

**ESTRUCTURA DEL ZOOPLANCTON Y SU RELACIÓN CON LAS CONDICIONES MARINAS  
EN EL CARIBE NORTE COLOMBIANO**

**LEIDY JOHANNA HERNÁNDEZ RIVERA**

**Tesis de maestría para optar al título de Magíster en Ciencias Marinas**

**Director**

**ADOLFO SANJUAN MUÑOZ**

**Profesor Asociado**

**Biólogo Marino**

**Magíster en Gestión Ambiental en Zonas Costeras**

**Máster en Biodiversidad Animal**

**Codirector**

**ANDRÉS FRANCO HERRERA**

**Director Departamento de Ciencias Biológicas y Ambientales**

**Biólogo Marino**

**Doctor en Oceanografía**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS MARINAS  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO  
SANTA MARTA  
2019**

# **ESTRUCTURA DEL ZOOPLANCTON Y SU RELACIÓN CON LAS CONDICIONES MARINAS EN EL CARIBE NORTE COLOMBIANO**

Hernández Rivera, L.

Programa de Maestría en Ciencias Marinas. Departamento de ciencias biológicas y ambientales. facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

## **RESUMEN**

Con el objetivo de determinar la estructura en términos de abundancia, biomasa, composición y diversidad del ensamblaje zooplanctónico en la costa del Caribe norte colombiano y relacionarla con las condiciones del agua, se llevaron a cabo dos cruceros de investigación en las dos épocas climáticas típicas de la región (seca y lluviosa). Las estaciones fueron ubicadas en dos de las provincias fisicoquímicas determinadas en el Caribe colombiano; grupo 2: río Magdalena-CGSM (región 1) y grupo 6: PNN Tayrona-Guajira (región 2). Estos se realizaron sobre una grilla de 16 estaciones, donde se efectuaron arrastres circulares superficiales. Se encontraron 87 familias-morfotipos encontrándose la mayor riqueza de familias en la región 1 en la época seca, mientras que las mayores contribuciones en abundancias y biomasa se obtuvieron en época lluviosa en la región PNN Tayrona-Guajira. En cuanto a los índices ecológicos, que registraron diferencias espaciotemporales, los menores valores se observaron en la época lluviosa-región 2, donde se observó un aumento de familias dominantes, lo cual se reflejó en la disminución específica de uniformidad y diversidad. Las variables fisicoquímicas que mejor se asociaron al comportamiento espaciotemporal del ensamblaje fueron el oxígeno disuelto y la salinidad, corroborando la importancia de estas variables en la estructura de la comunidad zooplanctónica.

**Palabras clave:** Comunidad zooplanctónica, Épocas climáticas, Composición, Diversidad, Biomasa, Variables fisicoquímicas.

## INTRODUCCIÓN

La costa del Caribe colombiano tiene aproximadamente 1932 km de longitud, una zona costera de 7673 km<sup>2</sup> y una superficie de aguas jurisdiccionales de 532154 km<sup>2</sup>. Esta zona se caracteriza por presentar una amplia variedad de ecosistemas marinos importantes por su productividad biológica y económica. Alberga una gran diversidad de flora y fauna en ecosistemas como lagunas costeras, zonas de manglar, arrecifes coralinos, estuarios, bahías profundas, praderas de pastos marinos, costas arenosas y rocosas (Posada-Posada *et al.*, 2016). Los eventos de surgencia que se presentan en la zona por el transporte de Ekman y la acción de vientos continentales que producen el afloramiento de aguas subsuperficiales, realizan un proceso de fertilización mediante el aporte de nutrientes inorgánicos sobre las aguas costeras del Caribe colombiano, favoreciendo la producción primaria, aumentando los niveles de biomasa fitoplanctónica, fuente primordial de alimento para el zooplancton (Arévalo-Martínez y Franco-Herrera, 2008).

Recientemente, en el Caribe se han establecido provincias biogeográficas basadas en características fisicoquímicas que tienen una profunda influencia sobre los organismos pelágicos entre ellos el plancton (Chollett *et al.*, 2012). Su clasificación consta de 16 provincias fisicoquímicas que se pueden dividir en seis grandes grupos con las siguientes características: 1) baja claridad de agua, baja salinidad y temperatura media, 2) baja claridad del agua salinidad y temperatura media, 3) baja salinidad, claridad del agua media y temperatura media, 4) surgencias, 5) alta latitud y 6) aguas claras con alta temperatura y salinidad. En el Caribe colombiano existen tres provincias fisicoquímicas, la primera pertenece al denominado grupo 2, se caracteriza por estar fuertemente influenciada por plumas de los ríos del Magdalena y por la Ciénaga Grande de Santa Marta, la cual, es un complejo lagunar estuarino, que forma parte del delta del río Magdalena, el río más extenso y con mayor caudal de Colombia que desemboca directamente en el mar Caribe. La segunda corresponde al grupo 6, donde se encuentran áreas como las aguas del PNN Tayrona y La Guajira, y la tercera provincia hace parte del grupo 4 donde existe un ascenso impulsado del viento a lo largo del este colombiano (la Alta Guajira) y la mayoría de la costa venezolana (Chollett *et al.*, 2012).

Los ecosistemas acuáticos presentan múltiples variables que indican el estado en el que se encuentran. El estudio del componente biótico y abiótico es fundamental debido a que muchas variables fisicoquímicas dan una idea puntual sobre la calidad del agua, mientras que el componente biológico puede informar sobre las variaciones en el tiempo, ya que las características de los ensamblajes acuáticos (e.g. ictiofauna, zooplancton y fitoplancton) actúan como testigos del cambio ambiental, generando un acople efectivo para evaluar el estado del ecosistema, facilitando su control y monitoreo (García-Álzate *et al.*, 2007; Pérez-Castillo y Rodríguez, 2008). Además, existe una evidente dependencia entre los organismos debido a las interacciones que constantemente están ocurriendo entre ellos (Escribano y Castro, 2004), por lo cual, para

entender el funcionamiento de los ecosistemas es fundamental comprender la dinámica de ensamblajes clave (Begon *et al.*, 2006). El estudio del ensamblaje zooplanctónico es primordial, ya que es fundamental en el desarrollo y funcionamiento de las redes tróficas acuáticas, al servir como enlace entre la producción primaria producida por el ensamblaje fitoplanctónico y los niveles tróficos superiores (Gasca y Suárez-Morales, 1996), además de que son sensibles a variaciones ambientales, esta relación, así como su importancia trófica, permite que se emplee como un indicador del estado de los sistemas acuáticos (Lavaniegos, 2015).

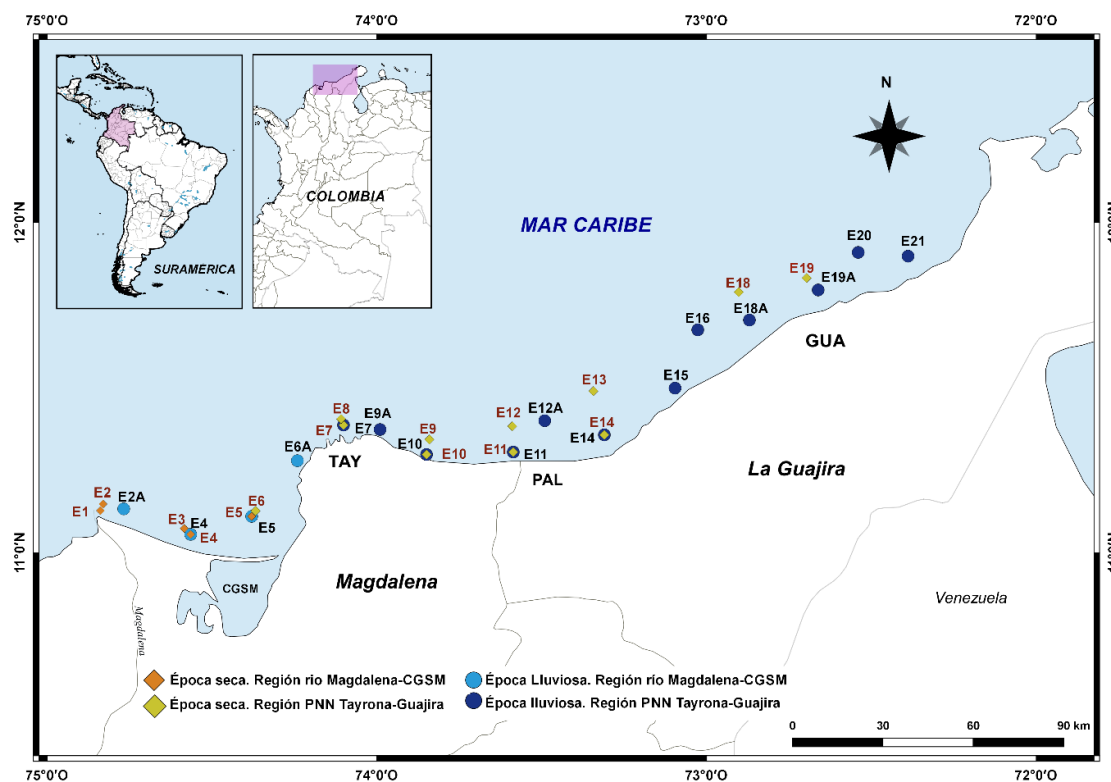
La composición y distribución espacial de especies zooplanctónicas están fuertemente ligadas a los principales patrones de circulación (locales y regionales) y por los procesos oceanográficos multiescalares, que establecen las características físicas, químicas y biológicas en una región determinada (Mullin, 1993; Giraldo y Gutiérrez, 2007). Generalmente, los factores físicos y químicos con mayor influencia son la intensidad del oleaje, las mareas, la estratificación, la salinidad, la temperatura y la concentración de nutrientes causando fluctuaciones en las condiciones hidrodinámicas (Beaugrand, 2005). En cuanto a lo biológico, sobresale la abundancia de fitoplancton, las épocas reproductivas y el grado de depredación (Boltovskoy, 1981; Heidelberg *et al.*, 2004). Sin embargo, las pequeñas fluctuaciones estacionales generadas por variables hidrográficas locales o las perturbaciones generadas por el crecimiento y desarrollo antropogénico, también generan cambios en la composición del ensamblaje, determinando que su distribución espacial y temporal esté sujeta a condiciones influenciadas a la vez por el régimen climático y a las modificaciones ambientales (Invemar-ANH, 2010).

