



Estructura comunitaria del mesozooplankton en dos épocas climáticas contrastantes en el golfo de
Urabá, Caribe Colombiano.

Balentina Vargas Ospina
Jhonmar Andrés Córdoba Bejarano

Trabajo de grado presentado para optar al título de ecólogos de zonas costeras

Asesor

Lennin Flórez Leiva, Magíster (MSc) en oceanografía

Coasesor

Ramiro Riquelme Bugeño, Doctor (PhD) en oceanografía

Universidad de Antioquia
Corporación Académica Ambiental
Ecología de zonas costeras
Turbo, Antioquia, Colombia
2022

Cita	(Vargas-Ospina & Córdoba, 2022)
Referencia	Vargas Ospina, B., & Córdoba Bejarano, J. A. (2022). <i>Estructura comunitaria del mesozooplankton en dos épocas climáticas contrastantes en el golfo de Urabá, Caribe Colombiano</i> . (Trabajo de grado profesional). Universidad de Antioquia, Turbo, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Grupo de Investigación Océanos, Clima y Ambiente (OCA).

Corporación Académica Ambiental (CAA).



Biblioteca Sede Ciencias del Mar (Turbo)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Jairo Zapata.

Jefe departamento: Paula Quiceno Cuartas.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Agradecimientos

. Extendemos nuestros agradecimientos al grupo OCA que nos apoyó en todo el proceso de nuestro trabajo de grado, especialmente a nuestros asesores Lennin Flórez y Ramiro Riquelme, y los estudiantes Ferney Orejuela, Shalenys y Lorenzo Portillo.

Balentina: A mi familia por el amor y apoyo en mi proceso académico, a mis profesores por las enseñanzas, especialmente mis asesores por ser grandes personas que enseñan desde el corazón, y no menos importante mi compañero Jhonmar por la amistad que formamos mientras crecía nuestra pasión por la ciencia.

Jhonmar: A mis padres, a Balentina, a mis profes del colegio San Martín y a los docentes de Ciencias del Mar.

Contenido

Resumen	7
Abstract	8
1. Introducción	9
3 Antecedentes	11
4. Objetivos	12
4.1 Objetivo general	12
4.2 Objetivos específicos	12
5 Hipótesis	12
6 Marco teórico	13
7 Metodología	15
7.1 Área de estudio	15
7.2 fase de campo	16
7.3 Fase de laboratorio	18
7.4 Análisis de datos	18
7.4.1 Densidad de mesozooplancton	18
7.4.2 Biomasa seca	19
7.4.3 Riqueza	19
7.4.4 Análisis estadístico	19
8 Resultados	20
8.1 Parámetros fisicoquímicos	20
8.2 Densidad del mesozooplancton	21
8.3 Biomasa del mesozooplancton	25
8.4 Riqueza del mesozooplancton	28

8.5 Relación de variables fisicoquímicas y biológicas	30
9 Discusión	31
10 Conclusiones	34
11 Recomendaciones	34
Referencias	35
12 Anexos	43

Lista de tablas

Tabla 1 Permanova densidad	24
Tabla 2 Permanova biomasa	27
Tabla 3 Prueba SIMPER	29
Tabla 4 Prueba Best	30
Tabla 5 Prueba Best	31

Lista de figuras

1Figura 1 Area de estudio.....	16
2Figura 2 Variables fisico quimicas.....	21
3Figura3a Densidad de mesozooplancton.....	22
4Figura3b Densidad de mesozooplacton	23
5Figura4a Biomasa de mesozooplancton	25
6Figura4b Biomasa de mesozooplancton	26

Estructura comunitaria... 6

7Figura5 Riqueza de mesozooplancton.....28

Resumen

La distribución, densidad, biomasa y riqueza del mesozooplancton se pueden ver afectados por la épocas climáticas y cambios fisicoquímicos de la columna de agua. En el Golfo de Urabá en el Caribe colombiano, se realizó un estudio de la estructura comunitaria en los dos periodos climáticos, seco (4 de diciembre de 2019) y húmedo (3 de noviembre de 2019), a lo largo de 80 km de transecto de norte a sur del estuario, arrastres en dos profundidades (superficie y profundo) con una red bongo de 250 y 500 micras. Los resultados muestran que el estuario es un sistema estratificado y presenta un gradiente de salinidad de agua dulce a marina de sur a norte. Por otra parte, la biomasa seca de mesozooplancton estuvo dominada por el factor época, en época húmeda se presentaron los valores más altos ($96,45 \text{ mg/m}^3$), por el contrario, la densidad de mesozooplancton fue mayor en la época seca. Por otro lado, la riqueza de mesozooplancton la componen 11 grupos taxonómicos. El grupo *Calanoida*, fue el más representativo en el Golfo de Urabá para ambas épocas, siendo más visible en la época seca.

Palabras clave: Estuario, mesozooplancton, Caribe.

Abstract

The distribution, density, biomass and richness of mesozooplankton can be affected by climatic seasons and physicochemical changes in the water column. In the Gulf of Urabá in the Colombian Caribbean, a study of the community structure was carried out in the two climatic periods, dry (December 4, 2019) and wet (November 3, 2019), along an 80 km transect from north to south of the estuary, trawls at two depths (surface and deep) with a 250 and 500 micron bongo net. The results show that the estuary is a stratified system and presents a salinity gradient from fresh to marine water from south to north. On the other hand, the dry biomass of mesozooplankton was dominated by the season factor, in the wet season the highest values (96.45 mg/m³) were presented, on the contrary, the density of mesozooplankton was higher in the dry season. On the other hand, the richness of mesozooplankton is made up of 11 taxonomic groups. The Calanoida group was the most representative in the Gulf of Urabá for both seasons, being more visible in the dry season.

Keywords: Estuary, mesozooplankton, Caribbean.

1. Introducción

El zooplancton está constituido por organismos que explotan distintos nichos en las redes tróficas acuáticas tales como herbívoros, detritívoros, carnívoros u omnívoros, algunos de estos practican la mixotrofia, es decir, que pueden obtener energía a través de la fotosíntesis y de otros organismos (Lenz, 2000). Estos organismos son indispensables en las redes tróficas, debido a que actúan como enlaces alimentarios cruciales entre el fitoplancton (productores primarios) y los niveles tróficos más altos (Gao et al., 2019). La disminución en la densidad de algunos organismos del zooplancton, que son alimento de larvas de peces pueden conducir a efectos directos sobre eslabones tróficos superiores, que dependen del ictioplancton reduciendo así las pesquerías locales (Boltovskoy, 1981). A su vez, estudios muestran que reducciones en la producción secundaria y primaria tienen un impacto directo en la dinámica de la pesca, de manera que la distribución del zooplancton puede causar aumento o disminuciones sensibles en volúmenes de captura de peces (Castellanos-Osorio, 2009; Balcázar, 2011). Teniendo en cuenta que el zooplancton constituye un nivel trófico crucial en la transferencia de energía a organismos superiores (Fernández-Severini et al., 2013), cambios en la productividad secundaria podrían generar repercusiones a gran escala para las redes tróficas acuáticas (Frederiksen et al., 2006).

Por otro lado, los cambios espacio-temporales observados en variables fisicoquímicas como la salinidad, condicionan la distribución vertical del mesozooplancton (e.g., bahía Blanca, un estuario de zonas templadas (Garibotti, 2015). Otros estudios de dinámica y distribución del mesozooplancton en estuarios consideraron que, en general, la salinidad y temperatura son factores que determinan la distribución de estos organismos, que por lo general dependen en mayor medida de la época que de la espacialidad (Márquez et al., 2007; Esteves, et al., 2008). Por otra parte, la biomasa y abundancia del mesozooplancton se pueden ver afectados por vertimientos de metales pesados o nutrientes como nitratos, producto de la industrialización y crecimiento urbano en las zonas cercanas a los estuarios (Dutto, 2014).

Los cambios en factores fisicoquímicos están ligados a las condiciones meteorológicas y a las épocas climáticas, que a su vez son factores que influyen la estructura del

mesozooplancton (Bernal y Zea, 2000; Dorado-Roncancio, 2015). Teniendo en cuenta lo anterior un reciente estudio en el golfo de Urabá ha mostrado la importancia del río Atrato en la dinámica del zooplancton ya que la influencia de este crea un gradiente de salinidad que varía desde las zonas más cercanas al delta hacia las zonas marinas. De acuerdo con lo encontrado por este estudio la abundancia del zooplancton aumenta desde las zonas más salobres a las más salinas (Cuesta-Córdoba y Correa-Herrera, 2016).

El golfo de Urabá es un estuario considerado como el más grande de Colombia (Blanco, 2016). Sin embargo, hoy los servicios ecosistémicos que presta están siendo afectados por factores externos tales como, las aguas cargadas de nutrientes que por escorrentía entran al Golfo, produciendo eutrofización (Heisler et al., 2008). Así mismo, son pocos los trabajos reportados sobre los componentes biológicos desde fitoplancton hasta niveles tróficos superiores, que debe ser evaluada ya que la población aledaña al estuario sostiene un vínculo con la amplia gama de recursos pesqueros que sustentan su vida alimentaria, económica y cultural (Leal-Flórez et al., 2017). Por lo tanto, este trabajo se hace pertinente debido a que la evaluación de la riqueza, densidad y biomasa del mesozooplancton en el golfo de Urabá, permitirá realizar aproximaciones del aporte de estos a la producción secundaria, teniendo en cuenta que la mayor disponibilidad de zooplancton aumenta la preservación y desarrollo de alevines (Gomez-Gaspar, 2021), que son importantes para la economía de las comunidades de la región, además, se complementará el conocimiento de la red trófica del estuario. Asimismo, se constituye en el trabajo más amplio ya que evalúa al estuario en su totalidad cubriendo cerca de 80 km en línea recta de sur a norte y en la verticalidad (superficie y profundo) que antes no había sido analizada. Por lo dicho anteriormente, el objetivo de esta investigación es determinar algunos de los componentes de la estructura comunitaria del mesozooplancton (biomasa, riqueza y densidad) en el golfo de Urabá en dos épocas climáticas contrastantes.

2 Pregunta de investigación

¿Cómo varía la estructura comunitaria del mesozooplankton en dos épocas climáticas contrastantes en el golfo de Urabá, Caribe colombiano?

3 Antecedentes

Las condiciones de descargas continentales y afloramiento costero son variables que contribuyen a la distribución y composición de la comunidad zooplanctónica. Además, la abundancia de los organismos zooplanctónicos, pueden variar de acuerdo a las condiciones fisicoquímicas del agua que cambian en respuesta a las variaciones de las épocas climáticas (Bernal y Zea, 2000; Dorado-Roncancio, 2015). Debido a esto, la presencia constante de nutrientes en la columna de agua por estos fenómenos naturales y antrópicos, sugieren que la productividad secundaria (zooplankton) actúa directamente en la producción pesquera local, ya que la pesca dependerá indirectamente de la disponibilidad de alimento que tenga el zooplankton (Gómez-Gaspar, 2019), además, debe señalarse que las variaciones temporales en el ecosistema, parecen influenciar más la distribución y abundancia de la comunidad zooplanctónica que las variaciones espaciales (Cepeda-Mercado, 2007; Márquez et al., 2011; Márquez et al., 2018).

Gutiérrez-Salcedo (2011), expresa que, en la zona de surgencia de la Guajira, la riqueza está relacionada con la disponibilidad de alimentos contenidos en el área, y las estratificaciones de la columna de agua condicionadas por las variaciones oceanográficas como las corrientes del Caribe. Por otro lado, Medellín-Mora y Martínez (2010), encontraron que la distribución poblacional y biomasa del mesozooplankton en el Caribe colombiano están influenciadas por eventos de surgencia y descargas continentales, características comunes en el suroccidente del Caribe colombiano, que permiten la renovación de nutrientes propicios para el desarrollo del plancton. Cabe resaltar que a partir de las investigaciones de Medellín-Mora y Martínez (2010) y Medellín-Mora et al, (2018), a lo largo del Caribe colombiano se observó que las áreas con mayor densidad y biomasa zooplanctónica son el noroccidente y suroccidente. Además, en el delta del río Atrato (golfo de Urabá) la distribución del zooplankton puede variar por los gradientes de salinidad, aumentando la densidad desde los puntos con menor salinidad hacia los más salinos (Cuesta-Córdoba y Correa-Herrera, 2016). Por el contrario, la investigación realizada por Quiceno (2020) encontró la mayor densidad de zooplankton en las estaciones en el río Atrato.

