guerrero, México. *Hidrobiología*, 23(2): 241-249.
- Arashkevich E, P Wassmann, A Pasternak & C Wexels. 2002. Seasonal and spatial changes in biomass, structure, and development progress of the zooplankton community in the Barents Sea. *Journal of Marine Systems* 38: 125-145.
- Ayala-Serrano y Márquez-Palencia 2017. Clorofila *a* Como indicador de calidad de agua en el área de influencia del Río Atrato entre octubre 2015 y agosto 2016, Golfo de Urabá-caribe colombiano. Trabajo de grado, Oceanografía. Universidad de Antioquia. Turbo, Colombia. 78p.
- Bernal, A.R., Zea, S. 1993. Variaciones nictimerales en la comunidad de zooplancton de la Bahía de Santa Marta, Mar Caribe colombiano. *An. Inst. Invest. Mar. Punta Betín*. 22: 5-20.
- Bernal, A., Werding, B. y Zea, S. 2004. Variación espacial y temporal de biomasa zooplanctónica en el sector nerítico del mar Caribe colombiano. 187-196 pp. En: Campos, C., y Pizarro, N. H. A. (2004). *Contribuciones en ciencias del mar en Colombia: investigación y desarrollo de territorios promisorios*. Bogotá, Colombia. 262 p.
- Bernal G, Gómez E. 2016. Foraminíferos bentónicos en los sedimentos de los manglares del golfo de Urabá. 135-152. En: Blanco-Libreros, J. F. & M. H. Londoño-Mesa (Eds.). *Expedición Caribe sur: Antioquia y Chocó costeros*. Secretaría Ejecutiva de la Comisión Colombiana del Océano. Bogotá 323 pp.
- Betancur-Turizo S.P. 2001. Aplicación de los métodos de oxidación química y gravimétrico en la determinación del detrito y el seston de la ciénaga grande de Santa Marta. Trabajo de grado Biol. Mar., Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta, Colombia. 102 p.
- Boltovskoy, D. 1981. *Atlas del Zooplancton del Atlántico Sudoccidental: Métodos de Trabajo con el Zooplancton Marino*. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero. Mar del Plata-Argentina. 860 pp.

- Chevillot, O., Molina, A., Giraldo, L. y Molina, C. 1993. Estudio geológico e hidrológico del Golfo de Urabá. *Boletín Científico CIOH*, 14: pp. 79-89.
- Conti, L., Scardi, M. 2010. Fisheries yield and primary productivity in large marine ecosystems. *Marine Ecology Progress Series*. 410: 233-244.
- Cuesta-Córdoba, C.C., Correa-Herrera, Tatiana. 2016. Distribución espacio-temporal del zooplancton en un gradiente de salinidad en el delta del río Atrato. Trabajo de grado, *Ecología de Zonas Costeras*. Universidad de Antioquia. Turbo, Colombia. 58 p.
- Díaz, J.M., Díaz-Pulido, G. y Sánchez, J.A. 2000. Distribution and structure of the southernmost Caribbean coral reefs: Golfo de Urabá, Colombia. *Scientia Marina* 64 (3): 327-336.
- Dorado-Roncancio, E. F. 2015. Estructura del zooplancton en la bahía de Cartagena (Caribe Colombiano) en las tres épocas climáticas en 2010. Trabajo grado *Biol. Mar.*, Univ. Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta, Colombia. 89 pp.
- Douglass, J. G. (2010). James G. Douglass, ecólogo marino. Florida: Sociedad Americana de Limnología y Oceanografía, Inc. Recuperado de <http://jamesgdouglass.blogspot.com>.
- Escribano, R., Hidalgo, P., Fuentes, M., Donoso, K. 2012. Zooplankton time series in the coastal zone off Chile: Variation in upwelling and responses of the copepod community. *Progress in Oceanography*, 97-100: 174-186.
- Farhadian O & M Pouladi. 2014. Seasonal changes in the abundance and biomass of zooplankton from shallow mudflat river-estuarine system in Persian Gulf. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology* 18: 19-29.
- Friedland KD, Stock C, Drinkwater KF, Link JS, Leaf RT, Shank Bv, Rose JM, Pilskaln CH y Fogarty MJ 2012. Pathways between Primary Production and Fisheries Yields of Large Marine Ecosystems. *PLoS ONE* 7(1): e28945. doi:10.1371/journal.pone.0028945.
- Froese R. & Pauly D. (2019). www.fishbase.org. Naturalis Biodiversity Center Fishbase. WorldWide Web electronic publication. Recuperado de <http://www.catalogueoflife.org/annual-checklist/2019/details/database/id/10>.

- Gadea Pérez, M.I. 2009. Variación espacial del fitoplancton en la zona costera de Gandía y su relación con la entrada de nutrientes. Tesis de máster, Doctorado en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. 145p.
- García-Valencia, C. (Ed) 2007. Atlas del golfo de Urabá: Una mirada al Caribe de Antioquia y Chocó. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras -Invemar- y Gobernación de Antioquia. Serie de Publicaciones Especiales de Invemar N° 12. Santa Marta, Colombia. 180p.
- Garzón-Ferreira, J., Reyes-Nivia, M. C., & Rodríguez-Ramírez, A. (2002). Manual de métodos del SIMAC: Sistema Nacional de Monitoreo de Arrecifes Coralinos en Colombia. INVEMAR, Santa Marta, Colombia. 61p.
- Gregor y Maršalek, 2004. Freshwater phytoplankton quantification by chlorophyll a: a comparative study of in vitro, in vivo and in situ methods. *Water Research* 38: 517-522.
- Guzman, H.M., Obando, V.L. 1988. Diversidad y abundancia diaria y estacional del zooplancton marino de la Isla del Caño, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*. 36(1): 139-150.
- Harris, R.P., Wiebe, P.H., Lenz, J., Skjoldal, H.R., Huntley, M. 2000. ICES Zooplankton Methodology Manual. Academic Press. ISBN 0-12-327645-4. 684 pp.
- Hernández, E., Aguirre, N.J., Palacio, J.A. 2011. Relación entre la determinación del pigmento Clorofila a y el Biovolumen geométrico algal en un lago de planicie de inundación (Ciénaga de Ayapel, Córdona-Colombia). *Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia* 60: 159-169.
- IAI. 2010. Alimentos de las profundidades. La surgencia en Patagonia: las corrientes oceánicas determinan la productividad biológica. *Instantáneas de la Ciencia*, 5. IAI. 1-2.
- Legendre, P. y Gallagher, ED 2001. Transformaciones ecológicamente significativas para la ordenación de datos de especies. *Oecologia*, 129, 271-280.
- López, A.F. 2005. Composición, abundancia y distribución de las especies de la familia Porcellanidae (Crustacea-Anomura) de la costa Nor-occidental del Golfo de Urabá