En el Caribe colombiano, los estudios relacionados con la fauna zooplanctónica nerítica, se han realizado principalmente en jurisdicción de los departamentos de La Guajira, Magdalena, Bolívar y en la zona insular de San Andrés y Providencia. En el Caribe colombiano las investigaciones se han focalizado en la descripción de la composición y biomasa zooplanctónica (Del Real Martínez, 1970; Bernal *et al.*, 2004; León, 2004; Medellín, 2005; Medellín-Mora y Martínez-Ramírez, 2010), la evaluación de las variaciones espaciotemporales (Invemar, 1988; Vargas, 2003; Bernal *et al.*, 2004; López-Céron y Franco-Herrera, 2010), la determinación de migración vertical por ciclo circadiano (Bernal, 1990), la influencia de las épocas de afloramiento costero y descarga continental (Bernal, 1994; Bernal y Zea, 2000; Bernal *et al.*, 2004; Franco-Herrera, 2006; Cepeda, 2007) y el efecto que generan las actividades industriales y las variables fisicoquímicas del agua en el comportamiento zooplanctónico (Invemar, 1988; Marino y Merchán, 1993; Vanegas, 2002; ANADARKO y AQUABIOSFERA, 2015).

En este estudio se pretende determinar la estructura (abundancia, biomasa, composición y diversidad) del ensamblaje zooplanctónico en la región costera del Caribe norte colombiano en las épocas climáticas típicas y relacionarla con las condiciones del agua.

### ÁREA DE ESTUDIO

Los cruceros de investigación fueron realizados en el Caribe norte colombiano entre la desembocadura del río Magdalena (11° 07' 38,6" N; 74° 50' 18,8 O") y Manaure (11° 53' 53,4 N"; 72° 23' 19,5 O"). Los muestreos se llevaron a cabo de manera estratificada espacialmente en dos épocas climáticas típicas (seca y lluviosa) de la región, muestreando 16 estaciones en cada una. Las estaciones fueron ubicadas en dos de las tres provincias fisicoquímicas determinadas en el Caribe colombiano por Chollet *et al.*, 2012 [grupo 2: río Magdalena-CGSM (denominada región 1) y grupo 6: PNN Tayrona-Guajira (denominada región 2)], teniendo en cuenta las desembocaduras de algunos cuerpos de agua importantes (e. g. Ciénaga Grande de Santa Marta y río Magdalena) (Figura 1).



**Figura 1.** Ubicación de las estaciones de muestreo del zooplancton en el norte del Caribe colombiano. Elaborado por Shirley Bello.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En cada estación se recolectaron muestras zooplanctónicas por medio de arrastres circulares superficiales por 10 min. Para determinar la efectividad del arrastre se calculó la eficiencia de la red siguiendo a Boltovskoy (1981). Como muestreador se empleó una red tipo bongo de 2.5 m de largo, con un ojo de malla de 200  $\mu\text{m}$  sujeta a un aro de 60 cm y acoplada a esta un copo colector de 1 L. A la red se le instaló un flujómetro previamente calibrado, para determinar la distancia recorrida por la red y posteriormente el volumen de agua de mar filtrada ( $\text{m}^3$ ). Con el objetivo de evitar el registro de valores inferiores a los reales por las diferentes velocidades que se pueden presentar entre los puntos de unión, el flujómetro se ubicó en la mitad de distancia entre el centro de la boca y la periferia.

Con las muestras obtenidas se llevaron a cabo análisis cualitativos y cuantitativos (abundancia y biomasa). El material recolectado se guardó en frascos rotulados (proyecto, estación, hora y fecha) de capacidad nominal de 0.5 L y preservadas en formol al 4 % (tamponado con bórax), para su posterior identificación (Boltovskoy, 1981). Las muestras se almacenaron y trasladaron en neveras de fibra de vidrio a las instalaciones y laboratorios de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, sede Santa Marta.

Con una sonda multiparamétrica CTDO EXO 1 se realizó la medición *in situ* de temperatura, salinidad, conductividad, concentración de oxígeno disuelto y el porcentaje de saturación de oxígeno en superficie. Con una botella oceanográfica de 6 L se recolectaron muestras de agua superficiales, midiendo el pH con una sonda WTW pH 3210 SET 2.

Las muestras de agua para medir las variables *ex situ* (nutrientes, sólidos suspendidos totales -SST- y clorofila *a* fitoplanctónica), se recolectaron en recipientes de polipropileno de 1 L (Rice *et al.*, 2012). Las muestras de nutrientes inorgánicos, sólidos suspendidos totales, fosfatos y clorofila *a* se filtraron, inmediatamente después de su recolección, a través de una bomba de vacío con filtros Whatman de 1.2  $\mu\text{m}$  de diámetro (a los filtros con la clorofila *a* se le agregaron 2 gotas de carbonato de magnesio para su conservación). Todas las muestras se codificaron, refrigeraron, congelaron y transportaron hasta el laboratorio para su procesamiento, siguiendo siempre los estándares nacionales e internacionales establecidos para monitoreos ambientales (DINAMA, 1996; Invemar, 2003). Cabe aclarar que para la época seca las muestras de nutrientes no se pudieron analizar debido a dificultades con la refrigeración.

En el laboratorio, las muestras biológicas fueron divididas en dos fracciones con un separador de Folsom previamente calibrado según lo establecido por Greenberg *et al.* (1992). En una fracción se realizaron repetidas divisiones dependiendo la densidad de la muestra recolectada. De tal manera, cuando la densidad de organismos fue baja, se fraccionó desde 1/4, mientras que a mayores densidades se fraccionó a 1/64 (SC-

E19-2/ LL-E21-2). La fracción seleccionada se dispuso en frascos de 500 mL, para su conteo y posterior identificación. La muestra se dispuso en una caja de Petri previamente dividida en cuatro cuadrículas para facilitar la observación de los individuos en un estereoscopio de luz de 32x. El proceso de identificación taxonómica se efectuó hasta el nivel de familia empleando literatura especializada (Boltovskoy, 1981; Campos-Hernández y Suárez-Morales, 1994; Todd *et al.*, 1996; Johnson y Allen, 2005, Medellín-Mora *et al.*, 2009) y la abundancia se expresó en densidad ( $\text{Ind} \cdot \text{m}^{-3}$ ) y en abundancia relativa (%).

En la otra fracción se determinó la biomasa zooplanctónica seca colocando filtros con muestra en cajas de Petri rotuladas expuestas a una temperatura de 70 °C por 24 h en la estufa. Cumplido este periodo, se dejaron por una hora en el desecador para ser finalmente pesados en una balanza Sartorius ( $\pm 0.0001 \text{ g}$ ), este proceso se repitió dos veces (volver a poner en el desecador, esperar una hora y volver a pesar), para asegurar que el peso estimado fuese constante.

$$\text{Biomasa seca (g} \cdot 100 \text{ m}^{-3}\text{)} = \frac{(\text{Peso de la caja petri} + \text{Muestra seca}) - (\text{peso inicial de la caja petri})}{\text{Volumen de la muestra}}$$

Finalmente, para la determinación de materia orgánica, los filtros resultantes del procedimiento de biomasa seca, se depositaron en crisoles (previamente pesados) y se llevaron a ignición en una mufla terrígena a 500 °C por 6 h. Los valores de las biomásas obtenidas por gravimetría corresponden a la diferencia entre la biomasa seca y la biomasa libre de cenizas y se reportaron en  $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$  (Boltovskoy, 1981).

$$\text{Materia Orgánica (g} \cdot 100 \text{ m}^{-3}\text{)} = \frac{(\text{biomasa seca}) - (\text{biomasa libre de cenizas})}{\text{Volumen de la muestra}}$$

Para determinar la concentración de clorofila *a* fitoplanctónica se colocaron filtros whatman GF/C de retención de partículas de 1.2  $\mu\text{m}$  en tubos Falcon de 15 mL en los cuales se adicionaron 5 mL de solución de acetona al 90 % y se macero con un homogenizador. Posteriormente, el homogenizador se enjuagó y se ajustó el volumen total a un nivel constante de 10 mL y se dejaron las muestras durante 24 h en la oscuridad. Se procedió a clarificar el extracto centrifugado en los tubos tapados por 10 min a 1000 rpm. Por último, se transfirió el extracto a una celda de 1 cm y se midió la densidad óptica (DO) a 750, 665, 664, 647 y 630 nm. Se sustrajo la lectura de cada uno de los valores de densidad óptica de las otras longitudes antes de ser usados en las ecuaciones de cálculo (Garay-Tinoco *et al.*, 2003).

Los nutrientes fueron analizados por el laboratorio EWTA (Environmental and Water Testing Advisors S.A.S) siguiendo la metodología establecida por Rice *et al.* (2012).