Finalmente, se debe mencionar que para el golfo de Urabá se han realizado investigaciones como la expedición estuarina (Blanco-Libreros y Londoño-Mesa 2016) y el proyecto de lineamientos prioritarios para la formulación de un ordenamiento pesquero del golfo de Urabá (Leal-Flórez et al., 2017).

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

Determinar la estructura comunitaria (densidad, biomasa y riqueza) del mesozooplankton en la escala temporal y espacial.

4.2 Objetivos específicos

- Estimar la densidad, riqueza y la biomasa seca del mesozooplankton de sur a norte en dos periodos climáticos contrastantes en el golfo de Urabá.
- Comparar la distribución espacial (de sur a norte) y temporal de la biomasa, riqueza y densidad del mesozooplankton en el golfo de Urabá.
- Relacionar las variables fisicoquímicas de la columna de agua y la estructura comunitaria del mesozooplankton de sur a norte en dos periodos climáticos contrastantes en el golfo de Urabá.
-

5 Hipótesis

5.1 En el golfo de Urabá se producen variaciones fisicoquímicas por el aporte fluvial, de manera que se genera una zonación ecológica de norte a sur, por lo anterior, se espera que la riqueza, biomasa y densidad del mesozooplankton aumente de norte (oceánica) a la zona sur (estuarina y fluvial).

5.2 En la época húmeda, aumentan las descargas continentales produciendo cambios fisicoquímicos en el Golfo. Es por esto, que las características evaluadas en este trabajo, de la estructura comunitaria del mesozooplankton, (riqueza, biomasa y densidad), tendrán un aumento en la época húmeda, con respecto a la época seca.

6 Marco teórico

El plancton está formado por distintos organismos de formas, tamaños y grupos diferentes, suspendidos en la columna de agua, que se dividen en dos grandes grupos: fitoplancton, que son todos los organismos autótrofos y el zooplancton que son heterótrofos (Álvarez-Cadena et al., 2007). Estos individuos son transportados por las corrientes, mareas y el viento (Urrea, 2009), posee variados hábitos alimentarios entre los cuales están herbívoros (se alimentan del fitoplancton), carnívoros (se alimentan de otros organismos zooplanctónicos) y omnívoros (sostienen una dieta entre fito y zooplancton) (Daza et al., 2014). De acuerdo con su tamaño se pueden clasificar en picozooplancton (0,2-2 μm), nanozooplancton (2-20 μm), microzooplancton (20-200 μm), mesozooplancton (0,2-20 mm), macrozooplancton (2-20 cm), megazooplancton (20-200 cm) (Lenz, 2000).

Es de interés resaltar la diversidad de taxa que se encuentran en el mesozooplancton (0,2-20 mm), algunos solo pertenecen a este en etapas tempranas de su vida en forma de larvas (meroplancton) y otros que todo su ciclo de vida hace parte del plancton (holoplancton). Por lo cual, la importancia del mesozooplancton radica en que, en este rango de talla, hay una alta representatividad biológica que permite tener una amplia percepción del estado de la estructura comunitaria del zooplancton en un ecosistema (Medellín, 2016). La distribución del mesozooplancton está influenciada por la luz, la depredación y la disponibilidad de alimentos, los cuales son los factores que impulsan la migración vertical diaria (MVD) (Ringelberg, 1999; Garibotti, 2015). Así mismo, su distribución temporal se puede ver afectada por factores biológicos como la mortalidad natural, la migración vertical diaria y la depredación (Marcano et al., 2010). Adicionalmente, la estructura comunitaria es dependiente de las variaciones fisicoquímicas, tales como la suspensión de sedimentos, rangos de mareas, oleaje y la termoclina (Dorado-Roncancio, 2015).

Por otro lado, el cambio climático tiene efectos directos en la distribución del zooplancton, por las variaciones globales en la temperatura superficial del mar. La temperatura en los ecosistemas marinos cambia las características de la columna de agua, al igual que la concentración de

nutrientes y a su vez la producción primaria, debido a esto, la estructura de la comunidad zooplanctónica también sufre cambios. Por lo anterior, el calentamiento global puede tener repercusiones aún mayores en los ecosistemas marinos, que para los ecosistemas terrestres (Richardson, 2008) y es la razón por la cual, el zooplancton, se ha vuelto un bioindicador importante para las investigaciones, sobre los cambios que sufrirán los ecosistemas marinos, debido a que estos son sensibles al cambio climático (Fabry et al, 2008). Dentro de los estudios que evalúan los efectos del cambio climático en zooplancton se hace énfasis en la sensibilidad y rápida respuesta de los grupos meroplanctónicos por ejemplo los foraminíferos a los cambios de temperatura (Richardson, 2008; Lagos et al, 2014). Así mismo, se sugiere por estudios recientes que la biomasa y producción secundaria se puede ver afectada por el aumento de la temperatura y la acidificación del océano. Estas condiciones y la limitación de recursos debida al cambio climático producen mortalidades dentro del zooplancton, por ejemplo: en los copépodos que son la subclase más abundante dentro del zooplancton, afectando al resto de la red trófica marina. Sin embargo, esto varía entre las especies de copépodos por los rasgos fisiológicos de cada especie (Garzke et al., 2020).

Asimismo, la diversidad y biomasa del zooplancton es de gran importancia ya que transfiere la energía fijada por el fitoplancton a los niveles tróficos superiores (Howson et al., 2017). Por lo tanto, aprender sobre todos los componentes de la comunidad zooplanctónica, sustenta el conocimiento de los ecosistemas acuáticos, permitiendo así establecer las redes tróficas de los organismos asociados (Martínez-Barragán, 2007). Los diferentes grupos zooplanctónicos son los principales responsables del desarrollo de los peces, teniendo en cuenta que el zooplancton es productor secundario, y provee de alimento a la mayoría de los alevines, una vez que estos dejan de depender del saco vitelino (Abo-Taleb, 2019).

7 Metodología

7.1 Área de estudio

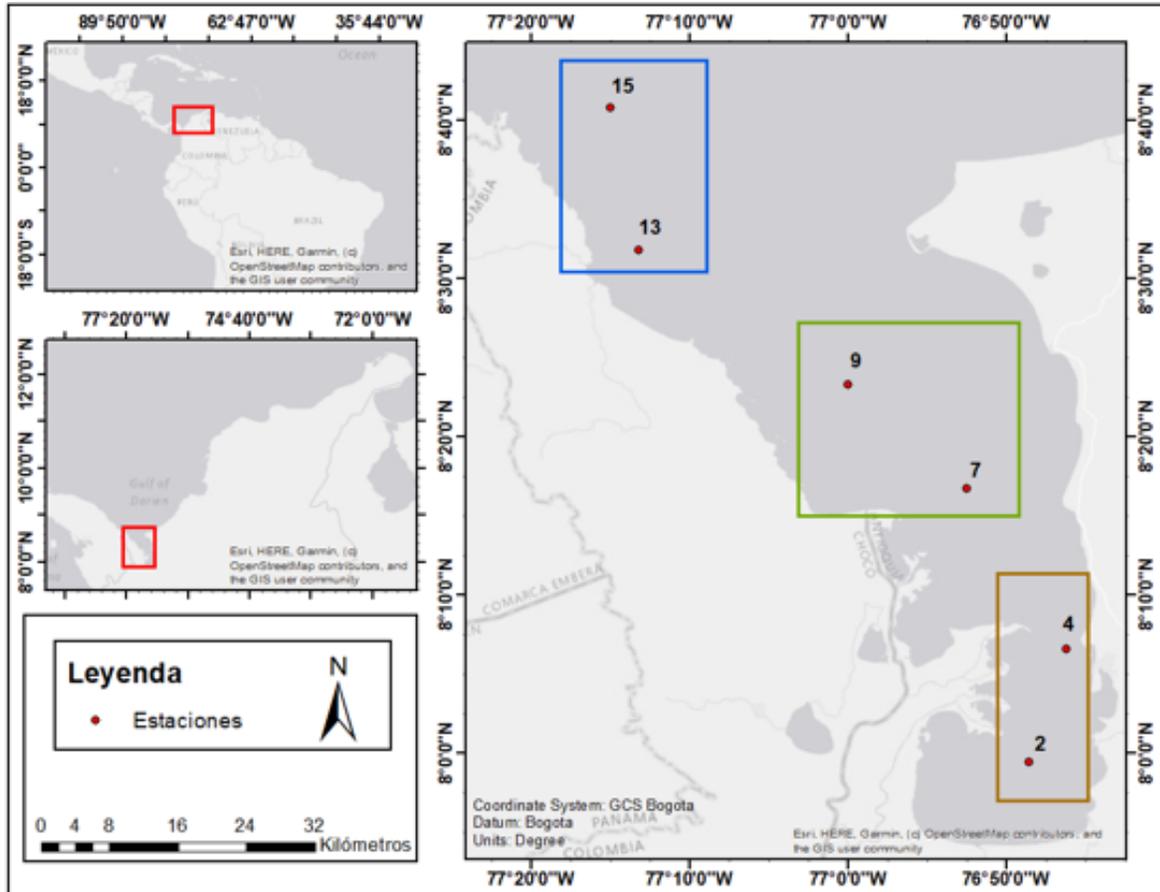
El mar Caribe es una zona que está hacia al norte de Sudamérica y el 28.46% de esta gran masa de agua, hace parte del territorio colombiano (Batidas-Salamanca *et al.*, 2017). Presenta zonas poco productivas y relativamente estables en el océano abierto, así como sistemas altamente variables y muy productivos (Margalef, 1969). Un ejemplo puntual de lo anterior ocurre en El golfo de Urabá está ubicado en el extremo sur del Caribe colombiano, entre los 7° 55` y 8° 40` latitud norte y 76° 53` y 77° 23` longitud oeste (Figura 1). El Golfo se caracteriza por su forma alargada y semi cerrada orientado en dirección norte-sur tiene una longitud aproximada de 80 km, con 25 km en la parte más ancha en dirección este-oeste, el Golfo tiene profundidades medias de 34 m y máximas 80 m, con fondos lodosos y sedimentarios por influencias de los ríos que confluyen en el golfo (Montoya-Toro *et al.*, 2010).

Las épocas climáticas en el Golfo, presentan variaciones anuales en las precipitaciones, teniendo así valores pluviales máximos (de mayo a diciembre) y mínimos (febrero a marzo). Esta variación está correlacionada con el aporte de los ríos (François *et al.*, 2007).

Una de las fuentes hídricas con mayor incidencia en el golfo de Urabá es el río Atrato, que es uno de los ríos más caudalosos de Colombia y es el principal moderador de la variación espacial de las características fisicoquímicas de las masas de agua en esta área. Produciendo así, con orientación sur-norte, de acuerdo con Córdoba-Mena *et al.* (2019), una zona sur dulceacuícola, luego una zona estuarina en la mitad de este y en la parte septentrional del Golfo, una zona oceánica (García-Valencia, 2007).

1Figura 1

Área de estudio golfo de Urabá, Caribe colombiano, las estaciones de muestreo, se encuentran divididas en tres zonas de sur a norte, dulceacuícolas (2-4), estuarinas (7-9), y marinas (13-15).



7.2 fase de campo

El estudio se realizó en las dos épocas climáticas: húmeda (3 de noviembre de 2019) y seca (4 de diciembre de 2019) en el golfo de Urabá, tomando de sur a norte seis estaciones, dulceacuícolas (2-4), estuarinas (7-9) y marinas (13-15) (Figura 1). Las estaciones fueron tomadas de este modo de acuerdo a su ubicación estratégica dentro del golfo, esto siguiendo la descripción de (Bernal-Sánchez y Contreras-Fernández, 2019; Córdoba et al., 2020) en la que se evidenció que el Golfo cuenta con tres grandes divisiones por sus características fisicoquímicas (dulceacuícola, estuarina y oceánica) que se ajustaba al objetivo de la investigación para encontrar las diferencias en abundancia, biomasa y riqueza del mesozooplankton en las escalas espacial y temporal.