- (Bahía de Triganá)-Caribe colombiano. Tesis de pregrado. Ecología de Zonas Costeras, Universidad de Antioquia. Turbo, Colombia. 85p.
- Loreto-Torreblanca, M., Pérez-Santos, I., San-Martín, B., Varas, E., Zilleruelo, R., Riquelme-Bugueño, R., Palma, A.T. 2016. Seasonal dynamics of zooplankton in a northern Chile bay exposed to upwelling conditions. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 51(2): 273-291.
- Martínez-Aguilar, T.I., Giraldo, A., Rodríguez-Rubio, E. 2010. Ictioplancton en la zona costera del Pacífico colombiano durante la fase terminal de El Niño 2006-2007. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 38(1): 151-166.
- Oksanen, J., Blanchet, F.G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGLinn, D., Minchin, P.R., O'Hara, R.B., Simpson, G.L., Solymos, P., Stevens, M.H.H., Szoecs, E., Wagner, H. 2019. VEGAN: Community Ecology Package. *R package version 2.5-6*. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- Pabón-Méndez, L.A. 2013. Composición, densidad y distribución del ictioplancton en aguas oceánicas del mar Caribe colombiano y su relación con algunas variables oceanográficas. Tesis. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. 124 pp.
- Rivera, C., Zapata, A., Pinilla, G., Donato, J., Chaparro, B., Jiménez, P. 2005. Comparación de la estimación de la Clorofila *a* mediante los métodos espectrofotométrico y fluorométrico. *Acta Biológica Colombiana* 10(2): 95-104.
- Silva J. (2011). Estimación de la concentración de Clorofila *a* en el golfo de Urabá. Recuperado de <http://giper.univalle.edu.co/productos/clorofila.pdf>.
- UNESCO. 1983. Unesco technical papers in marine science. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater. Fofonoff N.P., Millard Jr. Paris. 58 pp.
- UNESCO. 2010. Microscopic and molecular methods for quantitative phytoplankton analysis. Paris, UNESCO. Karlson, B., Cusack, C., Bresnan, E. (editors). (IOC Manuals and Guides, no. 55.) (IOC/2010/MG/55) 110 p.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA), Region 5 Central Regional Laboratory (1999). Standard operating procedure for the analysis of residue, nonfilterable (suspended solids), water, method 160.2 NS (Gravimetric, 103-105oC). <http://www.epa.gov/rmdcrl/sop/sopdoc/AIG018.pdf> 3p.

Zapata M. 2015. Abundancia y distribución espacio-temporal de larvas de *Crassostrea* (Mollusca: Bivalvia) En bahía Marirrío, golfo de Urabá (Caribe Colombiano). Tesis de maestría. Ciencias Ambientales. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. 78 p.

ANEXOS

Convenio especial de cooperación para la investigación N. 4600000983

Anexo 1 Catálogo en orden alfabético de grandes grupos del zooplancton de las muestras colectadas durante el proyecto “Lineamientos Prioritarios para la Formulación de un Ordenamiento Pesquero del Golfo de Urabá” Actividad 2 “Evaluación Biológica y Pesquera de los Principales Caladeros de Pesca del golfo de Urabá”