## Análisis de la información

Se llevó a cabo un análisis exploratorio utilizando medidas de tendencia central (media aritmética) y medidas de variabilidad (error estándar, coeficiente de variación, máximo y mínimo), y se elaboraron histogramas y diagramas de sectores, que facilitaron la comprensión del comportamiento del ensamblaje para las épocas de muestreo (Zar, 2010).

La caracterización de la estructura del ensamblaje se realizó a partir de medidas de diversidad como riqueza de familias (S), riqueza de Margalef (d), uniformidad o equitatividad de Pielou ( $J'$ ) y diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ), los cuales permiten evaluar el grado de complejidad del ensamblaje y su modificación en las estaciones y épocas climáticas (Ludwig y Reynolds, 1998; McCune y Grace, 2002).

Con el fin de determinar diferencias espaciales y temporales de la abundancia y biomasa se realizaron pruebas estadísticas univariadas, para las cuales se evaluaron los supuestos de normalidad (prueba de Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (prueba de Barlett si hay normalidad o de Levene sino la había). En los datos que no presentaron normalidad (densidad, número de familias y biomasa seca) se llevaron a cabo transformaciones de tipo logarítmica ( $\ln$ ) debido a que presentaron sesgo. A las variables que exhibieron normalidad y homogeneidad sin o con transformación (densidad y biomasa seca) se le realizó la prueba de Anova de dos vías (prueba *post hoc* de Tukey), las que tuvieron normalidad, pero no homogeneidad (materia orgánica) se les aplicó Anova de Welch (prueba *post hoc* de Games-Howell) y las que no presentaron normalidad, pero si homogeneidad (número de familias) se les efectuó la prueba de Kruskal-Wallis (prueba *post hoc* de Dunn). A la biomasa seca y a la materia orgánica se les realizó una correlación de Spearman con el fin de determinar la relación entre estas dos variables. Con los resultados obtenidos de las pruebas no paramétricas se realizaron gráficas de cajas y bigotes para cada una de las variables analizadas.

Con la finalidad de establecer patrones de distribución espacial y temporal se llevó a cabo un análisis de clasificación a partir de la técnica ligamiento promedio no ponderado (UPGMA) sobre la matriz triangular que se obtuvo con el índice de similitud de Bray-Curtis (Clarke *et al.*, 2014 b), tomando como base la matriz de composición de familias-morfotipos y densidades de zoopláncteres. Para la determinación de grupos verdaderos se recurrió a la prueba de perfiles de similitud -SIMPROF- (Clarke *et al.*, 2014 b). Se utilizó este método por ser el más adecuado para el análisis de datos biológicos, ya que toma como referencia el número de individuos por volumen para la formación de grupos (Clarke y Warwick, 2001). Para disminuir el peso de las familias-morfotipos más abundantes e incrementar la de las menos numerosas en los análisis multivariados, previamente se realizaron transformaciones logarítmicas con base en la técnica tramas de



sombras *-shade plots-* (Clarke *et al.*, 2014 a). Posteriormente se ejecutó un desglose de porcentajes de similitud (similarity percentage breakdowns-SIMPER) para definir cuáles fueron las taxa que más aportan a la disimilitud (Clarke *et al.*, 2014 b). Se realizó un PERMANOVA para determinar la existencia de diferencias significativas entre épocas climáticas y provincias fisicoquímicas, con 999 permutaciones (Clarke *et al.*, 2014 b). Para estos análisis multivariados no se tuvieron en cuenta los morfotipos ni el ictioplancton.

A las variables medidas con la CTDO se le hicieron análisis exploratorios mediante el cálculo de media aritmética, error estándar, coeficiente de variación, valores máximo y mínimo (Zar, 2010). Además, se realizaron perfiles del comportamiento en la columna de agua.

Para establecer relaciones entre el ensamblaje zooplanctónico y las condiciones ambientales, se hicieron correlaciones múltiples entre las variables bióticas y abióticas mediante el procedimiento Best (Bioenv) descrito en Clarke *et al.* (2014 b) con el fin de determinar que variable o variables abióticas están mejor relacionadas con las bióticas. Se realizó un *draftsman plot* con el fin de definir si era necesario transformar alguna variable y se llevó a cabo un análisis de correlación de Pearson para determinar variables que tuvieran una alta correlación entre ellas ( $r > 0.95$ ;  $p < 0.05$ ), en cuyo caso solo se tuvo en cuenta una de ellas para el Bioenv, por tal razón se excluyó la conductividad (colinealidad con la salinidad,  $r = 0.99$ ;  $p < 0.001$ ) (Ramírez y Viña, 1998; Clarke *et al.*, 2014 b). En el análisis Best, se utilizó el coeficiente de Spearman ponderado aplicando 9999 permutaciones (Clarke *et al.*, 2014 b). Para este análisis solo se tuvieron en cuenta los valores superficiales de las variables fisicoquímicas. Con las variables que presentaron una mayor correlación con el ensamblaje zooplanctónico se realizaron pruebas univariadas con el fin de determinar diferencias espaciales y temporales. En los datos que presentaron normalidad y homogeneidad (oxígeno disuelto) se le realizó la prueba de Anova de dos vías (prueba *post hoc* de Tukey) y a las que tuvieron normalidad, pero no homogeneidad (salinidad) se les aplicó Anova de Welch (prueba *post hoc* de Games-Howell). Paralelamente, se realizó un Análisis de Correspondencia Canónica -ACC- (McCune y Grace, 2002) para identificar el patrón de distribución de las familias del zooplancton con abundancias superiores al 0.1 % en las dos épocas climáticas y cuáles variables fisicoquímicas se relacionan con determinadas taxa.

## **RESULTADOS**

### **Composición del zooplancton**

Se encontraron un total de 87 taxa distribuidas en 10 phyla, 15 clases, 30 órdenes y 72 familias identificadas (9 familias-morfotipos pertenecen a 4 órdenes de ictioplancton) y 15 morfotipos. En la región río Magdalena-CGSM se obtuvieron 82 taxa (70 familias y 12 morfotipos), mientras que en la región PNN Tayrona-Guajira se encontraron 85 taxa (70 familias y 15 morfotipos) agrupados en 29 ordenes. En la época seca se hallaron 75 taxa (63 familias y 12 morfotipos) congregados en 9 phyla, 14 clases y 27 órdenes y en la época lluviosa se encontraron 76 taxa (62 familias y 14 morfotipos), asociados a 10 phyla, 15 clases y 27 ordenes (Tabla 2).

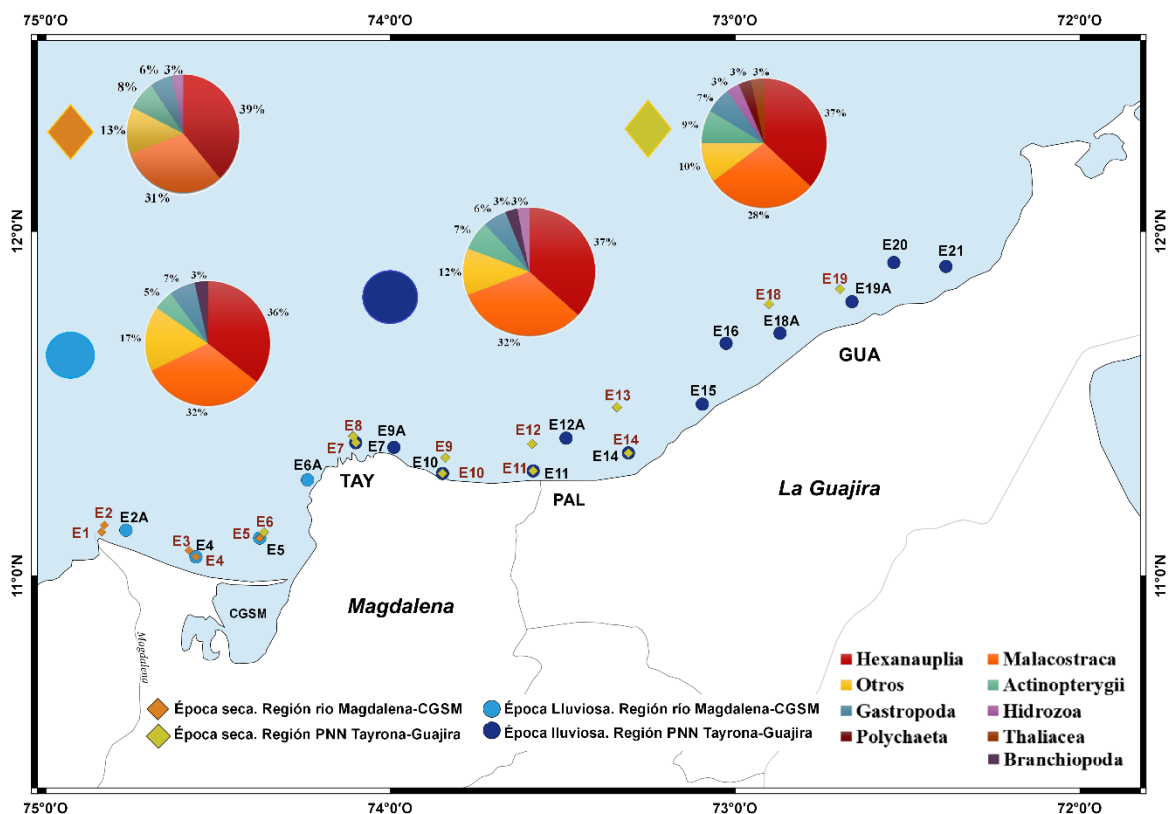
En la época seca se obtuvieron 65 familias-morfotipos tanto en la región río Magdalena-CGSM como en la región PNN Tayrona-Guajira, pero con un mayor número de clases (14) y ordenes (26) en esta última. En época lluviosa, se presentó un comportamiento similar, la región río Magdalena-CGSM tuvo menor riqueza representada (59 familias-morfotipos), en comparación con la región PNN Tayrona-Guajira que presentó 70 familias-morfotipos, agrupados en 10 phyla, 14 clases y 24 ordenes. En las dos épocas y regiones, la clase Hexanauplia (copépodos), seguida por la clase Malacostraca (larvas de decápodos) presentaron la mayor representatividad (Figura 2; Tabla 1).