Las muestras de mesozooplankton fueron recolectadas con una red bongo equipada con redes de 250 y 500 micras, y con un flujómetro con el fin de estimar el volumen de agua filtrada en (m^3) por las redes, se usó un solo flujómetro para ambas redes, atado a una de las dos redes, teniendo en cuenta que el diámetro era igual en las dos ($0,07 m^2$). Los datos iniciales y finales del flujómetro fueron anotados en una tabla de campo, esto se realizaba para conocer las revoluciones del instrumento antes y después de ingresar al agua. Se calculó el volumen de agua filtrado (VAF) por la red en (m^3), estimando la diferencia entre las revoluciones iniciales y finales del flujómetro en cada arrastre. Luego el resultado de la resta fue multiplicado por la constante ($0.3 m$) del flujómetro y el área de las bocas de las redes ($0,07 m^2$). (Flujómetro marca HYDRO-BIOS modelo 438 110 y 438 115, modelo actualizado y calibrado por el fabricante).

$$\text{VAF} = (\text{final} - \text{inicial}) \times (0.3 m) \times (\text{Área } m^2)$$

En cada una de las estaciones se hicieron dos arrastres superficiales y profundos, cada uno de los estratos con una réplica, los arrastres tenían la duración de un minuto esto se determinó con muestreos preliminares que demostraron que con este tiempo la densidad de la muestra era suficiente. Para la colecta de muestras en profundidad primero se medía la profundidad con la ecosonda, conociendo esta se lanzaba el CastAway CTD V 1.60 modelo actualizado y calibrado con el fabricante, instrumento que está diseñado para perfilar profundidades de hasta 100 m. Teniendo en cuenta lo anterior, con el CTD (instrumento mide toda la columna de agua) se midieron variables fisicoquímicas, como salinidad, temperatura y densidad de la columna del agua en cada una de las estaciones, con el fin de determinar relaciones entre las variables fisicoquímicas y la estructura comunitaria del mesozooplankton. A partir del perfil que mostraba el instrumento en campo usábamos la profundidad aproximada de la haloclina para enviar la red bongo con un lastre para tomar la muestra de mesozooplankton en profundidad, la haloclina fue usada por la influencia que tiene la salinidad en la distribución vertical del mesozooplankton (Gutiérrez-Salcedo, 2011). Con esta metodología de campo se obtuvieron 24 muestras por estrato y 48 por época, para un total de 96 muestras para el estudio.

La fijación de las muestras se realizó principalmente en campo, agregando a cada frasco de muestra 0,5 ml de Lugol, luego de esto se tomó 1 L de agua de mar de la estación 15 (estación más

oligotrófica), Córdoba et al, 2020. Con esto se realizó en el laboratorio una solución de formalina y bórax. El formol comercial al 37% fue llevado a una solución al 4% de formalina más agua de mar y amortiguado con 40 g de bórax esta metodología se hizo de acuerdo a la propuesta por (Riquelme-Bugueño et al., 2007, 2008).

7.3 Fase de laboratorio

La observación de las muestras se hizo con estereoscopio (marca óptica) y para la identificación del mesozooplankton, se utilizaron las guías de Smith (1977), Gaviria (2000), Medellín et al., (2009), Cervantes et al., (2012), Martin et al., (2014). Posteriormente, en la cuantificación de los organismos, se usaron las cámaras de recuento de Bogorov y para las muestras que se encontraban muy densas, se utilizó un separador Folsom para diluirlas antes de ser llevadas a las cámaras de recuento. Lo anterior, se realizó siguiendo la metodología de Medellín y Martínez (2010).

Al terminar el conteo e identificación de los organismos, se procedió a realizar la estimación de biomasa seca usando la muestra completa. El procedimiento fue lavar la muestra en un tamiz de 150 micras, luego se depositaron en cajas de Petri e inmediatamente se llevaron al horno a una temperatura de 105°C durante dos horas. Finalmente, las muestras fueron pesadas en una balanza analítica (Marca precisa, referencia: XB220A, capacidad max: 220 g-min 0.01g). Siguiendo la metodología de Medellín y Martínez (2010), se pesaron la muestra más la caja de petri y la caja de petri sin la muestra, para obtener el peso de la muestra.

7.4 Análisis de datos

7.4.1 Densidad de mesozooplankton

Para estandarizar el número de individuos, se multiplicó el número de organismos contados por el factor de dilución (Folsom), es decir, por el número de veces que esa muestra fue diluida antes de ser analizada en cámara de Bogorov. Finalmente, el cálculo de la densidad se hizo mediante la división del resultado anterior por el volumen de agua filtrada por el flujómetro en m³ (Postel et al., 2000). Expresada así:

$$Densidad = \frac{\text{Número de individuos contados} \times \text{Factor de dilución}}{\text{Volumen de agua filtrado (m3)}}$$

7.4.2 Biomasa seca

Para la medición de la biomasa se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Biomasa seca} = (\text{MO} + \text{MI}) = \frac{\text{peso mg (caja+muestra)} - \text{peso mg caja}}{\text{volumen de agua filtrada (m}^3\text{)}}$$

Donde la biomasa seca será asumida como el total de la materia orgánica (MO) e inorgánica (MI) (Goswami, 2004).

7.4.3 Riqueza

La riqueza del mesozooplankton en el golfo de Urabá, en cada estación, estrato, tamaño (ojo de malla) y época se determinó a partir de la contabilización del número total de taxones y se multiplicó por el número de veces que se diluyó la muestra (folsom), para esto se establecieron los grupos a partir de una revisión previa de las muestras.

Finalmente, las fotografías de mesozooplankton se tomaron con un microscopio NIKON ECLIPSE 80i y el software NIS-Elements BR.

7.4.4 Análisis estadístico

Los perfiles de los parámetros fisicoquímicos (salinidad, densidad y temperatura), se hicieron con el programa Python. Para las figuras de abundancia y biomasa, se utilizaron los paquetes ggplot2, plotrix y tidyverse del programa R.

A partir de la transformación ($\log X+1$) se cumplieron los supuestos (homogeneidad y normalidad). No obstante, optamos por utilizar una prueba no paramétrica porque encontramos datos atípicos que no se debían eliminar, además, en nuestra matriz la mediana es quien representó los datos con mejor precisión (Dytham, 2011).

Para la selección del modelo, se utilizó el criterio de información de Akaike (AIC) con el paquete Car de R. Finalmente, para evaluar la influencia de los factores época, estaciones, estrato y tamaño del ojo de la malla en la abundancia y biomasa del mesozooplankton, se utilizó la prueba multifactorial no paramétrica PERMANOVA, al cual, se le añadió el test de Montecarlo para saber

si el sistema estaba arrojando resultados de acuerdo a las probabilidades calculadas. Además, se utilizó la prueba de análisis de similitud SIMPER para hallar la contribución de los grupos taxonómicos a la similitud de la espacialidad y temporalidad.

Finalmente se calculó la correlación de las variables ambientales (Temperatura y densidad) con las variables biológicas (densidad ind/m³ y biomasa seca) con el análisis Best, empleando el método BIOENV y usando la correlación de spearman, para realizar esta prueba, además se eliminó la salinidad por su alta colinealidad con la densidad.

Por último, los análisis estadísticos de similitud SIMPER, BEST y PERMANOVA, se realizaron con el paquete estadístico PRIMER.

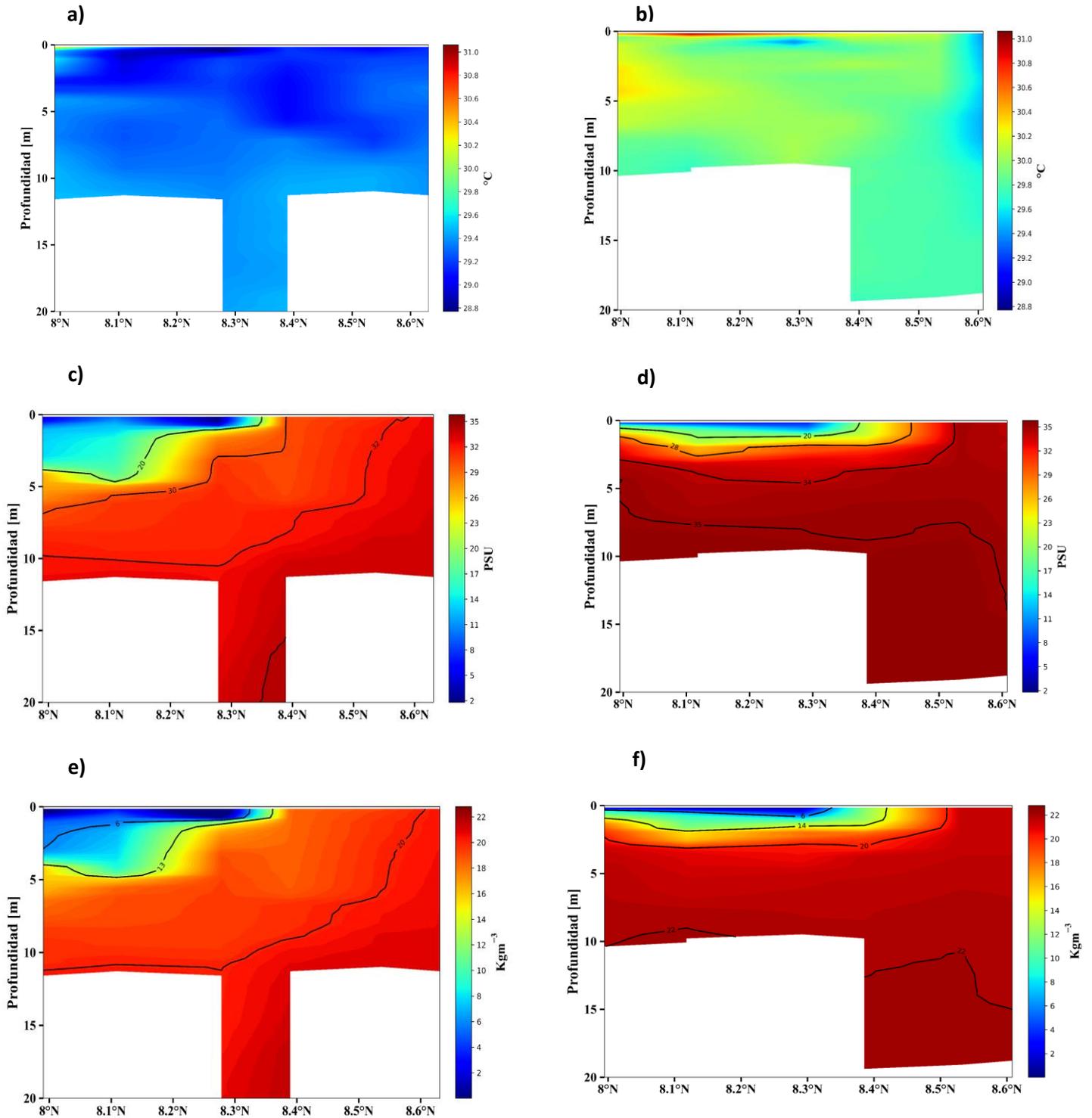
8 Resultados

8.1 Parámetros fisicoquímicos

La temperatura del agua en el golfo de Urabá en la época seca, reportó un promedio de 30°C en capa superficial (30°C). Sin embargo, por debajo de 1 m, la columna de agua mantuvo valores de temperatura entre los 28° y 29°C. Asimismo, en la época húmeda, la capa superficial del agua presentó valores de temperaturas entre los 30° y 31°C, hasta los 20 metros la temperatura se mantuvo en los 29°C (figura 2). La salinidad en la época seca registró valores bajos hasta los 5 metros de profundidad, a partir de esta la salinidad aumentó a 33 PSU en la columna de agua. Para la época húmeda la salinidad presentó valores bajos hasta los 2 metros de profundidad y cambia drásticamente la salinidad a los 33 PSU. Finalmente, la densidad mostró valores bajos en los primeros metros en la época seca aumentando poco a poco hasta los 22 Kg/m³ y para la época húmeda los valores fueron de 2 kg/m³ en los dos primeros metros y aumento en la columna de agua a los 22 kg/m³.

2Figura 2

Perfiles verticales de condiciones ambientales medidas en el golfo de Urabá. **a)** Temperatura en época seca. **b)** Temperatura en época húmeda. **c)** Salinidad en época seca. **d)** Salinidad en época húmeda. **e)** Densidad época seca. **f)** Densidad en época húmeda.