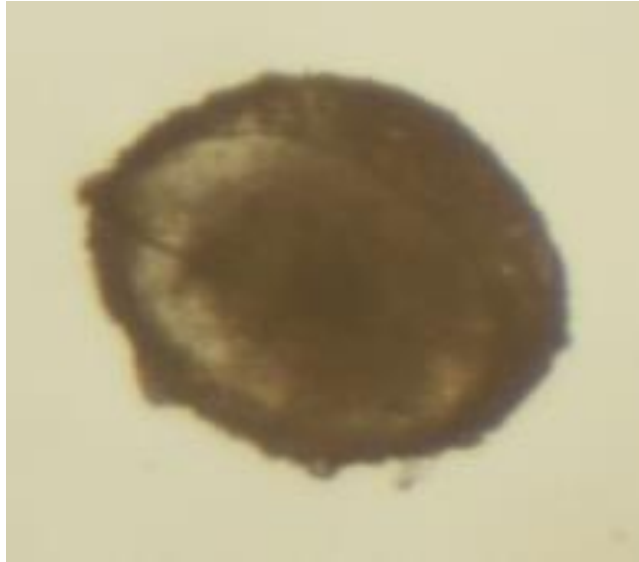
Ácaro-ACA



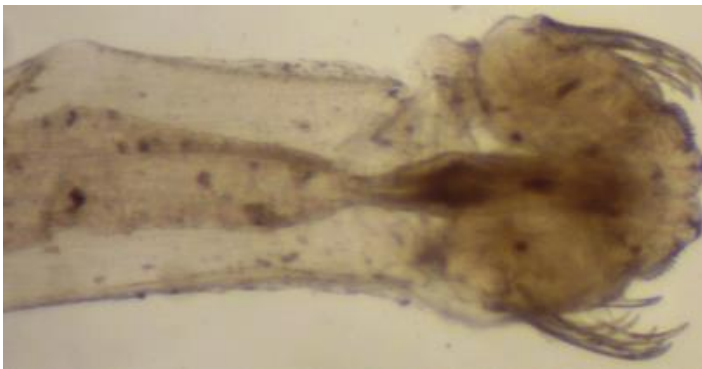
Amphipoda-AMP



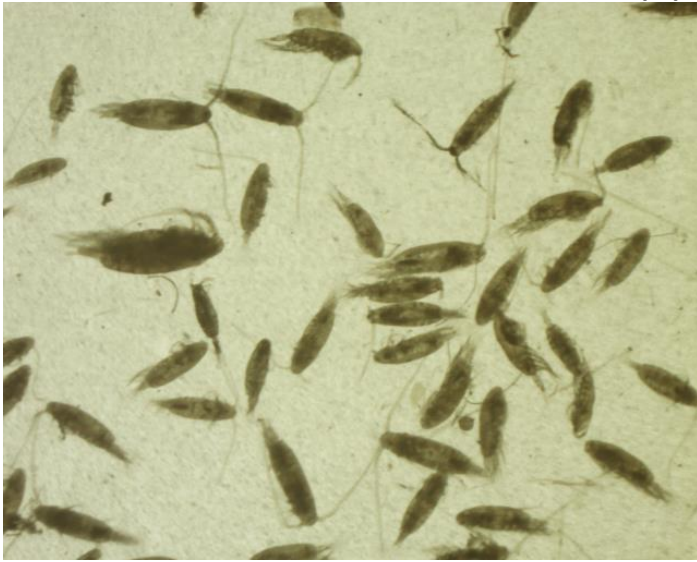
Bivalvo-BIV



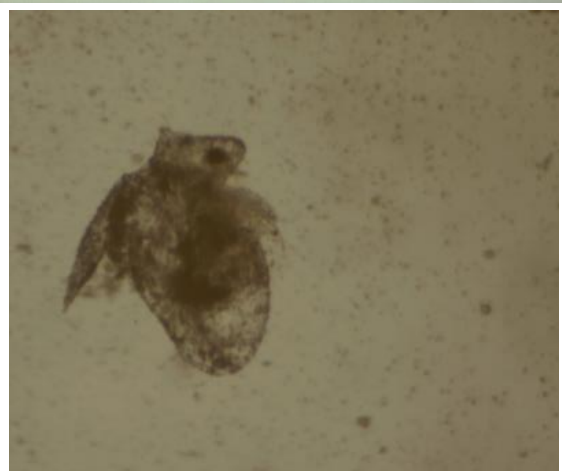
Chaetognata-CHA



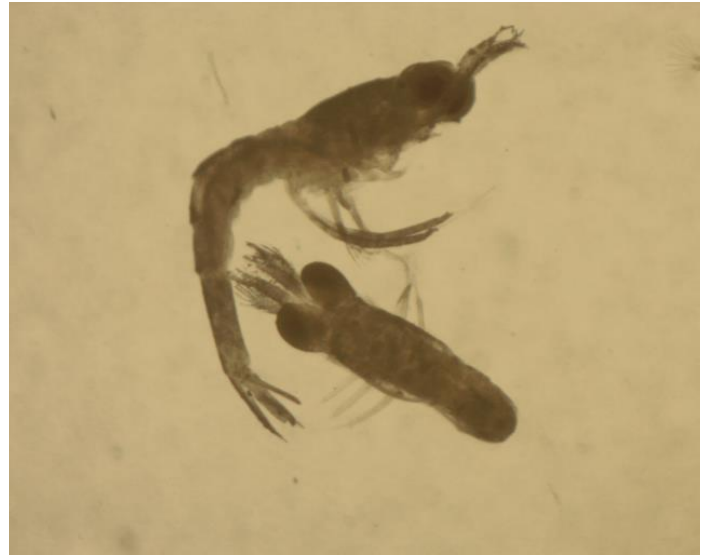
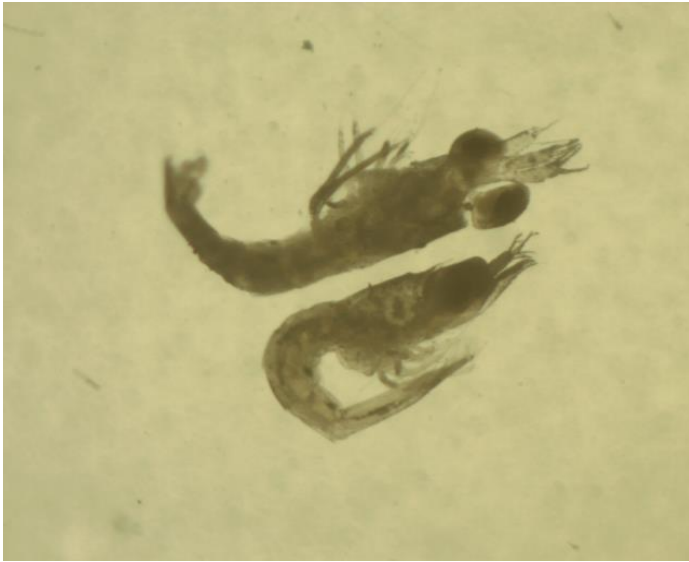
Copépodos-COP



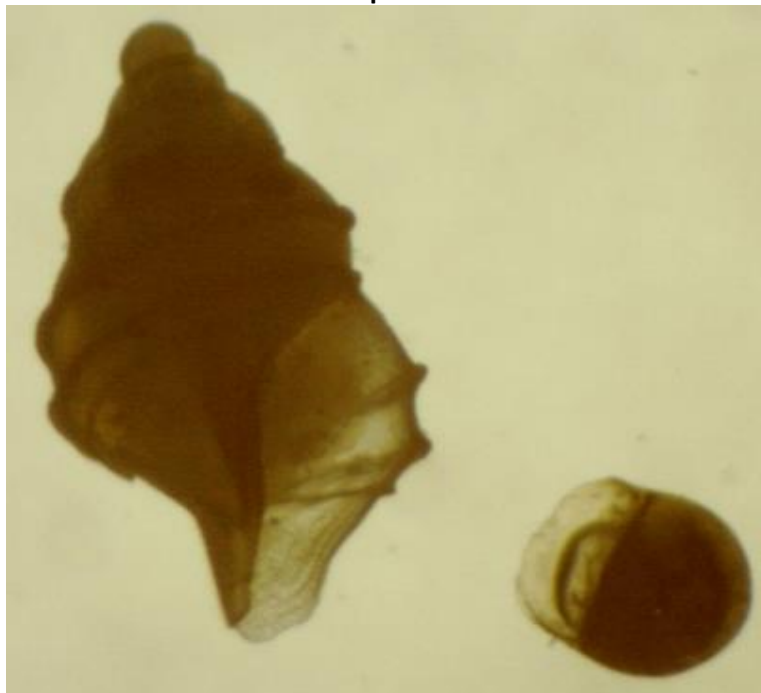
Daphnia-DAP (Cladocera)