**Tabla 1.** Densidad ( $\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$ ) y sistemática de las familias-morfotipos en el Caribe norte colombiano. Región 1: río Magdalena-CGSM; Región 2: PNN Tayrona-Guajira (Phyla en orden alfabético).

Phylum	Clase	Orden	Familia/morfotipo	Región 1	Región 2	Región 1	Región 2	Total			
				Seca	Seca	Lluvias	Lluvias				
Annelida	Polychaeta		Phyllodocida	Alciopidae	0.21	-	-	-	0.72		
			Terebellida	Terebellidae	-	3.33	-	-			
			Spionida	Spionidae	-	0.33	0.33	4.46			
	Branchiopoda		Ctenopoda	Sididae	-	285.74	0.24	125.10	62.66		
			Onychopoda	Podonidae	8.21	75.61	1.81	4.55			
Arthropoda	Hexanauplia	Calanoida		Acartiidae	59.50	284.42	184.73	505.59	274.88		
				Augaptilidae	33.00	37.73	0.46	23.23			
				Calanidae	707.25	558.09	99.75	513.73			
				Candaciidae	10.74	1.48	0.08	2.62			
				Centropagidae	4.70	2.16	37.12	59.25			
				Clausocalanidae	238.04	531.03	121.23	229.93			
				Eucalanidae	0.98	3.93	42.37	132.42			
				Euchaetidae	181.88	212.11	98.73	234.10			
				Lucicutidae	0.19	30.13	0.07	1.15			
				Lubbockiidae	0.10	3.61	-	-			
				Metridinidae	0.23	-	-	3.49			
				Paracalanidae	402.00	739.30	585.50	3492.28			
				Pontellidae	2.14	0.04	22.57	189.24			
				Rhincalanidae	0.44	0.50	1.61	0.26			
				Scolecitrichidae	48.49	9.46	8.99	5.89			
				Subeucalanidae	156.08	282.29	49.15	262.68			
				Temoridae	680.68	938.61	1403.53	6502.53			
				Cyclopoida		Corycaeidae	541.79	1337.66		598.73	4006.34
						Oithonidae	53.85	228.99		23.78	104.66
						Oncaeidae	60.07	98.74		37.71	294.73
						Sapphirinidae	0.21	11.64		0.47	-
				Harpacticoida		Miraciidae	4.75	3.15		0.74	1.29
						Peltidiidae	1.53	-		-	1.25
						Nauplio Copepoda	5.89	13.59		17.82	18.21
						Nauplio Cirripedia	-	3.81		0.71	130.72
						Larva Cirripedia	0.70	-		-	8.23
				Amphipoda		Hyperiididae	Hyperiididae	3.44		0.50	0.11
	Albuneidae	Albuneidae	11.98			0.11	-	3.81			
	Alpheidae	Alpheidae	20.61			0.11	18.90	4.90			
	Atelecyclidae	Atelecyclidae	-			-	0.57	7.11			
	Callanassidae	Callanassidae	13.79			-	0.34	4.90			
	Cancridae	Cancridae	6.06			0.21	-	-			
	Diogenidae	Diogenidae	-			-	0.23	-			
	Hippidae	Hippidae	-			-	-	4.03			
	Hippolytidae	Hippolytidae	-			-	-	2.80			
	Larva Brachyura	Larva Brachyura	1.18			-	0.11	8.90			
Malacostraca	Decapoda		Luciferidae	Luciferidae	118.60	27.06	52.27	73.91			
			Majidae	Majidae	27.32	10.99	13.83	65.19			
			Megalopa Brachyura	Megalopa Brachyura	-	-	-	3.20			
			Paguridae	Paguridae	4.53	-	10.55	9.35			
			Palinuridae	Palinuridae	0.31	1.57	-	-			
			Palaemonidae	Palaemonidae	6.10	-	-	-			

**Continuación Tabla 2.** Densidad ( $\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$ ) y sistemática de las familias-morfotipos en el Caribe norte colombiano. Región 1: río Magdalena-CGSM; Región 2: PNN Tayrona-Guajira (Phyla en orden alfabético).

Phylum	Clase	Orden	Familia/morfotipo	Región 1	Región 2	Región 1	Región 2	Total	
				Seca	Seca	Lluvias	Lluvias		
Malacostraca		Decapoda	Penaeidae	88.84	5.35	-	-		
			Porcellanidae	6.95	0.56	0.08	0.50		
			Portunidae	11.19	1.54	-	2.52		
			Protozoa	37.15	287.19	368.10	100.61		
			Raninidae	5.91	0.43	0.42	0.87		
			Sergestidae	42.44	43.72	307.14	88.38		
			Xanthidae	-	0.55	-	-		
			Zoea Braqiura	18.51	2.71	36.34	35.91		
			Euphausiacea	Euphausiidae	-	-	0.03	2.43	
			Mysida	Mysidae	20.88	4.17	3.38	0.45	
Stomatopoda	Squillidae	2.95	0.45	1.38	2.33				
	Zoea Stomatopoda	-	-	-	3.27				
	Ostracoda	Halocyprida	Halocyprididae	17.75	14.60	10.20	81.00	30.89	
Bryozoa	Gymnolaemata	Cheilostomatida	Membraniporidae	23.16	6.00	0.53	5.29	8.75	
Chaetognatha	Sagittioidea	Aphragmophora	Sagittidae	197.68	338.72	83.88	527.32	286.90	
Chordata		Clupeiformes	Clupeidae	1.41	1.69	-	3.76		
			Myctophiformes	Myctophidae	0.11	0.45	-	-	
		Perciformes	Carangidae	-	-	-	1.02		
			Gerreidae	-	-	-	0.11		
			Lutjanidae	0.39	-	-	-		
			Scaridae	-	0.10	-	-		
		Pleuronectifor-	Paralichthyidae	-	-	0.11	-		
		Huevo de pez		13.65	98.73	27.14	250.59		
		Larva pez		3.31	8.76	1.17	10.32		
		Appendicularia	Copelata	Oikopleuridae	26.02	307.07	56.31	1398.61	447.00
Thaliacea	Doliolida	Doliolidae	-	11.52	-	7.90	2.51		
	Salpida	Salpidae	-	0.55	0.15	-			
Cnidaria	Hidrozoa	Siphonophorae	Abylidae	0.10	0.09	-	0.12		
			Bractea Siphonophorae	-	13.40	-	-	1.35	
			Diphyidae	0.62	-	0.03	1.91		
Echinodermata	Holothuroidea	Holothuriida	Holothuridae	0.51	1.21	1.17	8.71	2.90	
			Larva Echinodermata	-	-	0.42	0.12	0.13	
			Morfotipo Echinodermata	0.10	0.49	-	0.22	0.20	
Foraminifera		Foraminiferida	Foraminifero	-	2.37	1.74	4.66	2.19	
		Globothalamea	Rotaliida	Globigerinidae	4.20	2.29	-	0.12	1.65
		Littorinimorpha	Atlantidae	4.78	18.29	2.85	10.96		
Mollusca	Gastropoda	Pteropoda	Cavoliniidae	5.22	3.40	4.22	11.49	9.58	
			Limacinidae	14.71	40.73	13.73	11.64		
			Protoconcha	1.60	2.29	0.08	7.28		
Sipincula	Sipunculidea	Golfingiida	Sipunculidae	-	-	0.26	-	0.06	



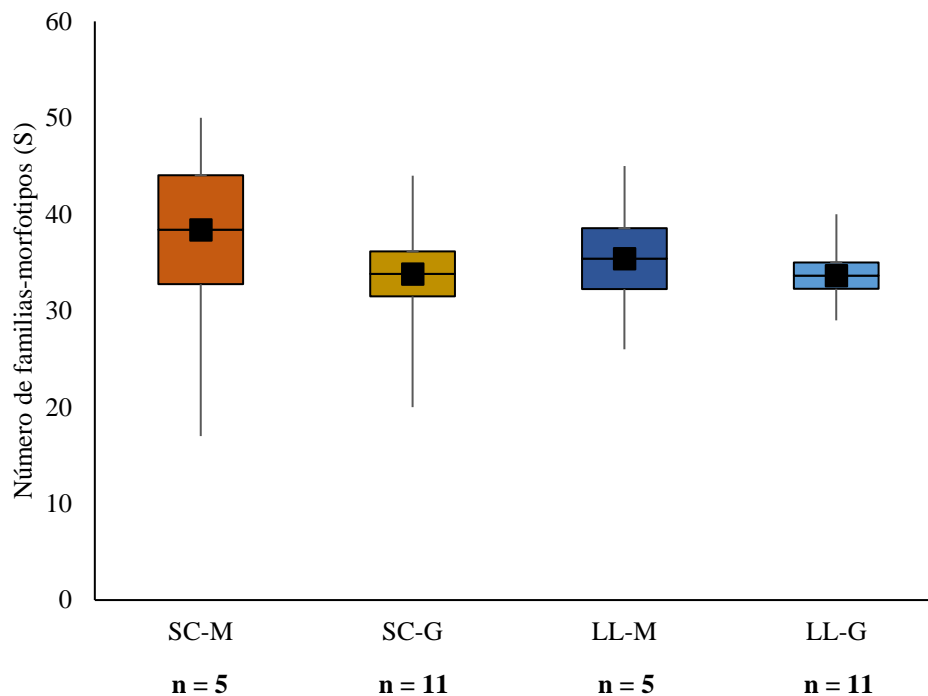
**Figura 2.** Composición porcentual por clase del ensamblaje zooplanctónico en el Caribe norte colombiano. En la categoría otros se agruparon las clases que tuvieron menos del 2 % de contribución.