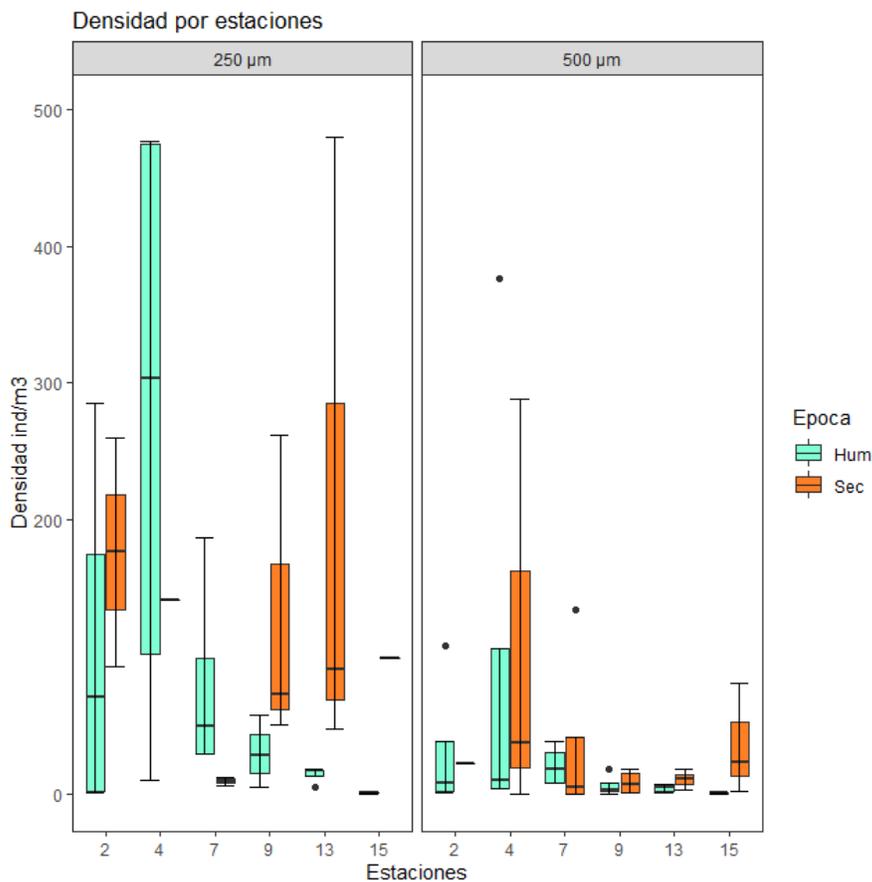


8.2 Densidad del mesozooplankton

La densidad del mesozooplankton aumentó considerablemente desde las estaciones 15 y 13 (oceánicas) con valores medianos de 0,82 ind/m³ y 6,86 ind/m³ hacia las estaciones 4 y 2 (dulceacuícolas) 74,37 ind/m³ y 9,10 ind/m³. Asimismo, la densidad de estos organismos fue notablemente mayor en la época seca con 16857,14 ind/m³ con respecto a la época húmeda en donde el valor máximo fue 475,92 ind/m³. (Figura 3, **a**). Además, mostró la misma tendencia del aumento de densidad desde la superficie (hacia a la profundidad (figura 3, **b**). La prueba multifactorial (PERMANOVA) mostró que, para la densidad, todos los factores (época, tamaño, estrato y estación) fueron fuertemente significativos con un P valor =0.0001 (Tabla 1). Adicionalmente, la combinación de estación por época y estación por estrato con un P =0.0001 y 0.0002 respectivamente, muestran una alta significancia con respecto a la densidad del mesozooplankton en el golfo de Urabá (Tabla 1).

3Figura3a

Densidad media (ind/m³) de mesozooplankton del Golfo de Urabá estaciones por época.



4Figura3b

Densidad (ind/m³) de mesozooplancton por los estratos muestreados (superficie y profundidad).

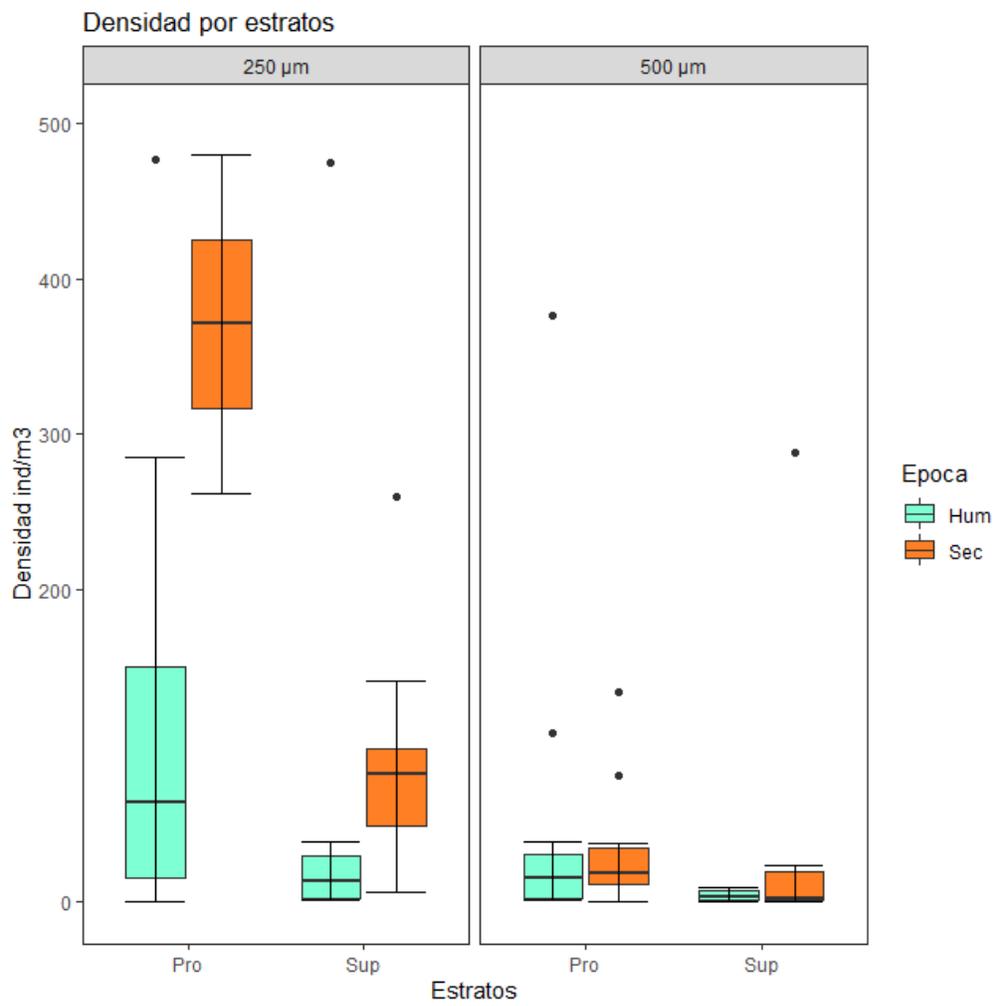


Tabla 1

Análisis de permutaciones (PERMANOVA) para los distintos factores de la densidad del mesozooplancton en el golfo de Urabá. Los datos fueron basados en la disimilaridad de Bray-Curtis, también fueron transformados en Log (X+1), se realizaron 9999 permutaciones y se agregó el test de Montecarlo, de manera adicional. El signo asterisco () indica que existen diferencias estadísticamente significativas.*

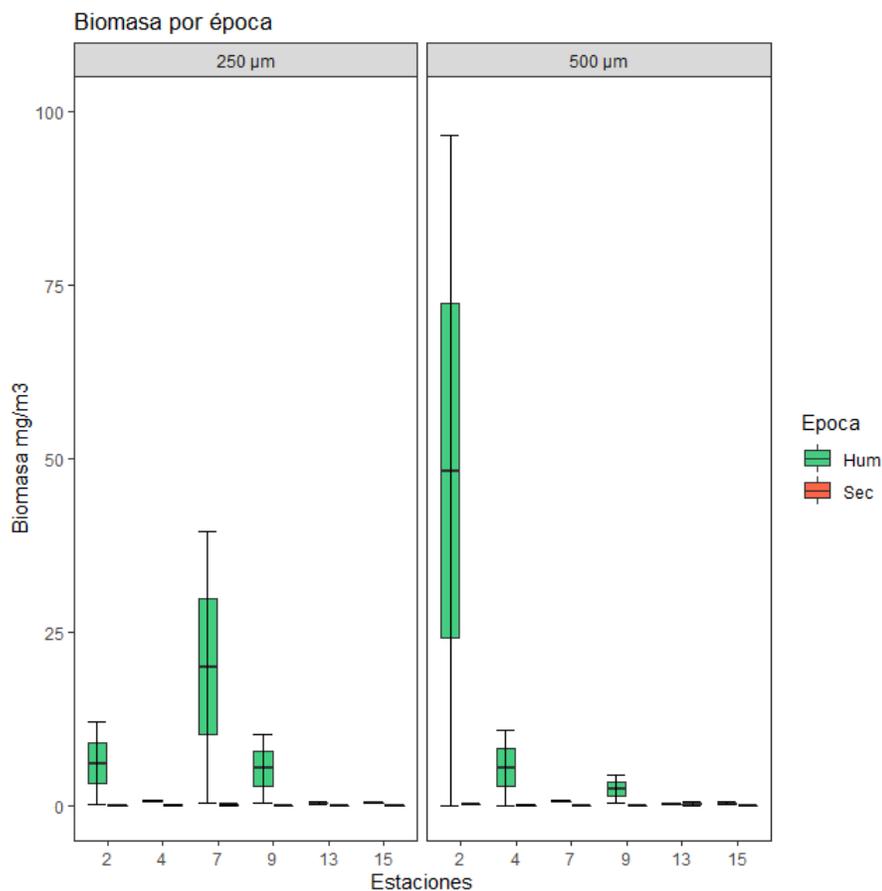
Fuente	df	SS	MS	F	P(perm)	Unique perms	P(MC)
Estación	5	6377.7	1275.5	84.864	0.0001 (*)	9936	0.0001 (*)
Tamaño	1	9189.9	9189.9	61.142	0.0001 (*)	9929	0.0001 (*)
Estrato	1	5125.5	5125.5	34.101	0.0001 (*)	9951	0.0001 (*)
Época	1	8400.1	8400.1	55.888	0.0001 (*)	9927	0.0001 (*)
EstaciónxTamaño	5	1348.5	269.7	17.944	0.0884	9938	0.0839
EstaciónxEstrato	5	3469.2	693.84	46.163	0.0002 (*)	9930	0.0003 (*)
EstaciónxÉpoca	5	9688.8	1937.8	12.892	0.0001 (*)	9940	0.0001 (*)
TamañoxEstrato	1	1017.3	1017.3	67.682	0.0023	9957	0.0027
TamañoxÉpoca	1	969.4	969.4	64.497	0.0066	9953	0.0058
EstratoxÉpoca	1	66.376	66.376	0.4416 2	0.6302	9954	0.6249
EstaciónxTamañoxEstrato	5	1625.3	325.06	21.627	0.0357	9934	0.0383
EstaciónxTamañoÉpoca	5	986.72	197.34	1.313	0.2376	9947	0.2432
EstaciónxEstratoxÉpoca	5	5561.2	1112.2	7.432	0.0001(*))	9934	0.0001(*))
TamañoxEstratoxÉpoca	1	266.08	266.08	17.703	0.1662	9940	0.1699
EstaciónxTamañoxEstratoxÉpoca	5	1643.4	328.68	21.868	0.0314	9940	0.0366
Residual	48	7214.5	150.3				
Total	95	62950					

8.3 Biomasa del mesozooplancton

La biomasa del mesozooplancton en el golfo de Urabá, estuvo influenciada por el factor época. En esta investigación la época húmeda presentó los mayores valores ($96,4552 \text{ mg/m}^3$) de biomasa con respecto a $0,1651 \text{ mg/m}^3$ en la época seca (Figura 4). En cuanto a la localidad, los valores más altos de biomasa ($0,2360 \text{ mg/m}^3$; $0,3726$; $0,3957 \text{ mg/m}^3$) se presentaron en las estaciones (2, 4 y 7) en comparación con las estaciones (9,13 y 15) con valores de $0,2241 \text{ mg/m}^3$; $0,1253 \text{ mg/m}^3$ $0,0767 \text{ mg/m}^3$. Sin embargo, el factor estación, no mostró diferencias estadísticamente significativas, el resultado de la PERMANOVA indicó que la época por encima de cualquier otro factor con un P de 0.0063 fue el único estadísticamente significativo para la biomasa del mesozooplancton en el golfo de Urabá (Tabla 2).