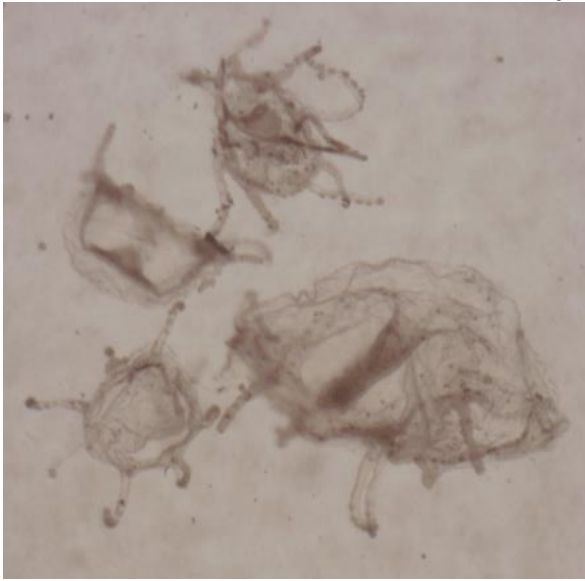
Eufaúsidos-EUF



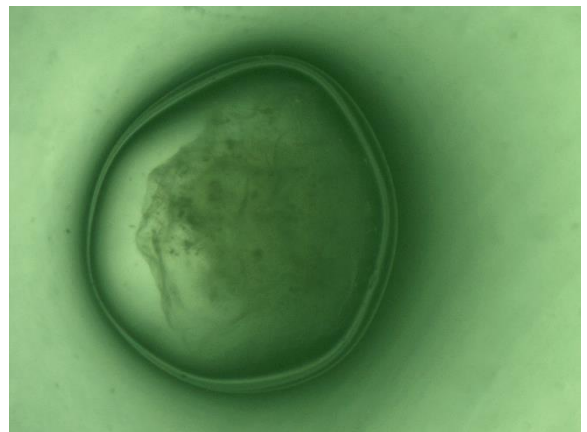
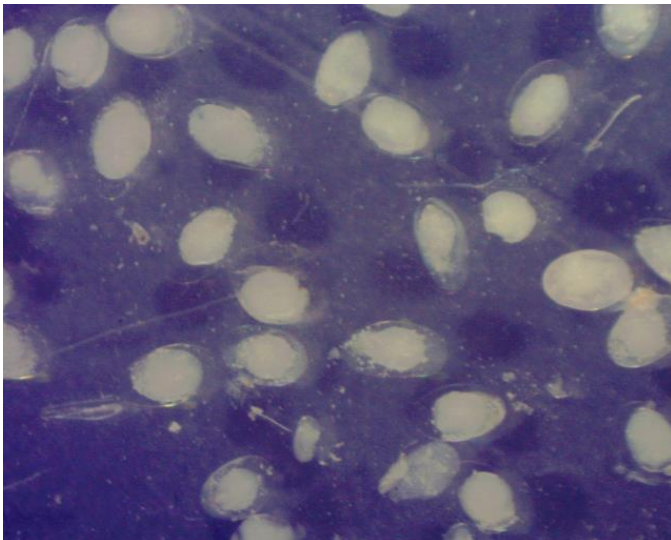
Gasterópodos-GAS



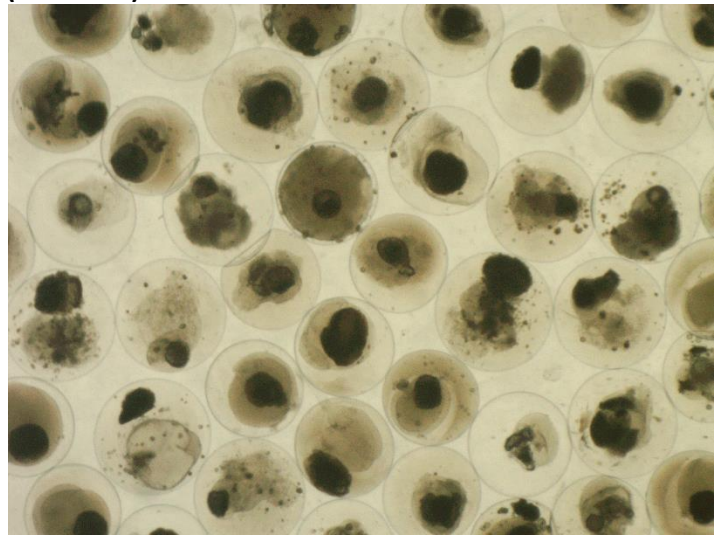
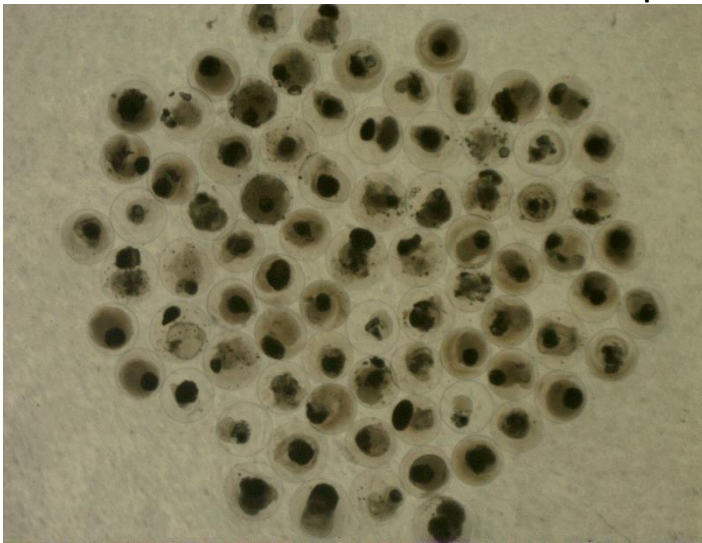
Hydromedusas-HYD