En la época seca en la región PNN Tayrona-Guajira, el mayor número de familias lo aportaron Hexanauplia (37 %) y Malacostraca (28 %). Las demás clases tuvieron contribuciones en la riqueza de familias inferiores al 15 %. En la categoría “otros” se agruparon aquellas clases con una contribución de familias inferior al 2 % (Appendicularia, Branchiopoda, Globothalamea, Gymnolaemata, Holothuroidea, Ostracoda y Sagittoidea). También en la región río Magdalena-CGSM la mayor cantidad de familias correspondieron a las clases Hexanauplia (39 %) y Malacostraca (31 %), y las clases Actinopterygii (8 %), Gastropoda (6 %) e Hydrozoa (3 %) aportaron más del 3 % (Figura 2).

En la época lluviosa en la región río Magdalena-CGSM persistió la dominancia en número de familias de la clase Hexanauplia (36 %) y Malacostraca (33 %). Por otro lado, Gasterópoda (7 %), Actinopterygii (5 %) y Branchiopoda (3 %), tuvieron una contribución de familias mayor o igual al 3 %. Las clases restantes se reunieron dentro de “otros”. La región PNN Tayrona-Guajira presentó la misma contribución de la clase Hexanauplia que en la época seca, las demás clases tuvieron una contribución menor al 10 % y en la

categoría en “otros” se agruparon Appendicularia, Globothalamea, Gymnolaemata, Holothuridae, Ostracoda, Polychaeta, Sagittoidea y Thaliacea (Figura 2).

En la época seca en la región río Magdalena-CGSM se registraron  $38.40 \pm 5.64$  familias-morfotipos por muestra, encontrándose la mayor cantidad de familias en E4 (50 familias-morfotipos) y la menor en E5 (17 familias-morfotipos). La región PNN Tayrona-Guajira tuvo  $33.81 \pm 2.33$  familias-morfotipos por muestra (de 20 en E9 a 44 en E18 y E19). En la época lluviosa en la región río Magdalena-CGSM se obtuvo  $35.40 \pm 3.15$  familias-morfotipos con un intervalo entre 26 (E2A) y 45 (E5), mientras que en la región PNN Tayrona-Guajira se obtuvo  $33.63 \pm 1.36$  familias-morfotipos (de 29 en E16 a 40 en E15). No se presentaron diferencias significativas de la riqueza de familias-morfotipos ni entre las épocas climáticas ni entre las regiones (prueba Kruskal-Wallis,  $H_3 = 2.70$ ;  $p = 0.43$ ) (Figura 3).



**Figura 3.** Gráficos de cajas y bigotes de la riqueza de familias-morfotipos (S) obtenidas en la región de río Magdalena-CGSM y PNN Tayrona-Guajira en las épocas climáticas seca y lluviosa, se indica la mediana (línea horizontal dentro de la caja), media (punto negro dentro de la caja) y máximos y mínimos (línea vertical fuera de la caja).

### Abundancia

La densidad general fue de  $1091.13 \pm 1222.74 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$ , presentando una alta variación (112.1 %). La región río PNN Tayrona-Guajira presentó mayor densidad ( $1208.72 \pm 1371.44 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$ ) que la del río Magdalena-

CGSM ( $832.43 \pm 808.07 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$ ). La época lluviosa tuvo una mayor densidad promedio ( $1499.39 \pm 1513.95 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$ ) en comparación con la época seca ( $682.86 \pm 665.02 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$ ).

La densidad en la época seca en la región río Magdalena-CGSM fue de  $793.60 \pm 504.67 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$ , oscilando entre 107 (E5) y 1347 (E4)  $\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$ . En la región PNN Tayrona-Guajira la densidad fue menor con  $633.52 \pm 743.36 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$  variando de 16 (E9) a 2149  $\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$  (E19). La época lluviosa en la primera región tuvo un promedio de  $871.25 \pm 1100.33 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$  con intervalos de 41 (E6A) a 2736 (E2A)  $\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$ , siendo menor en comparación a lo registrado en la segunda región en la que se obtuvo un promedio de  $1784.91 \pm 1633.04 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$ , siendo la estación E12A la de menor densidad (217  $\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$ ) y la estación E21 la de mayor (5847  $\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$ ). No obstante, no se encontraron diferencias estadísticas espaciales (Anova 2-vías, Región:  $F_{(1,28)} = 0.25$ ,  $p = 0.62$ ) ni temporales (Anova 2-vías, Época:  $F_{(1,28)} = 0.91$ ,  $p = 0.34$ ) ni entre la interacción temporal ni espacial (Anova 2-vías, Época-Región:  $F_{(1,28)} = 3.71$ ,  $p = 0.06$ ; Figura 4).

Las familias Temoridae y Corycaeidae fueron las más abundantes, contribuyendo en conjunto con más del 30 % de la abundancia del zooplancton en cada época. Temoridae tuvo una abundancia relativa del 16.05 % (1619  $\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$ ) en la época seca y 33.94 % (7906  $\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$ ) en la lluviosa, mientras Corycaeidae presentó una abundancia de 16.36 % (1879  $\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$ ) en seca y 18.91 % (4605  $\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$ ) en lluvias. Otra familia que presentó alta densidad en época seca fue Calanidae aportando un 13.88 % (1265  $\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$ ), mientras que en lluvias Paracalanidae contribuyó con el 16.74 % (4077  $\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$ ), cabe destacar que en época seca la contribución de otras familias es superior a lo evidenciado en la época lluviosa (Figura 4). En cuanto a las regiones, se mantienen las mismas familias, en la región río Magdalena-CGSM Temoridae tuvo la mayor contribución con el 25.03 % (2084  $\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$ ) seguido de Corycaidae con 13.70 % (1140  $\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$ ) y Paracalanidae con 11.86 % (987  $\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$ ). En la región PNN Tayrona-Guajira estas familias conservan el mismo orden, pero con mayores densidades, Temoridae 27.98 % (7441  $\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$ ), Corycaidae 20.09 % (5344  $\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$ ) y Paracalanidae 15.91 % (4231  $\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$ ) (Figura 4).

En la época seca en la región río Magdalena-CGSM, las familias con una abundancia relativa mayor al 10 % fueron Calanidae 17.34 % (707.25  $\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$ ), Temoridae 16.23 % (680.68  $\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$ ) y Corycaeidae 16.20 % (541.79  $\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$ ), en la región PNN Tayrona-Guajira, persisten las mismas familias, pero con diferentes abundancias: Corycaeidae 18.17 % (1337.66  $\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$ ), Temoridae 12.89 % (938.61  $\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$ ) y Calanidae 12.78 % (558.09  $\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$ ). En la época lluviosa en la región PNN Tayrona-Guajira, la familia Temoridae 24.98 % (6502.53  $\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$ ), seguida de Corycaeidae 19.90 % (4006.34  $\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$ ) y Paracalanidae 19.69 % (3492.28  $\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$ ) obtuvieron las mayores abundancias relativas en comparación con lo encontrado en la

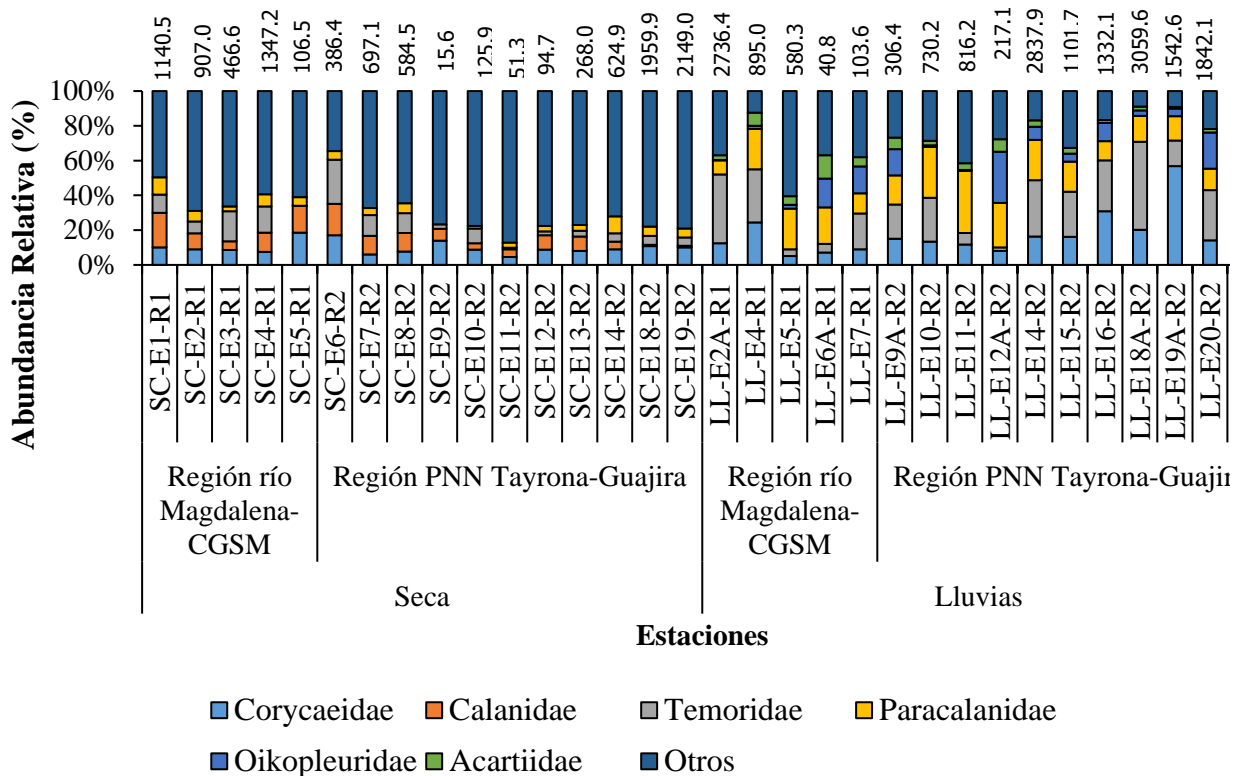
región río Magdalena-CGSM: Temoridae 19.90 % (1403.53 ind · m<sup>-3</sup>), Corycaeidae 17.47 % (598.73 ind · m<sup>-3</sup>) y de Paracalanidae 16.60 % (585.50 ind · m<sup>-3</sup>) (Figura 4).