5Figura4a

Biomasa seca (mg/m^3) del mesozooplancton en el golfo de Urabá para las épocas climáticas y estaciones



6Figura4b

Biomasa seca (mg/m^3) de mesozooplankton estaciones por estratos. (mg/m^3).

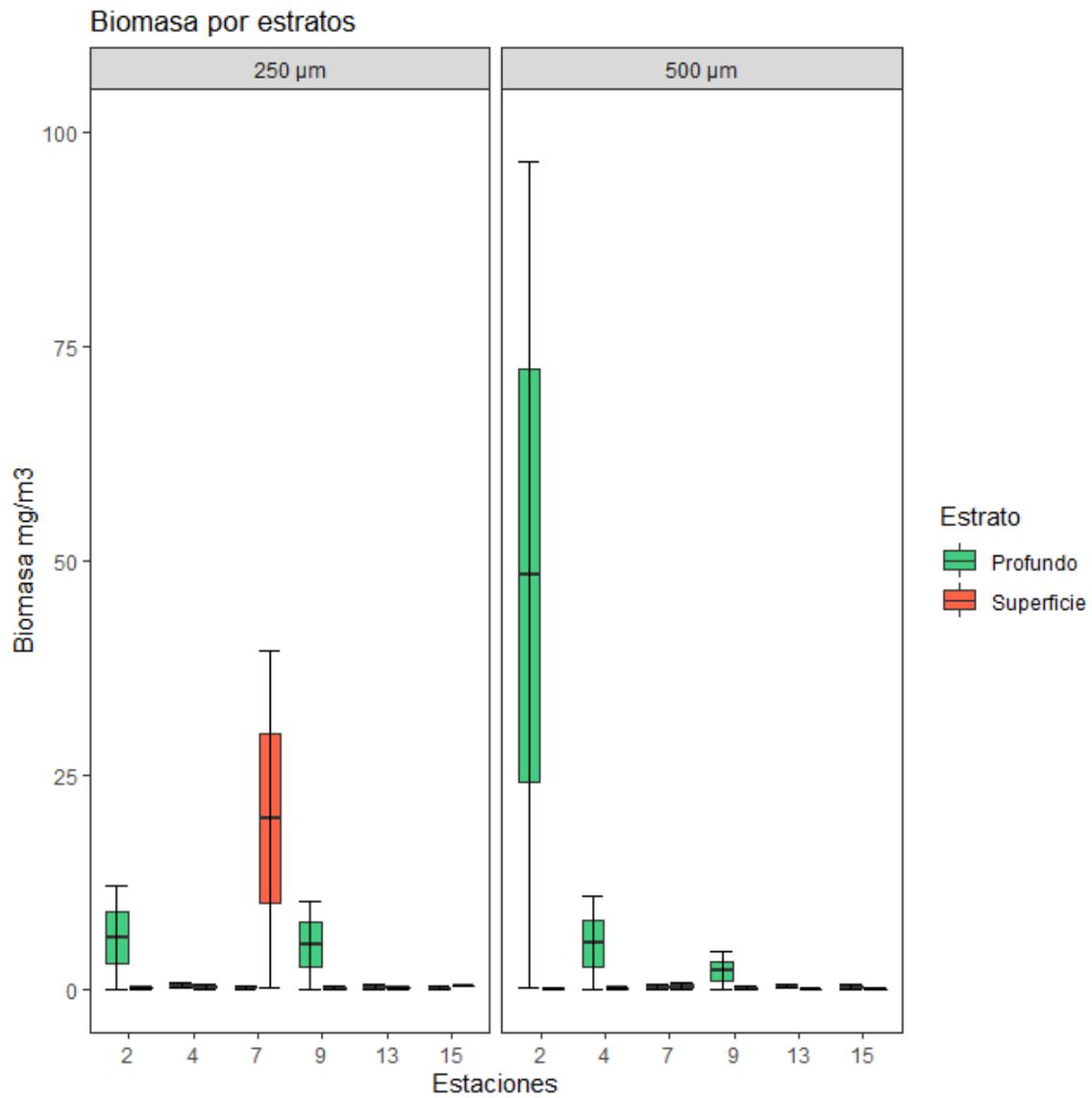


Tabla 2

PERMANOVA para los distintos factores que pudieron influir en la biomasa del mesozooplancton en el golfo de Urabá. Los datos fueron basados en la disimilaridad de Bray-Curtis, también fueron transformados en Log (X+1), se realizaron 9999 permutaciones y se agregó el test de Montecarlo, de manera adicional. El signo asterisco indica que existen diferencias estadísticamente significativas.

Fuente	df	SS	MS	F	P(perm)	Unique perms	P(MC)
Estación	5	1649.9	329.9	11.378	0.4278	9955	0.4148
Tamaños	1	50.14	50.14	0.1728	0.7715	9941	0.7695
Estrato	1	521.5	521.5	17.985	0.2162	9946	0.2254
Época	1	3876.3	3876.3	13.366	0.0063 (*)	9928	0.0073 (*)
EstaciónxTamaños	5	736.5	147.3	0.5079	0.7875	9952	0.7886
EstaciónxEstrato	5	1837.8	367.5	12.674	0.3616	9947	0.3598
EstaciónxÉpoca	5	2283.2	456.6	15.745	0.2679	9971	0.2687
TamañosxEstrato	1	42.71	42.71	0.1472	0.7845	9939	0.7907
TamañosxÉpoca	1	17.17	17.17	0.0592	0.9057	9943	0.8969
EstratoxÉpoca	1	196.7	196.7	0.6784	0.4625	9935	0.456
EstaciónxTamañosxEstrato	5	523.4	104.6	0.3609	0.8852	9952	0.8866
EstaciónxTamañosxÉpoca	5	908.1	181.6	0.6262	0.7135	9949	0.7154
Residual	7	2030.1	290.0				
Total	43	16108					

8.4 Riqueza del mesozooplankton

Para la riqueza de mesozooplankton, en el golfo de Urabá se lograron identificar 11 grupos taxonómicos y se agregó 1 grupo adicional compuesto por organismos que no se lograron identificar en ninguno de los otros 11. Mediante el análisis SIMPER se analizó la contribución de los grupos taxonómicos en función de las estaciones (sitios de muestreo) y épocas (periodos). Para el análisis SIMPER se usó el índice de similitud de Bray-Curtis.

De los grupos evaluados, el orden Calanoida, fue el más representativo en el golfo de Urabá para las épocas (Figura 5) y (Tabla 3), con un 83,07% para la época húmeda y un 54,91% para la seca.

7Figura5

Riqueza de mesozooplankton en el golfo de Urabá en dos épocas climáticas contrastantes, de los 12 grupos taxonómicos definidos en la investigación. H=época húmeda; Se= época seca.

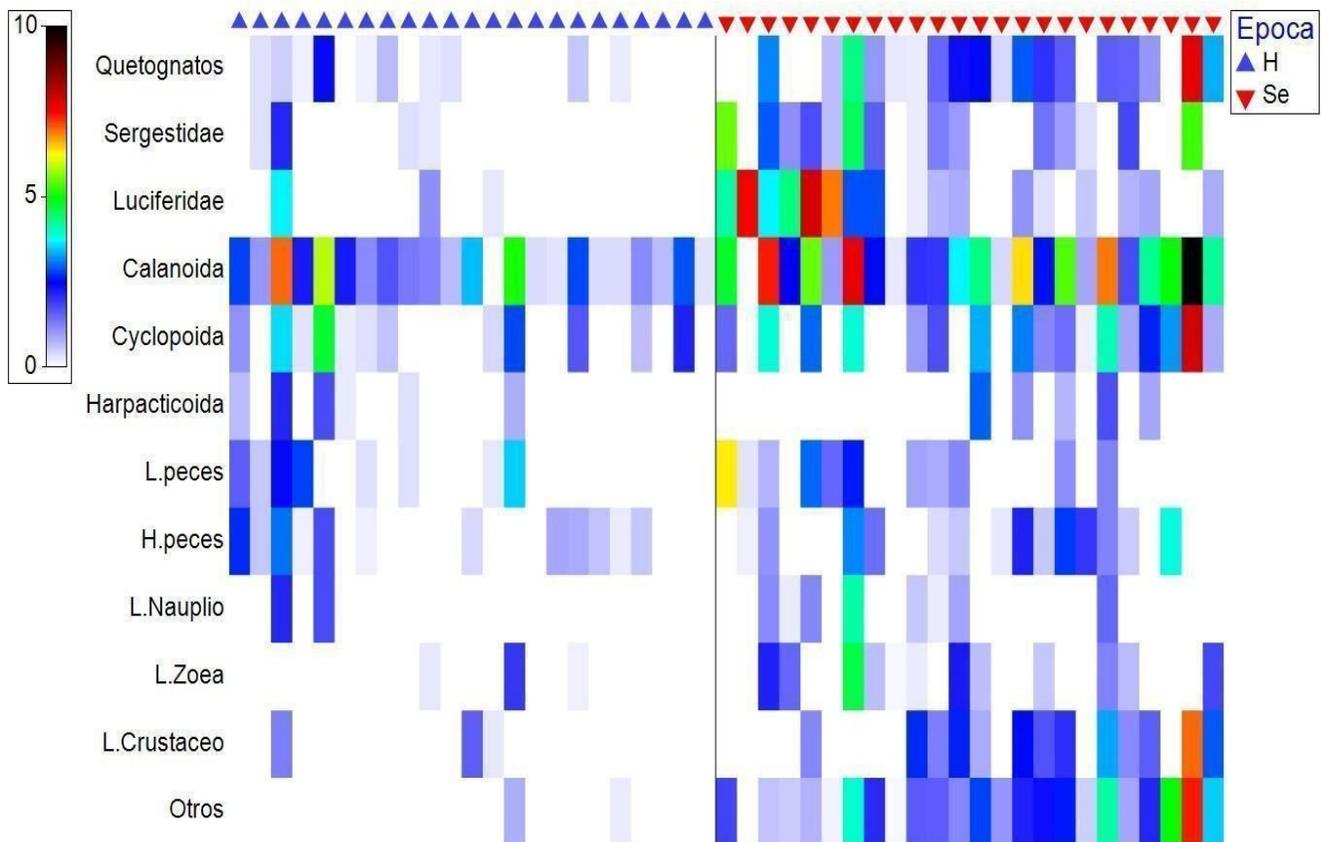


Tabla 3

Prueba SIMPER. Grupos que contribuyeron a la similitud de las épocas climáticas y las estaciones de forma independiente. AP=Densidad promedio; SimP=Similitud promedio; Sim= Similitud; SD=Desviación estándar; Contrib=Contribución porcentual; Cum=Porcentaje acumulado.

Época	Grupo taxonómico	AP	SimP	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
Húmeda	Calanoida	73.27	17.27	0.93	83.07	83.07
Seca	Calanoida	1738.38	8.04	0.64	54.91	54.91
	Otros	78.78	1.79	0.60	12.22	67.13
	Luciferidae	230.04	1.40	0.19	9.56	76.69

B)

Estaciones	Grupo taxonómico	AP	SimP	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
2	Calanoida	343.31	6.95	0.47	66.55	66.55
	Luciferidae	251.45	1.74	0.59	16.68	83.22
4	Calanoida	339.84	9.25	0.59	73.31	73.31
7	Calanoida	8.16	14.76	1.15	61.58	61.58
	Quetognatos	1.99	3.17	0.53	13.20	74.78
9	Calanoida	106.15	9.21	0.69	72.61	72.61
13	Calanoida	151.28	7.52	0.76	46.46	46.46
	Huevos de peces	3.36	6.82	0.59	42.19	88.65
15	Calanoida	4478.08	11.05	0.69	83.02	83.02

8.5 Relación de variables fisicoquímicas y biológicas

La variable ambiental que mejor explica la densidad (ind/m^3), en los periodos climáticos y estaciones estudiados, es la temperatura con un $P_w = 0.132$, $P = 0.006$ para la densidad por épocas y $P_w = 0.141$, $P = 0.006$ para la densidad por estaciones (Tabla 4). Para la biomasa seca en las estaciones no hay una correlación estadísticamente significativa ($P_w = 0.435$, $P = 0.0001$) con los parámetros fisicoquímicos salinidad y densidad, sin embargo, la biomasa seca en las épocas si mostro relación con los parámetros fisicoquímicos temperatura-densidad ($P_w = 0.147$, $P = 0.017$), (Tabla 5). Esto de acuerdo al análisis de correlación de spearman, la temperatura y densidad de las estaciones y épocas si tienen relación con la densidad (ind/m^3) y biomasa seca del mesozooplankton en el Golfo de Urabá.