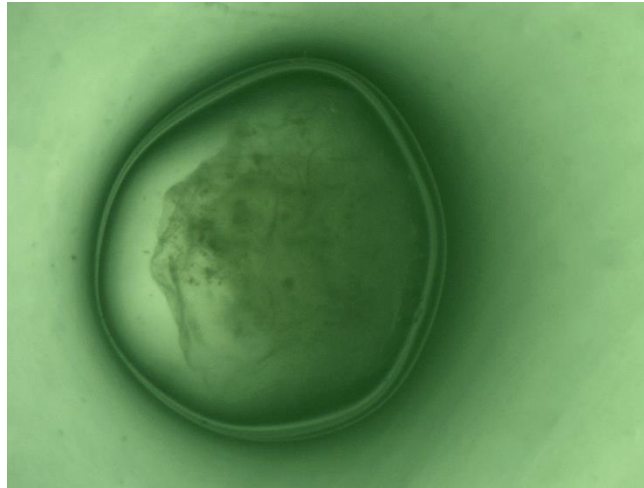
Huevos ovalados y larvas de peces-HYL



Huevos de peces (redondos)-HYL



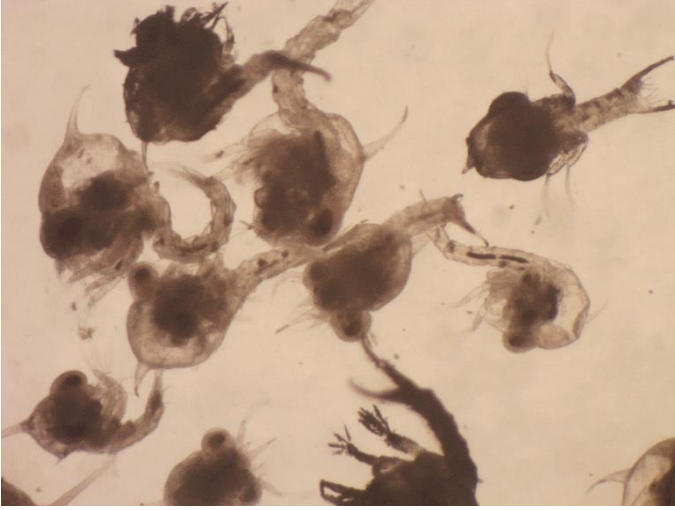
Huevos no identificado-HIN



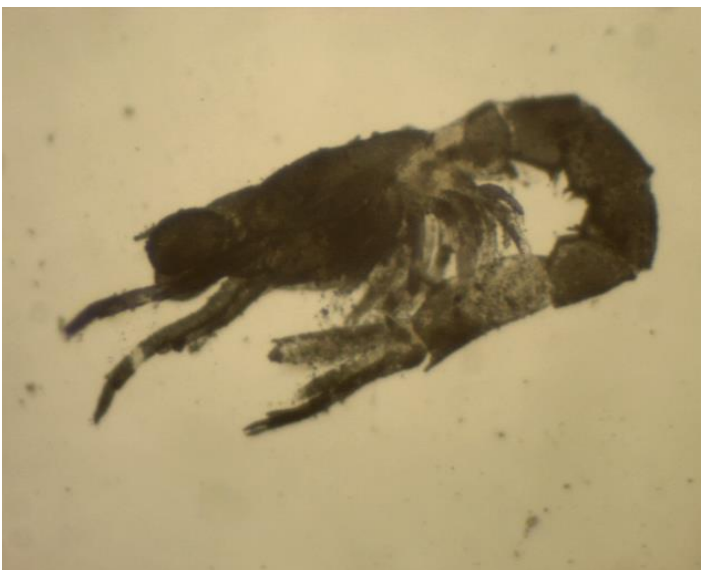
Larvas de Insectos-INS

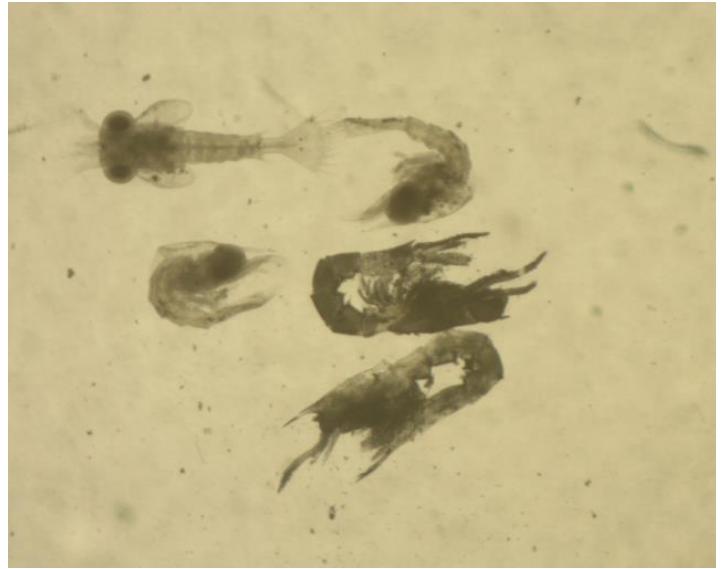


Larvas Brachiura-BRA



Larvas de Camarón-LCA





Luciféridos-LUC



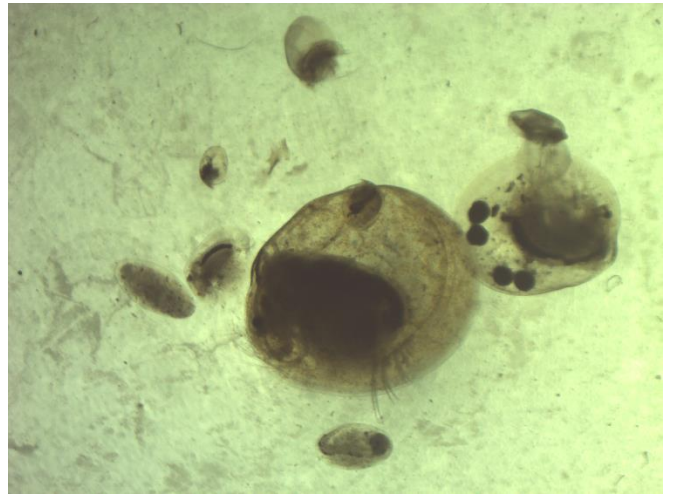
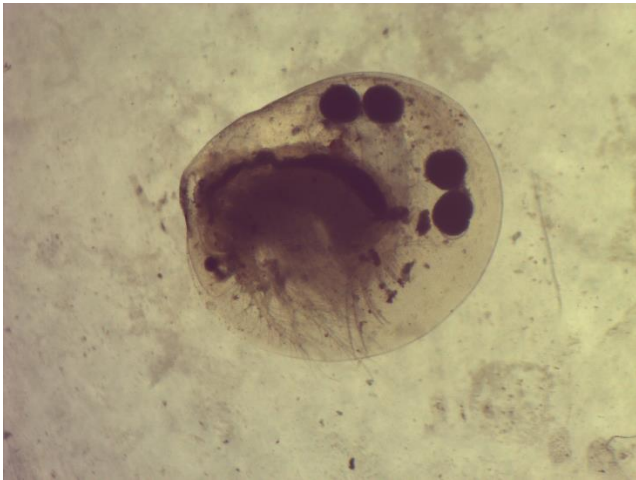
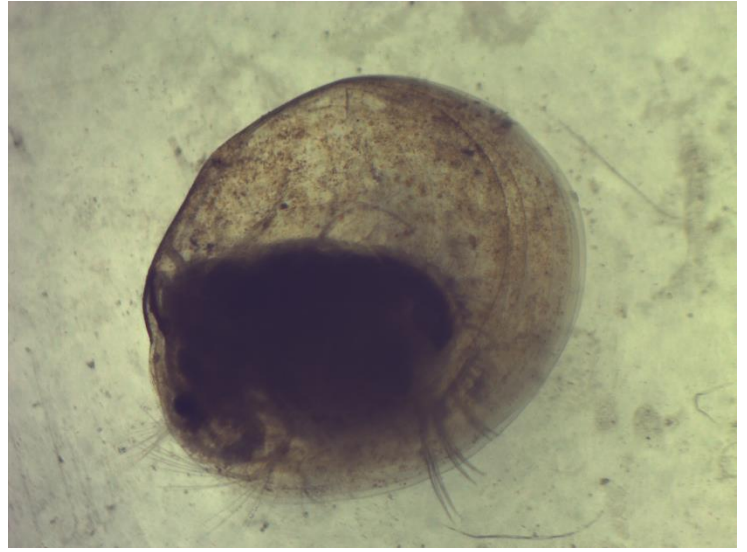
Mysidaceos-MYS