### **Biomasa zooplanctónica**

En la época seca la biomasa seca (BS) y la materia orgánica (MO) presentaron mayor concentración en la región río Magdalena-CGSM (BS = 10.22 ± 3.42; MO = 8.62 ± 3.00 mg · m<sup>-3</sup>) que en el PNN Tayrona-Guajira (BS = 4.10 ± 1.00; MO = 3.26 ± 0.81 mg · m<sup>-3</sup>). En la época lluviosa la región río Magdalena-CGSM tuvo menor concentración de biomasa seca (7.97 ± 4.30 mg · m<sup>-3</sup>) y de materia orgánica (7.03 ± 3.90 mg · m<sup>-3</sup>) con respecto a la región de PNN Tayrona-Guajira (BS = 16.12 ± 2.66; MO = 13.83 ± 2.36 mg · m<sup>-3</sup>). En la biomasa seca se presentaron diferencias significativas ni entre épocas ( $F_{(1,28)} = 1.93$ ,  $p = 0.17$ ) ni entre regiones ( $F_{(1,28)} = 0.01$ ,  $p = 0.91$ ) pero si entre la interacción entre épocas climáticas y las regiones ( $F_{(1,28)} = 8.49$ ,  $p = 0.007$ ). Igualmente, la materia orgánica presentó diferencias significativas (Anova de Welch,  $F_{(3,9,27)} = 5.86$ ;  $p = 0.01$ ) específicamente en la región PNN Tayrona-Guajira (prueba Games-Howell,  $p < 0.05$ ).

La BS y la MO tienen una alta correlación significativa ( $r_s = 0.97$ ;  $n = 32$ ;  $p < 0.01$ ) mostrando los mayores valores en la época lluviosa, específicamente en la región PNN Tayrona-Guajira (Figura 5).



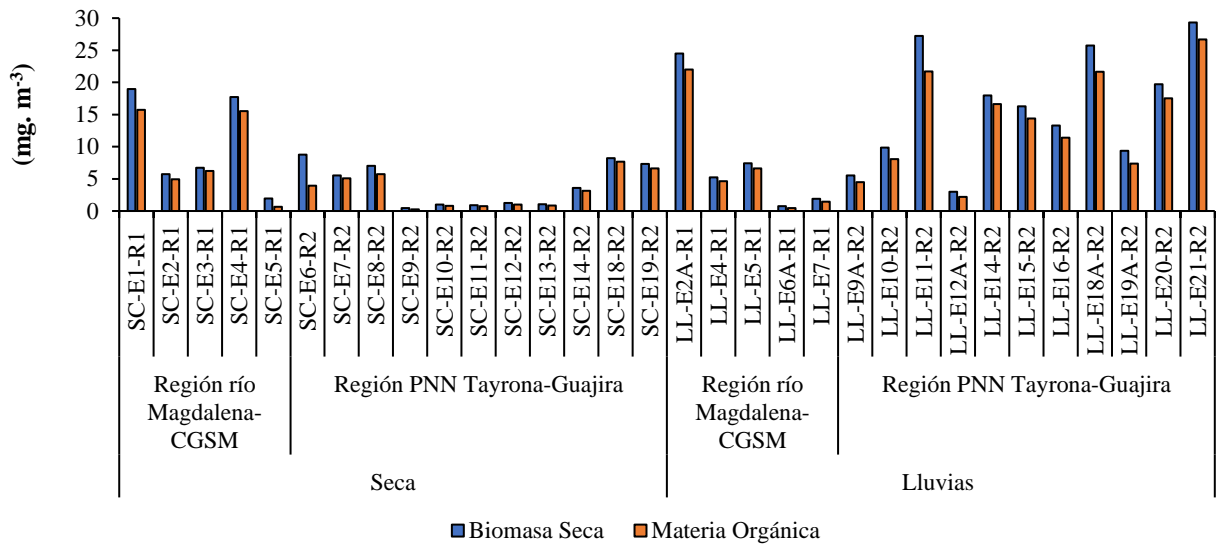


**Figura 4.** Abundancia relativa (%) y densidad de las familias-morfotipos en las muestras de las regiones y las épocas climáticas.

Los valores más bajos de la biomasa seca y la materia orgánica en la época seca fueron registrados en la región PNN Tayrona-Guajira estación E9 (0.43 y 0.24  $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$  respectivamente) y la estación E6A correspondiente a la región río Magdalena-CGSM (0.773 y 0.44  $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) en la época lluviosa. Mientras que los más elevados se observaron en la región río Magdalena-CGSM, estación E1 (18.96 y 15.72  $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) en la época seca y en la región PNN Tayrona-Guajira estación E21 (29.33 y 26.70  $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) en la lluviosa, coincidiendo con las menores y mayores densidades del estudio (Figura 5).

### Diversidad de especies

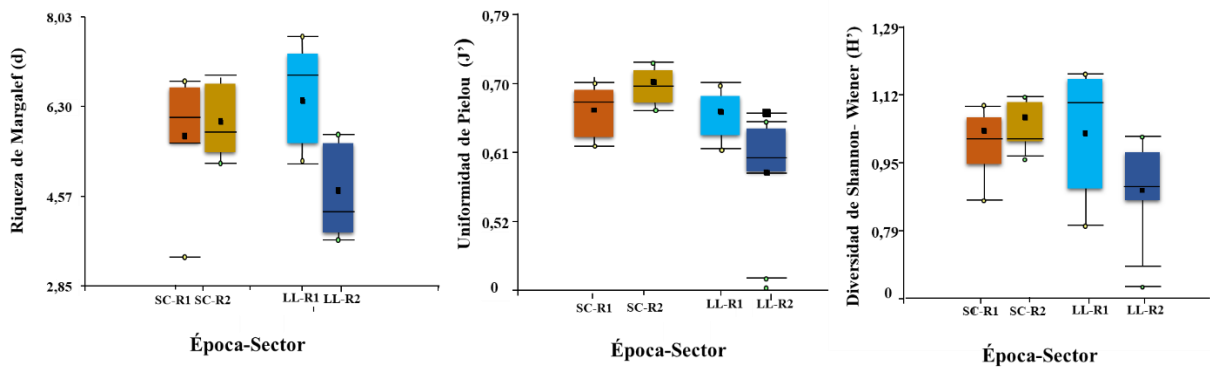
La riqueza de Margalef en la época seca en la región río Magdalena-CGSM ( $d = 5.71 \pm 0.61$ ) fue similar a la de PNN Tayrona-Guajira ( $d = 5.98 \pm 0.38$ ), mientras que en la lluviosa hubo mayor variación, presentándose la mayor riqueza en la región río Magdalena-CGSM ( $d = 6.41 \pm 1.13$ ) y la menor en la región PNN Tayrona-Guajira ( $d = 4.68 \pm 0.27$ ). Las estaciones con mayor riqueza del estudio fueron SC-E4-R1 ( $d = 6.88$ ;  $H' = 1.26$ ) y SC-E11-R2 ( $d = 8.88$ ;  $H' = 1.20$ ) (Figura 6).



**Figura 5.** Biomasa en las estaciones en las regiones y épocas climáticas. (R1: región río Magdalena-CGSM, R2: región PNN Tayrona-Guajira) y épocas climáticas (SC: seca, LL: lluvias)

La mayor uniformidad se presentó en la época seca en las regiones río Magdalena-CGSM y PNN Tayrona-Guajira ( $0.67 \pm 0.02$  y  $0.70 \pm 0.01$  respectivamente) en comparación con la época lluviosa ( $0.66 \pm 0.03$  y  $0.59 \pm 0.02$  respectivamente).

La diversidad tuvo una tendencia similar a la uniformidad, es decir, mayores valores en la época seca de la región PNN Tayrona-Guajira ( $H' = 1.06 \pm 0.03$  decits) en comparación con la lluviosa ( $0.90 \pm 0.03$  decits), mientras en la región río Magdalena-CGSM la época seca y lluviosa fueron similares ( $1.03 \pm 0.06$  y  $1.03 \pm 0.07$  decits respectivamente) (Figura 6).