Tabla 4

Análisis BEST, variables ambientales (temperatura, densidad), variable biológica (densidad) y factores (época, estaciones). El método BIOENV calculo la correlación entre las variables ambientales y biológicas, usando la correlación de Spearman Rank, en la izquierda resultados del estadístico densidad por épocas y derecha densidad por estaciones.

Sample statistic (Average Rho): 0.132	Sample statistic (Average Rho): 0.141
Significance level of sample statistic: 0.6%	Significance level of sample statistic: 0.6%
Number of permutations: 999 (Random sample)	
Densidad-épocas	Densidad-estaciones
<i>Best results</i>	<i>Best results</i>
No. Vars Corr. Selections	No. Vars Corr. Selections
1 0.132 Temperatura	1 0.141 Temperatura
2 0.072 Temperatura,Densidad	2 0.126 Temperatura,Densidad
1 -0.032 Densidad	1 0.093 Densidad

Tabla 5

Análisis BEST, variables ambientales (temperatura, densidad), variable biológica (biomasa seca) y factores (época, estaciones). El método BIOENV calculo la correlación entre las variables ambientales y biológicas, usando la correlación de Spearman Rank, en la izquierda resultados del estadístico biomasa seca por épocas y derecha biomasa seca por estaciones.

Sample statistic (Average Rho): 0.147	Sample statistic (Average Rho): 0.435
Significance level of sample statistic: 1.7%	Significance level of sample statistic: 0.01%
Number of permutations: 9999 (Random sample)	
Biomasa seca-épocas	Biomasa seca-estaciones.
<i>Best results</i>	<i>Best results</i>
No. Vars Corr. Selections	No. Vars Corr. Selections
1 0.092 Temperatura	1 0.392 Temperatura
2 0.147 Temperatura,Densidad	2 0.435 Temperatura,Densidad
1 0.099 Densidad	1 0.433 Densidad

9 Discusión

Es importante destacar que las comunidades del mesozooplankton tienen un estilo de vida dinámico debido a que son organismos pelágicos, además, proporcionan información de tiempos y espacios determinados por lo cual los patrones de distribución de la estructura comunitaria deben ser observados con mucha cautela (Veríssimo, 2017). Teniendo en cuenta las variables que más influyen la distribución del mesozooplankton, tanto en aguas costeras como oceánicas (corrientes, vientos, mareas, temperatura, salinidad, nutrientes, clorofila, etc.), las dinámicas de estos factores pueden cambiar de acuerdo con la latitud, dado que el comportamiento de los ecosistemas costeros y oceánicos en las zonas tropicales y templadas están influenciadas por regímenes climáticos diferentes (Du et al., 2020; Ezhilarasan et al., 2020).

En este trabajo la temperatura mostró variaciones entre épocas con rangos de 28°C-31°C con aguas más cálidas en la época húmeda. Los anteriores valores han sido reportados dentro de los rangos propuestos por Veríssimo (2017) en la costa noreste de Brasil; Escobar (2011); Quiceno (2020) para el golfo de Urabá. De acuerdo a la correlación de Spearman (Tabla 4 y 5), para nuestro estudio la variable que mejor explica los cambios de densidad y biomasa seca en las épocas es la temperatura.

La densidad del mesozooplankton en el golfo de Urabá, presentó una correlación de las épocas y estaciones con la temperatura (Tabla 4). Para esta investigación, la densidad fue mayor en la época seca con valores de 16,857 ind/m³. Estos resultados son opuestos a los reportados por Medellín-Mora et al (2010); Medellín-Mora y Martínez (2018) en el Caribe colombiano donde la época húmeda resultó tener mayores densidades de zooplankton. Por el contrario, un estudio de Ezhilarasan et al (2020) en el mar Arábigo, mostró que, durante los monzones, las abundancias de zooplankton no tienen diferencias significativas. Por otra parte, las densidades de mesozooplankton en las estaciones dulceacuícolas (2-4) fueron las más altas para ambas épocas, estos resultados concuerdan con lo presentado por Medellín-Mora y Martínez (2010); Medellín-Mora y Martínez (2018) para el Caribe colombiano, en los sitios de muestreo más cercanos a los ríos se evidenció mayores densidades.

Asimismo, se presentaron diferencias espaciales con un aumento notable de la densidad desde la zona oceánica (mayor salinidad) hacia las zonas estuarinas y dulceacuícolas (Figura 3a), distinto a lo reportado en el estudio de Cuesta-Córdoba y Correa-Herrera (2016) y para Quiceno (2020) que no halló una relación clara de la densidad con los patrones de salinidad. Para el golfo de Urabá estas diferencias pueden deberse a la diferencia en las áreas de estudio y su extensión, dado que nuestro trabajo tiene alrededor de 80 km en línea recta por la parte central del Golfo. Por el contrario, Cuesta-Córdoba y Correa-Herrera (2016) se enfocaron en la desembocadura del río Atrato y Quiceno (2020) en las principales desembocaduras de los ríos con parches de manglar y caladeros de peces en el Golfo.

La biomasa seca del mesozooplankton en esta investigación, resultó estar más influenciada por el cambio de temperatura que se presenta entre las dos épocas (Tabla 3, tabla 5) muestreadas que, por cualquier otro factor dentro del estudio, la biomasa fue mayor en la época húmeda con un valor de (96,4552 mg/m³) en peso seco. En contraste, la investigación realizada por Du et al (2020) en una

bahía de China, el otoño fue la estación que tuvo los valores más altos de biomasa dentro de todas las estaciones evaluadas, explicado además por los factores fisicoquímicos y composición taxonómica del fitoplancton. Para el Caribe colombiano, Medellín-Mora y Martínez (2010) reportaron que los valores más altos de biomasa se ubicaron en las zonas de surgencia para el estrato superficial influenciada por las descargas continentales de la zona nororiental y suroriental del Caribe.

Por otro lado, la biomasa en el estrato profundo con un total de 183,06 mg/m³ fue mayor que en el estrato superficial (170,99 mg/m³). Sin embargo, no se halló diferencias estadísticamente significativas. En contraste, Taylor, et al (2012) sugiere que, para el sur del mar Caribe, la biomasa del mesozooplancton aumenta con la profundidad por el calentamiento de las aguas superficiales y el aumento de la estratificación generada por efectos del cambio climático, que está limitando los nutrientes a la profundidad dejando de ser abundantes en superficie.

Si bien los análisis realizados en este trabajo fueron a nivel de grupos mayores, la composición del zooplancton encontrada fue similar a la encontrada por investigaciones realizadas en la India, Chile y ciénaga grande de Santa Marta (León, 2004; Escribano et al., 2012; Ziadi et al., 2015; Anandavelu et al., 2020; Venkataramana., 2021). El zooplancton en el golfo de Urabá, se caracterizó por una comunidad fuertemente dominada por Copépodos, en su mayoría del orden Calanoida, con abundancias totales del 50% al 83%, seguidos del grupo de los Decápodos (10%-17%; principalmente del género Luciferidae). Los cuales estuvieron presentes en todas las estaciones y en las dos épocas climáticas. El anterior predominio por parte de los Calanoideos, también fue recientemente reportado por Dorado-Roncancio et al (2021), en aguas oceánicas del Caribe colombiano y dentro del Golfo se halló la misma tendencia, pero hubo un reporte de menos grupos taxonómicos que los encontrados por Cuesta-Córdoba y Correa-Herrera (2016); Quiceno (2020), esta diferencia puede deberse a que diluimos algunas muestras que estaban demasiado densas. Por lo anterior, es probable que en el proceso de dilución se descartaran algunos grupos que son minorías pero que probablemente estén presentes en las estaciones muestreadas.

10 Conclusiones

- La densidad (ind/m³) de mesozooplancton en esta investigación fue mayor en las estaciones dulceacuícolas y estuarinas, además, de ser mayor para la época seca y en el estrato profundo.
- La biomasa seca fue mayor en la época húmeda y en el estrato profundo.
- La temperatura en las épocas y estaciones, fue un factor determinante para la densidad (ind/m³) y biomasa seca del mesozooplancton.
- La riqueza fue mayor en la época seca. Adicionalmente, los órdenes más representativos en la estructura del mesozooplancton para ambas épocas fueron; Calanoida y Decápoda.

11 Recomendaciones

- Es necesario que en próximos estudios de mesozooplancton en el golfo de Urabá, se realicen muestreos varias veces en cada época climática para poder observar patrones en la estructura del mesozooplancton.
- Se recomienda realizar un análisis exhaustivo de taxonomía (a nivel de especie) para poder describir los principales grupos.
- Se recomienda estudiar la migración vertical diaria del mesozooplancton y así obtener una visión más amplia del comportamiento de la comunidad de plancton.
- Se recomienda el estudio del género Calanoida para analizar las características de las especies más representativas.

Referencias

Abo-Taleb, H. (2019). Importance of Plankton to Fish Community. *Bozkurt, Y. Biological Research in Aquatic Science* (p. 500). intechopen.85769

Álvarez-Cadena, J. N., Ordóñez-López, U., Valdés-Lozano, D., Almaral-Mendivil, A. R., & Uicab-Sabido, A. (2007). Estudio anual del zooplancton: composición, abundancia, biomasa e hidrología del norte de Quintana Roo, mar Caribe de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, (78),421–430.

Anandavelu, I., Robin, R.S., Purvaja, R., Ganguly, D., Hariharan, G., Raghuraman, R., Prasad, M.H.K., y Ramesh. R. (2020). Spatial heterogeneity of mesozooplankton along the tropical coastal waters. *Continental Shelf Research*, Volumen 206, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2020.104193>.

Anthony, J., Richardson. (2008). In hot water: zooplankton and climate change. *ICES Journal of Marine Science* 65(3), 279–295. Recuperado de <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsn028>.

Bastidas Salamanca, M.L., y Ricaurte-Villota, C. (2017). Regionalización dinámica del Caribe. En Bastidas-Salamanca, M., Ricaurte-Villota, C., Santamaría-del-ángel, E., Ordoñez-Zúñiga, A., Murcia-Riaño, M., y Romero-Rodríguez, D. A. (Ed.). *Regionalización oceanográfica: una visión dinámica del Caribe* (pp.16-31). Santa Marta, Colombia: Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives De Andreis (INVEMAR).

Bernal, A., y Zea, S. (2000). Estructura De La Comunidad De Zooplancton En Condiciones De Descarga Continental Y De Afloramiento Costero En Santa Marta, Caribe Colombiano. *Bulletin of Marine and Coastal Research*. (29), 3-26.

Bernal-Sánchez, M., C., y Contreras-Fernández, S. (2019). *Estimación del flujo de nutrientes en el golfo de Urabá, Caribe Colombiano* (Tesis pregrado). Universidad de Antioquia, Turbo, Colombia.

Blanco-Libreros, J. F. (2016). Cambios globales en los manglares del golfo de Urabá (Colombia): entre la cambiante línea costera y la frontera agropecuaria en expansión. *Actualidades Biológicas*. 38(104), 53–70. DOI: 10.17533/udea.acbi.v38n104a0.

Blanco-Libreros, J. F. y Londoño-Mesa, M.H. (Eds.). (2016). Expedición Caribe sur: Antioquia y Chocó costeros. Secretaría Ejecutiva de la Comisión Colombiana del Océano. Bogotá 323 pp.

Balcázar, J., (2011). *Variación interanual de las larvas de peces pelágicos menores en el Golfo de California, y su relación con el zooplancton y el ambiente durante marzo de 2005 y 2006*. (Tesis maestría). Instituto Politécnico Nacional, La Paz, B.C.S., México

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.

Castellanos-Osorio. (2009). Estudios de zooplancton: logros y retos. Espinoza-Ávalos, J., Islebe, G., y Hernández-Arana, H. (Ed). *El sistema ecológico de la bahía de Chetumal / Corozal: costa occidental del Mar Caribe* (pp 70-77). Quintana Roo, México:978-607-7637-13-4.