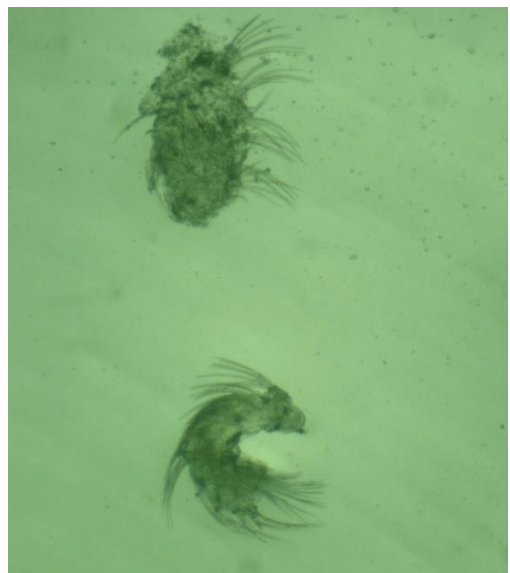
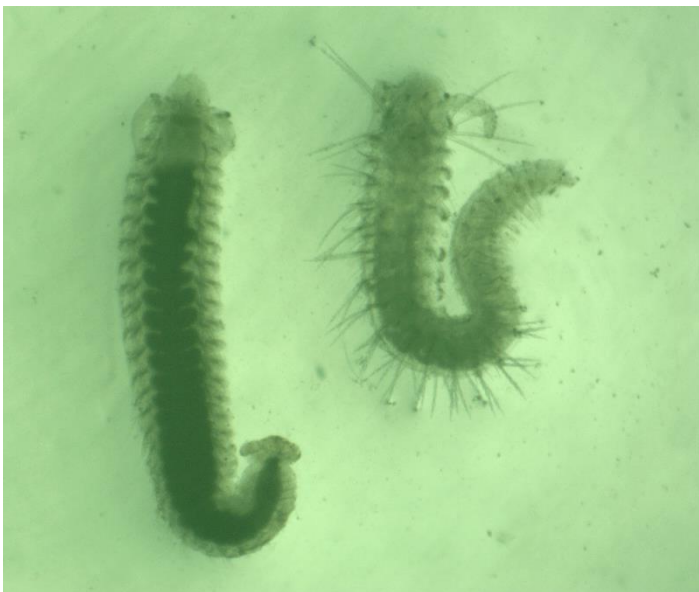
Oikopleura-OIK



Ostrácoda-OST

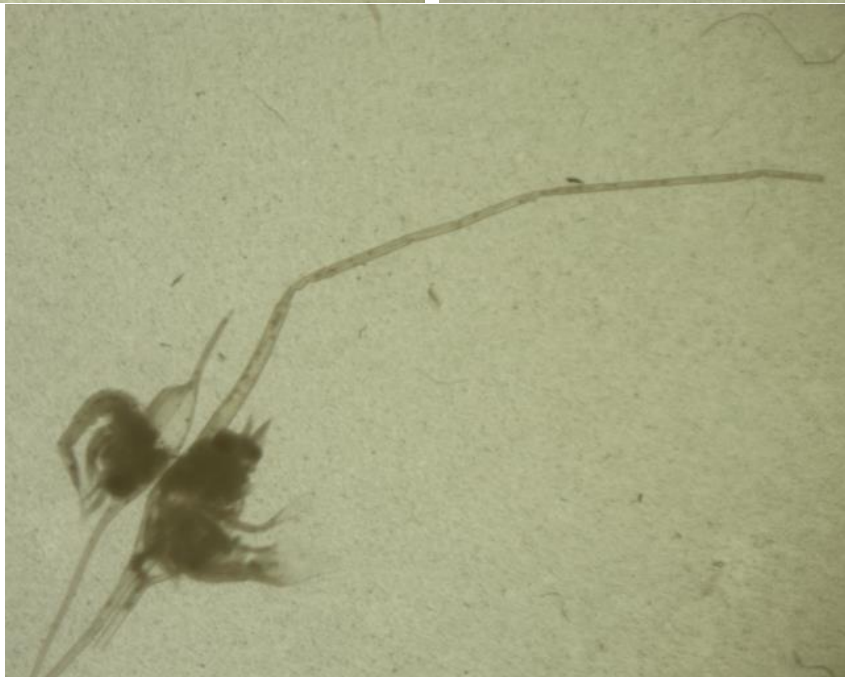
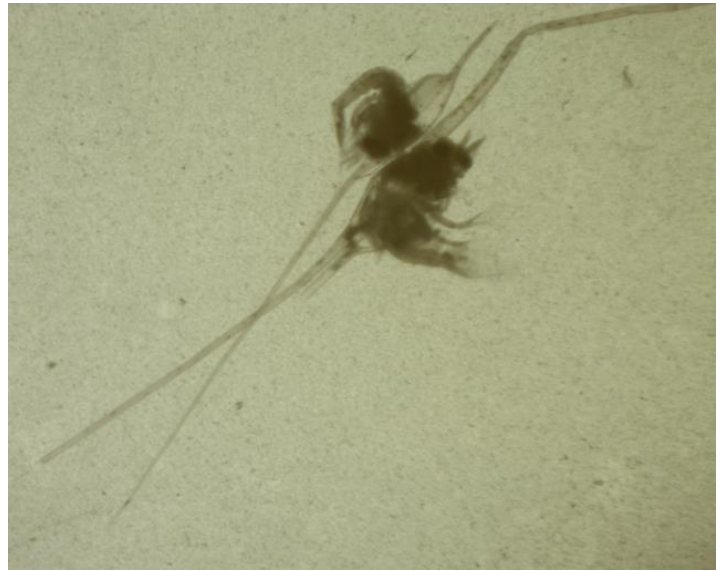