**Figura 6.** Gráficos de cajas y bigotes de la riqueza de familias, uniformidad de Pielou y diversidad de Shannon-Wiener (decits) en las regiones (R1: región río Magdalena-CGSM, R2: región PNN Tayrona-Guajira) y épocas climáticas (SC: seca, LL: lluvias), se indica la mediana (línea horizontal dentro de la caja), media (punto negro dentro de la caja) y máximos y mínimos (línea vertical fuera de la caja).

### Patrón espaciotemporal en el ensamblaje zooplanctónico

En el dendrograma del análisis de clasificación todas las muestras tienen una similitud mayor al 40 % (Figura 7) y según el SIMPORG se conformaron siete grupos verdaderos y tres muestras aisladas, (LL-E20-R2, SC-E4-R1 y SC-E9-R2). El primer grupo está conformado en su mayoría por estaciones de la región 2 de la época seca. El segundo grupo comprende estaciones cercanas al río Magdalena en la época seca, una estación próxima a la Ciénaga Grande de Santa Marta y dos entre el río Mendihuaca y Palomino en la época lluviosa. El tercero, cuarto y sexto grupo, corresponden a pares de estaciones que coinciden espacial y temporalmente. En el quinto grupo se pueden evidenciar estaciones próximas a Riohacha en la época lluviosa y el séptimo grupo aglomera la mayoría de estaciones recolectadas en época seca entre el PNN Tayrona y Palomino, a excepción de la estación SC-E5-R1 que fue muestreada en cercanías de la CGSM, las pocas estaciones asociadas a este grupo se caracterizan por ser las que presentaron los menores valores de densidad y biomasa en todo el muestreo.

El SIMPER a un corte del 70 %, mostró que 20 familias fueron buenas discriminantes de la disimilitud entre épocas climáticas, con un promedio de disimilitud de 43.14 % (Tabla 3).

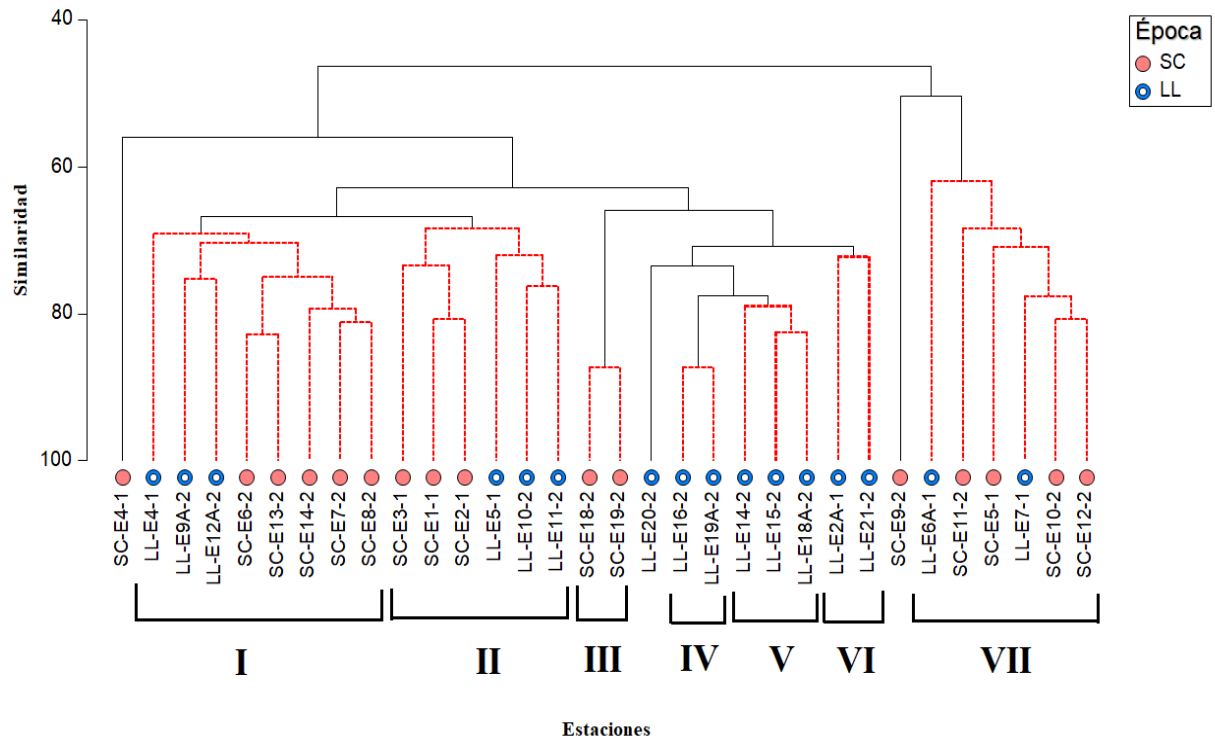
El PERMANOVA de dos factores no detectó diferencias significativas en el ensamblaje zooplanctónico ni entre regiones y ni entre épocas, aunque la probabilidad entre épocas climáticas es marginal (Tabla 3).

**Tabla 2.** Análisis de porcentaje de contribución (SIMPER). Familias que más contribuyen a la disimilitud entre el ensamblaje zooplanctónico y las dos épocas climáticas muestreadas. Disimilitud promedio ( $\bar{\delta}$ ) y desviación estándar (DE). \* Contribución mayor al 2 %.

Familia	Abundancia ( $\bar{x}$ ) Época seca	Abundancia ( $\bar{x}$ ) Época lluviosa	Consistencia $\bar{\delta}/DE$	Contribución (%). *	Contribución acumulada (%)
Temoridae	3.71	5.02	1.14	6.00	6.00
Paracalanidae	3.43	5.01	1.09	5.25	11.26
Oikopleuridae	2.27	3.66	1.37	4.44	15.70
Corycaeidae	4.14	4.83	1.21	4.40	20.10
Subeucalanidae	2.11	1.77	1.40	4.11	24.21
Clausocalanidae	3.15	2.57	1.26	3.88	28.09
Calanidae	3.77	3.08	1.13	3.81	31.90
Euchaetidae	2.34	2.56	1.35	3.71	35.61
Pontellidae	0.10	1.75	1.27	3.56	39.17
Sididae	0.79	1.44	1.21	3.50	42.67
Eucalanidae	0.22	1.71	1.36	3.38	46.05
Acartiidae	2.48	3.45	1.29	3.33	49.38
Sergestidae	1.05	1.51	1.11	3.20	52.58
Sagittidae	3.03	3.18	1.11	3.03	55.61
Podonidae	1.33	0.24	1.21	3.02	58.63
Oncaeidae	1.90	2.26	1.28	2.97	61.60
Luciferidae	1.02	1.36	1.21	2.94	64.54
Majidae	0.76	1.32	1.26	2.62	67.16
Oithonidae	2.18	1.96	1.32	2.52	69.68
Centropagidae	0.27	1.16	1.00	2.36	72.04

**Tabla 3.** PERMANOVA aplicado a la matriz de similitud de Bray-Curtis con base en la abundancia (transformación  $\log(x+1)$ ) de las familias-morfotipos del zooplancton para los factores región y época climática.

Fuente de variación	Grados de libertad	Media cuadrada	Pseudo-F	p
Época	1	2235.2	2.50	0.053
Región	1	1009.1	1.13	0.297
Época $\times$ Región	1	2208.8	2.47	0.062
Residual	28	891.55		
Total	31			



**Figura 7** Análisis de clasificación de las muestras en las épocas seca (SC) y lluviosa (LL), mediante el índice de similitud de Bray-Curtis y la técnica de ligamiento promedio. Datos transformados con  $\log(x+1)$  Coeficiente de correlación cofenético: 0.79.

### Relación entre el ensamblaje y las variables del agua marina

En cuanto a las variables fisicoquímicas, en la época seca se presentaron aguas típicas de afloramiento, con temperaturas más bajas (25.15 a 27.77 °C) y altas salinidades (36.55 a 38.12), comparado con la época de lluvias, donde las aguas fueron más cálidas (24.97 a 28.63 °C) y menos salinas (35.54 a 37.54). Se evidenció que la dinámica espacial de las variables fisicoquímicas estuvo relacionada con la temperatura y la salinidad, siendo la primera la más relevante. De esta forma, las estaciones ubicadas al noreste (región PNN Tayrona-Guajira) presentaron aguas superficiales más frías y salinas, en relación a las estaciones localizadas hacia el suroeste (región río Magdalena-CGSM). las mayores concentraciones de oxígeno disuelto se obtuvieron en la época seca especialmente en la región río Magdalena-CGSM. En cuanto a los nutrientes inorgánicos medidos en época lluviosa, los nitritos-nitratos y silicatos registraron concentraciones altas en la región río Magdalena-CGSM, en contraste a lo evidenciado con el amonio, el cual, registró mayores valores en la segunda región. Los sólidos suspendidos totales tuvieron la misma tendencia observada con los nitritos-nitratos y silicatos. La clorofila *a* registró mayores concentraciones en la época lluviosa ( $0.40 \pm 0.10 \text{ mg} \cdot$

$\text{m}^{-3}$ ), principalmente en la región PNN Tayrona-Guajira ( $0.48 + 0.14 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ), en comparación a lo reportado en la época seca (Tabla 4).