Cepeda-Mercado, A., de., A. (2007). *Comunidad zooplanctónica en el sistema de surgencia de la ensenada de Gaira, Santa Marta, Caribe Colombiano* (Tesis pregrado). Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta.

Cervantes Martínez, A., Gutiérrez-Aguirre, M. A., Delgado Blas, V. H., Y Ruiz Ramírez, J. D., (2012). *Especies de Zooplancton dulceacuícola de Cozumel*. DF, México: Universidad de Quintana Roo.

Córdoba-Mena, N., Florez-Leiva, L., Atehortúa, L., y Obando, E. (2020). Changes in Phytoplankton Communities in a Tropical Estuary in the Colombian Caribbean Sea. *Estuaries and Coasts* 43, 2106–2127. <https://doi.org/10.1007/s12237-020-00750-z>

Cuesta-Cordoba, C, y Correa-Herrera, T. (2016) *Distribución espacio temporal del zooplancton en un gradiente de salinidad en el delta del río Atrato* (tesis de pregrado). Universidad de Antioquia, Turbo, Colombia.

Daza, A., Toro, D., González, J., A., Naar, O., y Quiroga, S. (2014). Zooplancton. *Boletín de Zoología Universidad de Magdalena*. (3), pp 24. Recuperado de [Zooplancton](#).

Dorado-Roncancio, E., F. (2015). *Estructura del zooplancton en la bahía de Cartagena (caribe colombiano) en las tres épocas climáticas de 2010* (Tesis pregrado). Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta, Colombia.

Dorado-Roncancio, E. F., Medellín-Mora, J., & Mancera-Pineda, J. E. (2021). Taxonomic diversity and ecological attributes of copepods of the Colombian Caribbean Sea. *Neotropical Biodiversity*, 7(1), 491–502. <https://doi.org/10.1080/23766808.2021.2000295>

Dutto, MS. (2014). *Dinámica trófica del mesozooplancton en dos sitios del estuario de Bahía Blanca con diferente nivel de impacto antrópico* (Tesis de posgrado). Universidad nacional del sur, Bahía Blanca, Argentina.

Du, P., Jiang, Z. B., Zhu, Y. L., Tang, Y. B., Liao, Y. B., Chen, Q. Z., Shou, L. (2020). What Factors Control the Variations in Abundance, Biomass, and Size of Mesozooplankton in a Subtropical Eutrophic Bay? *Estuaries and Coasts*, 43(8), 2128–2140. <https://doi.org/10.1007/s12237-020-00747-8>.

Dytham, C. (2011). *Choosing and using statistics: a biologist's guide*. Blackwell Science

Esteves, FA., Caliman, A., Santangelo, JM., Guariento, RD., Farjalla, VF., & Bozzelli, RL. (2008). Neotropical coastal lagoons: an appraisal of their biodiversity, functioning, threats and conservation management. *Brazilian Journal of Biology*, 68(4), 967-981.

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.

Ezhilarasan, P., Kanuri, V. V., Kumar, P. S., Kumaraswami, M., Rao, G. D., Patra, S., Murthy, M. V. R. (2020). Influence of environmental variables on the distribution and community structure of mesozooplankton in the coastal waters of the eastern Arabian Sea. *Regional Studies in Marine Science*, 39, 101480. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101480>.

Fabry, V., Seibel, B., Feely, R., & Orr, J. (2008). Impacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes. *ICES Journal of marine science*. 65(3), 414-432. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsn048>.

Fernández-Severini, M. D., Hoffmeyer, M. S., & Marcovecchio, J. E. (2013). Heavy metals concentrations in zooplankton and suspended particulate matter in a southwestern Atlantic temperate estuary (Argentina). *Environmental Monitoring and Assessment*. 185(2), 1495–1513.

François, Y. García- Valencia, C. Cesaraccio, M. y Rojas, X. (2007). III El paisaje en el golfo. 75. (75-126), en 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. Santa Marta, Colombia. Serie de publicaciones Especiales de Invemar N° 12.

Frederiksen, M, Edwards, M., Richardson, A. J., Halliday, N. C & Wanless, S. (2006). From plankton to top predators: bottom-up control of a marine food web across four trophic levels. *Journal of Animal Ecology*. 75(6), 1259–1268.

Gao, Y., Yang, Q., Li, H., Wang, X., y Zhan, A. (2019). Anthropogenic pollutant-driven geographical distribution of mesozooplankton communities in estuarine areas of the Bohai Sea, China. *Scientific Reports*, 9(1), 9668.

Garzke, J., Ulrich, S., Stefanie, M.H., & Ismar-Rebitz.(2020). Zooplankton growth and survival differentially respond to interactive warming and acidification effects, *Journal of Plankton Research*. 42(2), 189-202. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbaa005>

García-Valencia, C. (Ed). (2007). Atlas del golfo de Urabá: una mirada al Caribe de Antioquia y Chocó. (Serie de publicaciones especiales de invemar, Ed.) (12th ed.). Santa Marta, Colombia: Invemar– y Gobernación de Antioquia.

Garibotti, EJ. (2015). *Distribución vertical y dinámica temporal del mesozooplancton en relación a las variables fisicoquímicas en el estuario de bahía Blanca* (Tesis de postgrado). Universidad

Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.
<http://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/2251>.

Gaviria, S., (2000) Sistemática del zooplancton (Copepoda, Cladocera, Rotatoria) de las aguas continentales de Colombia, Departamento de biología Universidad de Antioquia.

Gómez-Gaspar, A. (2019). Long-term variation (2002-2016) in mesozooplankton density and composition indicates a regime change on Margarita Island (Venezuela). *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR*, 48(1), 65-87.

Gómez Gaspar, A. (2021). Variación temporal del zooplancton durante 2017 y 2018 en el sureste de Isla Margarita, Venezuela. *Intropica*, 16(2), 180–190. <https://doi.org/10.21676/23897864.4036>

Goswami, S., C. (2004). *Zooplankton methodology, collection & identification- a field manual*. National institute of oceanography, Goa, 26 p.

Gutierrez-Salcedo, J., M. (2011). *Estructura vertical del zooplancton oceánico del mar Caribe Colombiano* (Tesis postgrado). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Heisler, J., Glibert, P. M., Burkholder, J. M., Anderson, D. M., Cochlan, W., Dennison, W. C., & Suddleson, M. (2008). Eutrophication and harmful algal blooms: A scientific consensus. *Harmful Algae*. 8(1), 3–13. DOI: [10.1016/j.hal.2008.08.006](https://doi.org/10.1016/j.hal.2008.08.006).

Howson, U. A., Buchanan, G. A., & Nickels, J. A. (2017). Zooplankton Community Dynamics in a Western Mid-Atlantic Lagoonal Estuary. *Journal of Coastal Research*. 78(10078), 141–168. <https://doi.org/10.2112/SI78-012.1>.

Leal-Flórez, J., Arango, V., Libreros, J., Rodríguez, C., Marín, B., Acosta Cárdenas, A., y Rivera, F. (2017). PESCA, FAMILIAS Y TERRITORIOS EN EL MAR. Construcción colectiva de conocimiento para el ordenamiento pesquero del golfo de Urabá. *ResearchGate*. pp (16). <https://www.researchgate.net/publication/327237326>.

Leon, Rubriché, J. A. (2004). *Atributos estructurales de la comunidad mesozooplancónica de Ciénaga Grande de Santa Marta durante el período de agosto de 2001 a mayo de 2002*. (Tesis pregrado). Universidad Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta.

Lenz, J. (2000). 1 - Introduction ICES Zooplankton Methodology Manual (R. Harris, P. Wiebe, J. Lenz, H. R. Skjoldal, & M. B. T.-I. Z. M. M. Huntley, Eds.).

Marcano, Y., Márquez, B., Días-Ramos, J., Troccoli, L., Marin, B., Salazar, I., y Rincones, K. (2010). Variables fisicoquímicas que influyen a corto plazo en el zooplancton de la Bahía de Mochima, Venezuela. *Boletín Del Instituto Oceanográfico de Venezuela*. 49(2) 129–145.

Margalef, R. (1969). El ecosistema pelágico del mar Caribe. Memoria de La Sociedad de Ciencias Naturales La Salle. *Estación de investigaciones marinas de Margarita fundación la Salle de ciencias naturales*. 5(32). Recuperado de https://digital.csic.es/bitstream/10261/165791/3/Margalef_1969.pdf.

Martin, J. W., Olesen, J., & Hoeg J. T. (2014). *Atlas of crustacean larvae*, Editorial Johns Hopkins University Press.

Marqués, S.C., Pardal, M. A., Pereira, M. J., Goncalves, F., Marques, J. C., y Azeiteiro, U. M. (2007). Distribución y dinámica del zooplancton en un estuario templado poco profundo. *Hydrobiologia*. 587, 213–223. <https://doi.org/10.1007/s10750-007-0682-x>

Márquez, B., Troccoli, L., Marcano, L., Morales, J., Allen, T., Marin, B., y Díaz-Ramos, R. (2011). *Estructura comunitaria del zooplancton en dos localidades del Golfo de Cariaco, Venezuela* (Tesis postgrado). Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.

Márquez, B., Troccoli, L., Marín, B., y Díaz-Ramos, J., R. (2018). Abundancia y distribución del zooplancton superficial de la zona costera Arapito - Santa Fé, Estado Sucre, Venezuela. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR*. 47 (2), 111–133.

Martínez Barragán, M. (2007). *Composición y abundancia del zooplancton marino de las islas*

providencia y santa Catalina (caribe colombiano), durante la época climática lluviosa (Octubre–Noviembre) de 2005 (tesis pregrado). Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta, Colombia. Recuperado de <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/>.

Medellín, J., Campos, N. H., Franco-Herrera, A., y Jaimes, J. C., (2009) Taxonomía de larvas Zoea de crustáceos decápodos del área nororiental del mar caribe colombiano. *Instituto de investigaciones marinas y costeras*. 38 (2), 55-73.

Medellín, J., y Martínez, O. (2010). Distribución del mesozooplankton en aguas oceánicas del mar caribe colombiano durante mayo y junio de 2008. Pp (122-143). En INVEMAR (Eds.). 2010. *Biodiversidad del margen continental del Caribe colombiano*. Serie de Publicaciones Especiales, Invemar No. 20 p. 4588.

Medellín Mora, D. J. (2016). *Factores y mecanismos que modulan la estructura comunitaria del mesozooplankton marino: Efecto de la estratificación vertical de la columna de agua* (Tesis postgrado). Universidad de Concepción, Concepción, Chile. Recuperado de <http://repositorio.udec.cl/handle/11594/2102>.

Medellín-Mora, J., Escribano, R., Schneider, W., Correa-Ramírez, M., & Campos, N. (2018). Spatial variability of zooplankton community structure in Colombian Caribbean waters during two seasons. *Revista de Biología Tropical*, 66(2), 688–708. <https://doi.org/10.15517/rbt.v66i2.33401>

Montoya Jaramillo, L. J., Toro Botero, M., Y Gómez-Giraldo, A. (2010). Descripción de los patrones estacionales de circulación hidrodinámica en el golfo de Urabá (Colombia). *Universidad Nacional de Colombia*. 14 (8), 13-34. ISSN electrónico 2390-0555.

Postel L. y W. Hagen. 2000. Biomass and abundance, 86-195. En: Harris R., P. Wiebe, J. Lenz, H. Skjoldal y M. Huntley (Eds), ICES Zooplankton methodology manual, Academic Press, 683 p.

Quiceno, E. (2020). *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*. (Tesis de pregrado). Universidad de Antioquia, Turbo, Colombia.

Ringelberg, J. (1999). The photobehaviour of *Daphnia* spp. as a model to explain diel vertical migration in zooplankton. *Biological Reviews*. 74(4), 397–423.

Riquelme-Bugueño, R., S. Núñez, E. Jorquera, L. Valenzuela, R. Escribano & S. Hormazábal. (2012). The influence of upwelling variation on the spatially-structured community of euphausiids in Central/southern Chile during 2007-2008. *Progress in Oceanography* 92-95: 146–165, doi: 10.1016/j.pocean.2011.07.003

Seiter, K., Hensen, C., Schröter, J., & Zabel, M. (2004). Organic carbon content in surface sediments - Defining regional provinces. *Deep Sea Research Part I Oceanographic Research Papers* (Vol. 51).

Smith, D. L., (1977). A guide to marine coastal plankton and marine invertebrate larvae, doi: 0-8403-1672-0.