Poliquetos-POL

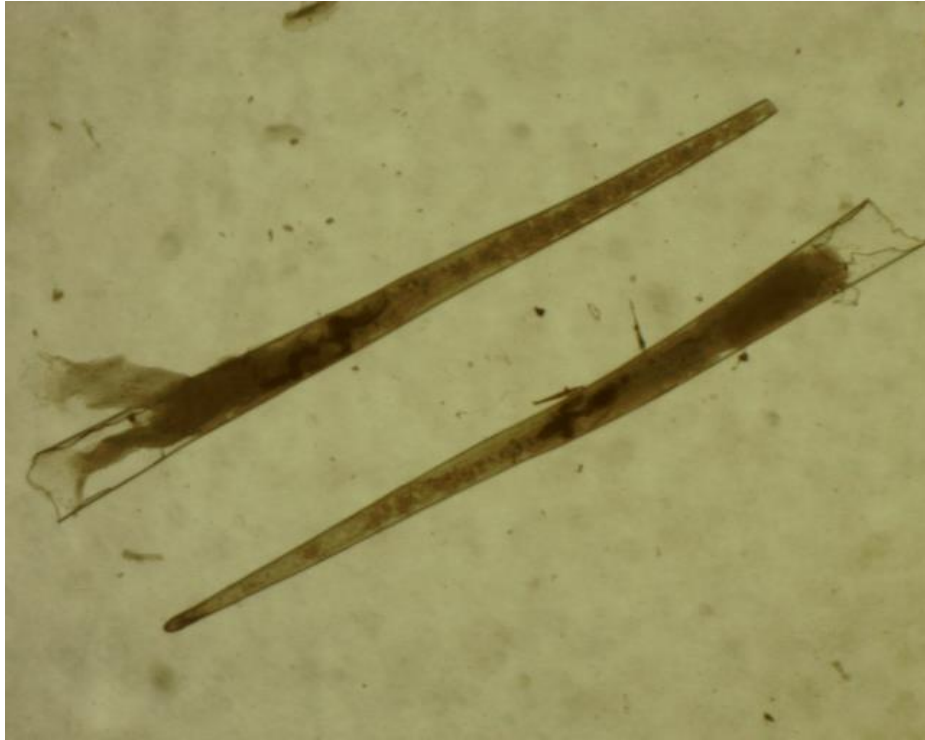




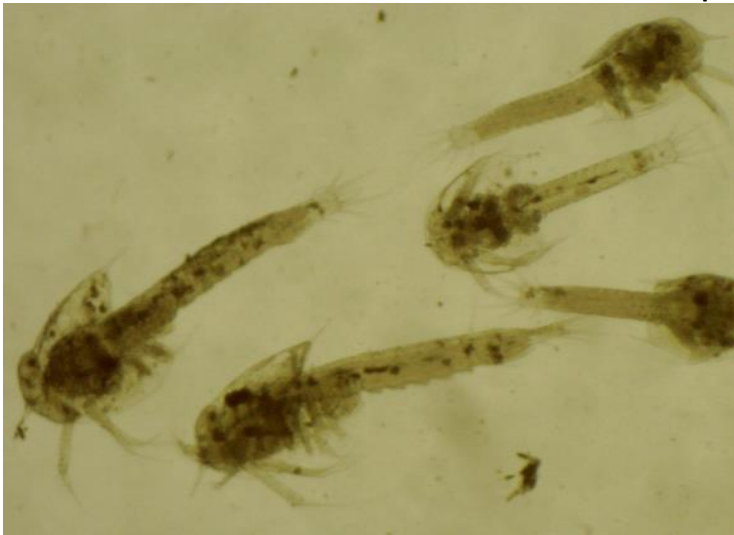
Porcelánidos-POR



Pterópoda_PTE



Stomatopoda-STO



Eufaúsidos Vs Larvas Camarón Vs Myscídaceos



Luciféridos Vs Myscídaceos



Anexo 2 Listado de las estaciones establecidas por LOPEGU y valores fisicoquímicos medidos durante el séptimo muestreo.

Lugar	N Norte	W Occidente	Fecha	Hora	Temperatura (°C)	Oxígeno D (mg/L)	Salinidad (psu)	Conductividad (µS/cm)	pH	Transparencia (m)	Clorofila a (mg/m ³)	Seston T (mg/m ³)
El Roto	8.24186	76.94947	20/08/2016	7:30	27.64	2.72	0.844794	1766	7.59	0.35	2.221	53.2
El Roto	8.24186	76.94947	20/08/2016	7:37	27.69	2.73	1.025209	2126	7.48	0.3	2.777	75.2
RíoNecoclí	8.47011	76.81772	24/08/2016	14:28	30.6	3.33	19.69804	35210	8.43	3.8	3.228	23.8
RíoNecoclí	8.47011	76.81772	24/08/2016	14:29	30.61	3.31	20.35598	36280	8.45	4.05	3.124	13.268
PArenasS	8.52194	76.92739	24/08/2016	13:00	30.42	3.22	25.40319	44150	8.83	3.15	2.221	22.8
PArenasS	8.52194	76.92739	24/08/2016	13:03	30.41	3.22	25.37635	44100	8.78	3.26	2.187	12.0
PArenasN	8.55497	76.93903	24/08/2016	9:50	29.54	3.18	24.70238	42360	8.37	1.95	1.423	27.8
PArenasN	8.55497	76.93903	24/08/2016	9:55	29.54	3.31	25.73554	43950	8.37	2.3	1.319	11.6
BajoMedio	8.88239	76.50717	18/08/2016	10:40	30.22	2.97	22.92197	40100	8.48	5	1.319	13.9
BajoMedio	8.88239	76.50717	18/08/2016	10:42	30.33	2.65	23.02243	40340	8.48	5	1.145	15.8
Sabanilla	8.76528	76.639	10/08/2016	8:46	30.06	3.23	24.40138	42300	8.36	5	<0.347	13.6
Sabanilla	8.76528	76.639	10/08/2016	8:49	30.08	3.23	24.94312	43160	8.37	5	<0.347	13.3
Candelaria	8.12267	76.89844	20/08/2016	9:20	29.83	2.27	23.90604	41350	8.06	2.25	2.638	19.636
Candelaria	8.12267	76.89844	20/08/2016	9:25	29.9	5.08*	23.84609	41310	8.1	2.32	2.673	23.273
Isla Margarita	8.12644	76.80983	20/08/2016	10:49	29.08	3.81	8.411198	15710	8.42	0.85	4.304	27.455
Isla Margarita	8.12644	76.80983	20/08/2016	10:53	28.99	3.69	8.386088	15640	8.3	1.06	4.547	26.8
Leoncito	8.01539	76.85414	22/08/2016	8:39	28.43	3.44	0.28498	628	7.78	0.09	2.499	136.0
Leoncito	8.01539	76.85414	22/08/2016	8:41	28.44	3.41	0.15363	340	7.78	0.1	3.193	186.0
Marirrí	8.02089	76.89517	22/08/2016	7:36	30.02	3.42	10.02117	18790	8.24	1.15	3.159	17.2
Marirrí	8.02089	76.89517	22/08/2016	7:43	30.1	3.43	10.16135	19060	8.15	1.22	1.25	15.9
Currulao	8.00461	76.88167	28/08/2016	6:46	29.8	2.75	28.52374	48430	8.02	2.3	2.152	24.2
Currulao	8.00461	76.88167	28/08/2016	6:53	29.85	2.67	28.85624	48980	8.04	2.5	2.326	22.6
El Uno	8.10853	76.74458	28/08/2016	8:59	29.96	3.52	13.7227	25040	8.12	0.4	14.092	44.8
El Uno	8.10853	76.74458	28/08/2016	9:03	29.86	3.51	13.70264	24960	8.14	0.45	14.023	51.2
Yarumal	8.11003	76.77343	28/08/2016	8:10	28.84	3.53	12.93603	23230	8.16	1.7	2.256	11.5
Yarumal	8.11003	76.77343	28/08/2016	8:13	28.83	3.58	12.9387	23230	8.15	1.55	4.13	17.8