Taylor, G. T., Muller-Karger, F. E., Thunell, R. C., Scranton, M. I., Astor, Y., Varela, R., Doherty, O. (2012). Ecosystem responses in the southern Caribbean Sea to global climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(47), 19315 LP – 19320. <https://doi.org/10.1073/pnas.1207514109>

Urrea, C. R. L. (2009). *Estudio del zooplancton en zonas de producción piscícola en el embalse de Betania (Huila-Colombia)* (Tesis pregrado). Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia. 2(5), 70.

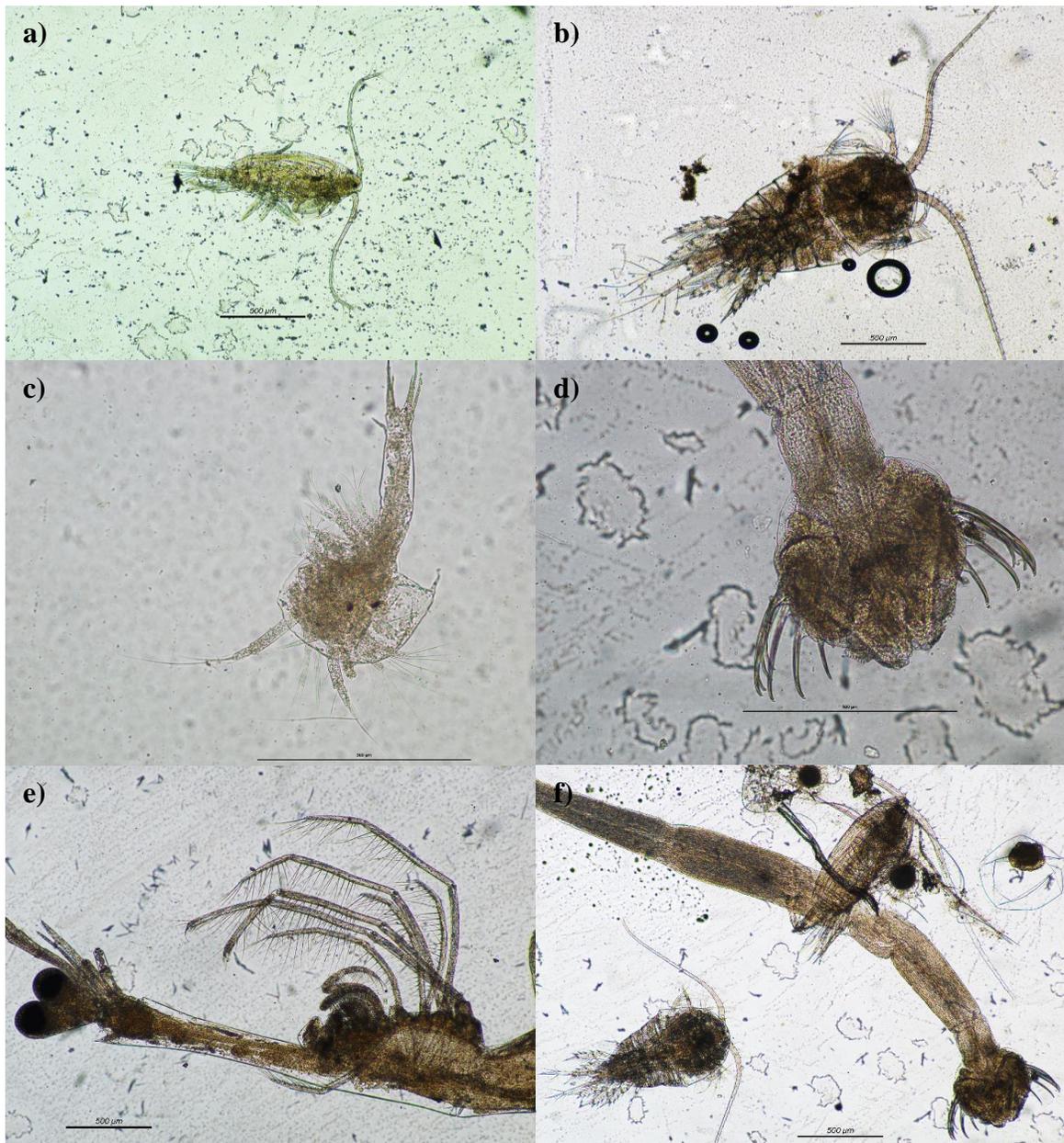
Veríssimo, H., Patrício, J., Gonçalves, É., Moura, G. C., Barbosa, J. E. L., & Gonçalves, A. M. M. (2017). Functional diversity of zooplankton communities in two tropical estuaries (NE Brazil) with different degrees of human-induced disturbance. *Marine Environmental Research*, 129. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2017.04.011>

Venkataramana, V., Sarma, V. V. S. S., Gawade, L., & Matta Reddy, A. (2021). Magnitude of river discharge determines the food habit and community composition of zooplankton in the Indian estuaries during monsoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 262. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2021.107601>

Ziadi B, Dhib A, Turki S, Aleya L. Factors driving the seasonal distribution of zooplankton in a eutrophicated Mediterranean Lagoon. *Mar Pollut Bull.* 2015 15;97(1-2):224-233. doi: 10.1016/j.marpolbul.2015.06.012. Epub 2015 Jun 8. PMID: 26066861.

12 Anexos

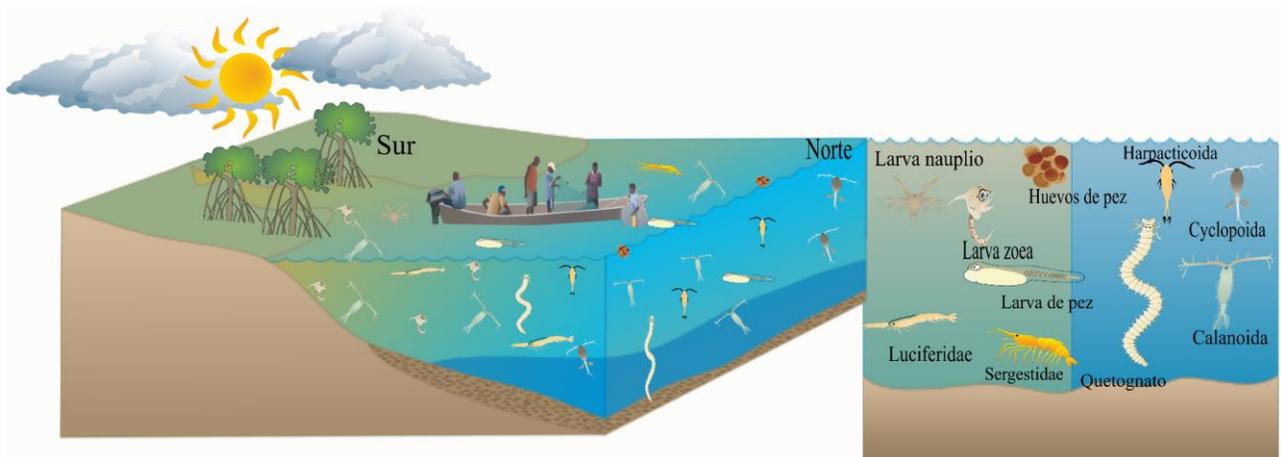
Anexo 1. Fotografías de mesozooplankton identificado en el Golfo de Urabá, **a)** Copépodo Calanoida, **b)** Copépodo Cyclopoida, **c)** Larva Zoea, **d)** Quetognato (zoom cabeza) **e)** Luciferidae, **f)** Quetognato.



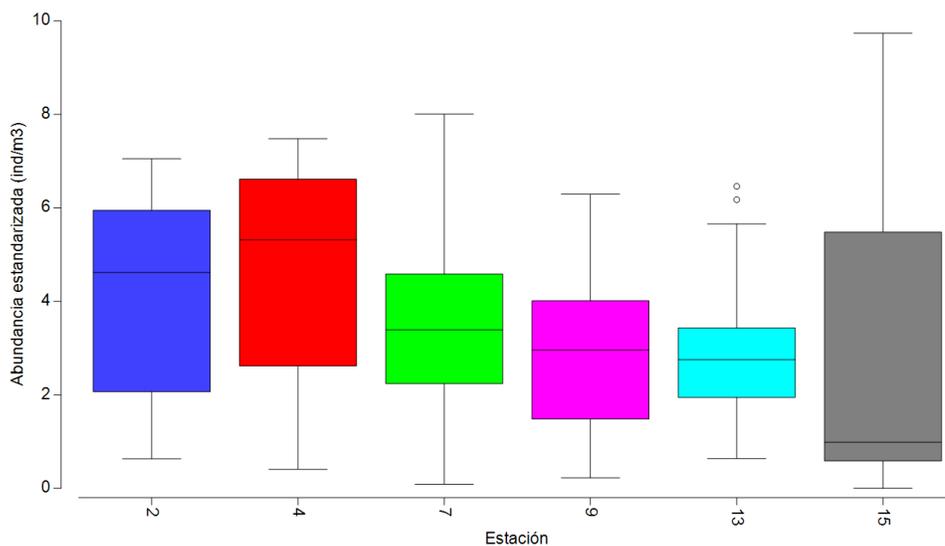
Anexo 2. Taxonomía de mesozooplancton. Para cada época se reportó la presencia de los grupos taxonómicos con X, en las estaciones Fluviales (F), estuarinas (E), y oceánicas (O).

Taxa	Época Húmeda			Época Seca		
	F	E	O	F	E	O
Quetognatos	X	X			X	X
Sergestidae	X			X	X	X
Luciferidae	X	X		X	X	X
Calanoida	X	X	X	X	X	X
Cyclopoida	X	X	X	X	X	X
Harpacticoida	X				X	
Larvas de peces	X	X	X	X	X	
Huevos de peces	X		X	X	X	X
Larva Nauplio	X			X	X	X
Larva Zoea	X			X	X	X
Larvas de Crustáceos		X			X	X
Otros	X	X	X	X	X	X

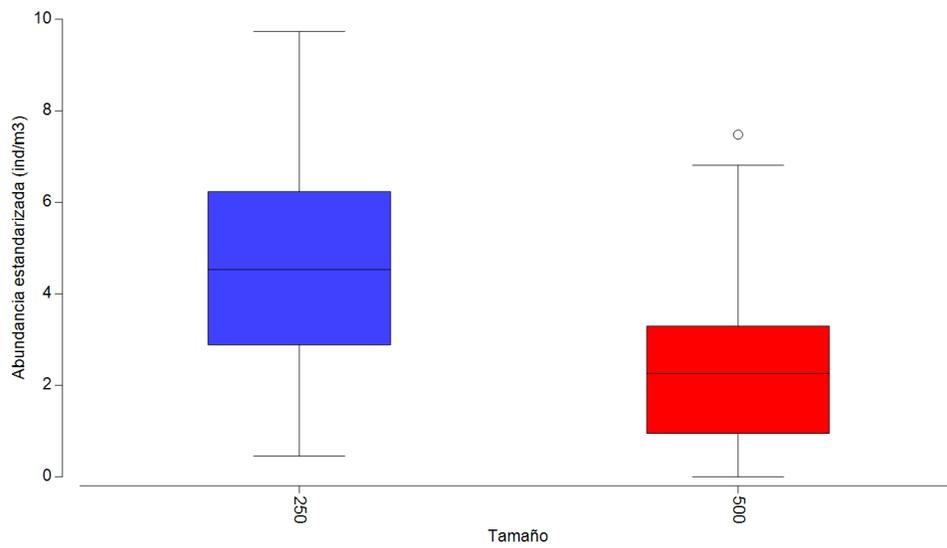
Anexo 3. Diagrama conceptual de la estructura comunitaria del mesozooplankton en el golfo de Urabá. Este diagrama tiene el objetivo de representar gráficamente la distribución en la densidad y riqueza del mesozooplankton en el golfo de Urabá que es particular para el sur y norte. La imagen de la derecha muestra los grupos de mesozooplankton más comunes en el sur y norte del Golfo.



Anexo 4. Diagrama de cajas y bigotes, de la densidad (ind/m³) de mesozooplankton por estaciones.



Anexo 5. Diagrama de cajas y bigotes, abundancia ind/m³ de mesozooplancton por tamaños.



Anexo 6. Diagrama de cajas y bigotes, abundancia ind/m³ de mesozooplancton por épocas.