*Se considera que este dato pudo provenir de algún error, ya que se aleja de todos los valores obtenidos para la época de muestreo

Anexo 3 Listado taxonómico de los grandes grupos de zooplancton identificados en este estudio (Boltovskoy, 1981).

Phylum	Clase	Orden	Familia	Taxón	
Annelida	Polychaeta			Poliquetos	
		Copepoda		Copépodos	
		Cladocera		Cladóceras	
				Larvas Brachiura	
				Larvas Camarón	
Arthropoda	Crustacea	Decápoda	Luciferidae	Luciféridos	
			Porcellanidae	Porcelánidos	
			Euphausiacea	Eufaúsidos	
			Mysidacea	Myscidaceos	
				Ostracoda (Subclase)	Ostrácoda
				Stomatopoda	Stomatópodos
			Insecta		Larvas insectos
		Chaetognatha			Quetognatos
	Appendicularia	Copelata	Oikopleuridae	Oikopleura	
Chordata	Osteichthyes (superclase)		Engraulidae	Huevos ovalados	
				Huevos redondos	
				Larvas de Peces	
Cnidaria	Hydrozoa			Hydromedusa	
Mollusca	Bivalvia			Bivalvos	
	Gastropoda			Gasterópodos	
Huevos indeterminados				Huevos indeterminados	

Anexo 4 Listado en orden alfabético de los grandes grupos de zooplancton identificados, densidades de estos grupos en cada una de las estaciones de muestreo; densidad total y biovolumen.

Taxón/Lugar	El Roto	Candelaria	Margarita	Leoncito	Marirrio	Currulao	El Uno	Yarumal	Rio Necoclí	P. Arenas S	P. Arenas N	P. Sabanilla	Bajo del Medio
Bivalvos	0	3.98836726	0.03926188	0	0	0.29314767	0	0	1.34151016	0.26871401	0	4.59110473	0
Copépodos	17.350684	660.73951	6.55673341	15.3384747	1031.00304	270.282155	124.979658	1627.20247	29.62821	27.6775432	198.354204	332.281205	370.035194
Cladóceros	62.9963297	0	0.39261877	57.412168	1.38949197	0	0	0	1.18819471	5.52783109	16.8872987	14.9210904	155.253896
Eufáusidos	60.8608609	0	1.6882607	10.1970865	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gasterópodos	0	22.6007478	1.13859442	0	1.38949197	0.29314767	0.97640358	2.47295209	5.74932924	4.91362764	2.00357782	35.0071736	2.413273
Hydromedusas	0	0	0	0	0	2.34518139	0	0	0	0.07677543	0	0	0
Huevos indeterminados	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11.9385797	12.3434705	0	0
Huevos redondos	0	0.16618197	0	0	0.26052974	92.6346647	0.28478438	0.92735703	4.17784592	1.99616123	4.15026834	9.25394548	0.20110608
Huevos ovalados	0	2.20191109	0	0	0.21710812	0.32979113	0	0	6.32426217	2.6487524	0.85867621	7.74748924	2.66465561
Larvas insectos	0.8008008	0	0	0	1.38949197	0	0	0	0.15331545	0.2303263	0.2862254	0	0
Larvas de Peces	0.4004004	0.41545492	1.25638005	0.1285347	1.04211898	0.87944302	0.44751831	0.23183926	0.15331545	0	0.03577818	0.39454806	0.2513826
Larvas Brachiura	0	1.32945575	0.19630938	0.17137961	0	26.9695859	201.790073	0	0.34495975	1.03646833	0	6.31276901	1.60884867
Larvas Camarón	0	2.65891151	0	0	8.3369518	1.17259069	0	4.94590417	0.84323496	0.88291747	0.85867621	10.9038737	0.80442433
Luciféridos	0.2669336	18.6123806	0.39261877	0	4.1684759	76.5115427	0	44.5131376	13.0701418	11.4395393	15.7423971	14.3472023	0
Myscidaceos	0	5.31782302	0.07852375	0	2.77898393	5.56980579	0.32546786	98.9180835	0.61326179	0.76775432	10.3041145	22.3816356	0
Oikopleura	0	33.2363939	1.53121319	0	0	12.6053499	0	0	4.82943657	5.68138196	25.1878354	17.7905308	2.413273
Ostrácoda	0	0	0	0	0	3.81091975	0	0	0	0	0.2862254	0	0
Poliquetos	0	0	0	0	0	0.58629535	0	0	0.42161748	0.03838772	0	0	0
Porcelánidos	0	1.32945575	0	0	0	0.58629535	0	0	0.03832886	0.07677543	0	1.72166428	0
Quetognatos	0	41.2131284	0.6674519	0	0	36.6434591	0	0	2.45304714	1.72744722	2.28980322	8.60832138	0.80442433
Stomatópodos	0	2.65891151	7.53828033	0	1.38949197	1.75888604	0	44.5131376	0.76657723	0.19193858	1.71735242	19.5121951	3.21769734
TOTAL (ind/m³)	142.676009	796.468633	21.4762466	83.2476435	1053.36518	533.272261	328.803906	1823.72488	72.0965887	77.1209213	291.305903	505.774749	539.668175
Biomasa Volumétrica (ml/m³)	0.01334668	0.10386373	0.00785238	0.00856898	0.08684325	0.14657384	0.03051261	0.19319938	0.02874665	0.01535509	0.01788909	0.08967001	0.03016591