Las variables que mejor se asociaron con el ensamblaje zooplanctónico en las dos épocas climáticas fueron el oxígeno disuelto y la salinidad, con una correlación baja, aunque significativa (BIOENV,  $\rho_w = 0.209$ ;  $p = 0.002$ ) y esto se da de manera consistente a través de las reiteraciones del análisis (Tabla 6). Se presentaron diferencias significativas entre las épocas climáticas del oxígeno disuelto (Anova 2-vías,  $F_{(1,28)} = 22.66$ ,  $p = 1 \cdot 10^{-3}$ ) pero no entre las regiones (Anova 2-vías,  $F_{(1,28)} = 1.39$ ,  $p = 0.24$ ) ni entre las interacciones (Anova 2-vías, Época-Región:  $F_{(1,28)} = 0.57$ ,  $p = 0.45$ ). Igualmente, la salinidad presentó diferencias significativas (Anova de Welch,  $F_{(3,12-06)} = 15.19$ ;  $p = 2 \cdot 10^{-3}$ ) específicamente entre las dos regiones en época lluviosa (Games-Howell,  $p < 0.05$ ) y entre la interacción entre las regiones y las épocas climáticas (Games-Howell,  $p < 0.05$ ).

El Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) evidencia en el eje I que la mayoría de las estaciones de la época seca (principalmente de la región 2) se asociaron al oxígeno disuelto, mientras que la salinidad se relacionó mejor con nueve estaciones de la época lluviosa (2 de la región 1 y 7 de la región 2) y dos de la época seca (región 2), concentrando para este eje el 40 % de las familias analizadas. En el eje II se observaron el 60 % de las familias, las estaciones restantes de la época lluviosa (3 de la región 1 y 4 de la región 2) se relacionaron con la clorofila *a* y finalmente las cuatro estaciones faltantes de la época seca (3-región 1; 1-región 2) se asociaron a la temperatura. Las estaciones que se encuentran en las partes más extremas corresponden a puntos próximos al río Magdalena (LL-E2A-1) y a la Ciénaga Grande de Santa Marta (SC-E4-1) (Figura 9).

**Tabla 4.** Medidas descriptivas generales de las variables fisicoquímicas para el Caribe norte colombiano. Los valores de cada variable corresponden a el promedio + error estándar en la primera línea, el valor mínimo y el máximo entre paréntesis en la segunda línea y el coeficiente de variación en la tercera línea. OD: oxígeno disuelto, Temp: temperatura, NO<sub>3</sub>-NO<sub>2</sub>: nitritos y nitratos, NH<sub>4</sub>: amonio, SiO<sub>2</sub>: sílice y SST: solidos suspendidos totales.

Variable	OD (mg/L)	Presión (PSI)	Salinidad	Temp. (°C)	Clorofila <i>a</i> (mg · m <sup>-3</sup> )	NO <sub>3</sub> -NO <sub>2</sub> (µg · L <sup>-1</sup> )	NH <sub>4</sub> (µg · L <sup>-1</sup> )	SiO <sub>2</sub> (µg · L <sup>-1</sup> )	SST (Mg · L <sup>-1</sup> )
Río Magdalena-CGSM/Seca (n = 5)	6.3 ± 0.08 (6.25-6.44) 2.8 %	3.03 ± 0.15 (2.55-3.487) 11.3 %	36.67 ± 0.04 (36.55-36.78) 0.28 %	27.46 ± 0.12 (27.03-27.77) 1.05 %	0.20 ± 0.05 (0-0.33) 61.40 %	-	-	-	-
PNN Tayrona-Guajira/Seca (n = 11)	6.2 ± 0.05 (5.93-6.54) 2.93 %	3.58 ± 0.14 (2.91-4.46) 13.58 %	37.27 ± 0.12 (36.68-38.12) 1.12 %	26.81 ± 0.22 (25.15-27.63) 2.75%	0.26 ± 0.6 (0-0.56) 72.71 %	-	-	-	-
Río Magdalena-CGSM/Lluvias (n = 5)	5.93 ± 0.05 (5.74-6.05) 2.06 %	3.10 ± 0.10 (2.88-3.47) 7.36 %	36.43 ± 0.36 (35.54-37.22) 2.20%	27.98 ± 0.22 (27.26-28.46) 1.82 %	0.33 ± 0.16 (0-0.78) 99.65 %	5.6 ± 1.29 (3.5-9.3) 51.81 %	35.76 ± 5.64 (25-50) 35.30 %	350.2 ± 213.78 (44-1189) 136.50 %	12.37 ± 5.65 (0.69-32.5) 102.16 %
PNN Tayrona-Guajira/Lluvias (n = 11)	6.05 ± 0.04 (5.85-6.39) 2.64 %	3.10 ± 0.15 (2.54-4.18) 16.55 %	37.26 ± 0.07 (36.92-37.54) 0.66 %	26.95 ± 0.40 (24.97-28.63) 4.93 %	0.48 ± 0.14 (0-0.85) 80.56 %	3.54 ± 0.04 (3.5-4) 4.25 %	36.02 ± 9.67 (10-93.8) 89.03 %	246.72 ± 52.24 (39-682) 70.23 %	7.32 ± 1.05 (3.66-14.8) 47.58 %

**Tabla 5.** Variables abióticas mejor correlacionadas según The Best (BIOENV) con el ensamblaje zooplanctónico.

$\rho_w$	Oxígeno disuelto (mg/L)	Saturación de Oxígeno (%)	Salinidad	Temperatura (°C)
0.209	x		x	
0.195	x	x	x	
0.191	x			x
0.189	x		x	x
0.185	x			
0.184	x		X	x
0.184	x	x	X	x
0.173		x	X	
0.164			X	
0.239	x		X	x





mientras que el eje II explica el 30.8 %. Familias: **Tem:** Temoridae, **Cor:** Corycaeidae, **Par:** Paracalanidae, **Cal:** Calanidae, **Oik:** Oikopleuridae, **Sag:** Sagittidae, **Cla:** Clausocalanidae, **Aca:** Acartiidae, **Euch:** Euchaetidae, **Oit:** Oithonidae, **Onc:** Oncaeidae, **Sub:** Subeucalanidae, **Pod:** Podonidae, **Ser:** Sergestidae, **Euc:** Eucalanidae, **Sid:** Sididae, **Luc:** Luciferidae, **Lim:** Limacinidae, **Sco:** Scolecitrichidae, **Pon:** Pontellidae, **Maj:** Majidae, **Pen:** Penaeidae, **Atl:** Atlantidae, **Hal:** Halocypridae, **Aug:** Augaptilidae, **Mem:** Membraniporidae, **Cen:** Centropagidae, **Alp:** Alpheidae, **Mir:** Miraciidae, **Cav:** Cavoliniidae, **Can:** Candaciidae, **Mys:** Mysidae, **Luc:** Lucicutidae, **Hol:** Holothuridae, **Glo:** Globigerinidae, **Por:** Portunidae, **Call:** Callanassidae, **Sap:** Sapphirinidae, **Alb:** Albuneidae, **Pag:** Paguridae, **Rhi:** Rhincalanidae, **Dol:** Doliolidae, **Spi:** Spionidae, **Porc:** Porcellanidae, **Ran:** Raninidae, **Canc:** Cancridae, **Squ:** Squillidae, **Hyp:** Hyperiididae, **Ate:** Atelecyclidae, **Lub:** Lubbockiidae, **Pal:** Palaemonidae, **Met:** Metridinidae, **Clu:** Clupeidae, **Dip:** Diphyidae, **Eup:** Euphausiidae.

## DISCUSIÓN

El ensamblaje zooplanctónico en el Caribe norte colombiano en las dos épocas climáticas estuvo conformado por organismos neríticos con una amplia distribución en aguas tropicales y subtropicales (Bernal y Zea, 2000; Boxshall y Halsey, 2004; Invemar-ANH, 2010).

Las clases Hexanauplia y Malacostraca fueron las que presentaron la mayor riqueza de familias coincidiendo con lo reportado por Invemar (1998), Franco-Herrera *et al.* (2006), ANADARKO y AQUABIOSFERA (2015) Medellín-Mora *et al.* (2018). La clase Hexanauplia está representada principalmente por la subclase Copépoda que se caracteriza por ser un grupo taxonómico diversificado, en cuanto a hábitos alimenticios, diversidad morfológica y distribución biogeográfica, es abundante en todos los ambientes acuáticos (costeros, oceánicos y ciénagas), llegando a conformar el 90 % del total de la biomasa zooplanctónica y se presenta en todas las latitudes (Boltovskoy, 1981; Campos-Hernández y Suárez-Morales, 1994; Vives y Shmeleva, 2007; Suthers y Rissik, 2009). Las especies de hexanauplios constituyen uno de los principales consumidores tanto de fitoplancton como del componente microbiano, convirtiéndose consecuentemente en la fuente principal de alimento para los niveles tróficos superiores, como el ictioplancton y la fauna de filtradores bentónicos, adquiriendo notable importancia en las tramas tróficas acuáticas (Todd *et al.*, 1996; Martínez-Barragán *et al.*, 2009; Landaeta *et al.*, 2011; Jaimes y López, 2014). Las familias de copépodos más conspicuas fueron Acartiidae, Calanidae, Clausocalanidae, Euchaetidae, Paracalanidae, Subeucalanidae y Temoridae (calanoideos) y Corycaeidae (cyclopoideos), siendo familias reportadas en distintos estudios en el área de estudio (Medellín-Mora y Navas, 2010; Medellín-Mora y Martínez-Ramírez, 2010; Medellín-Mora *et al.*, 2018).

La clase Malacostraca se encuentra conformada por estadios larvales como zoeas, megalopas y misis, que constituyen una importante fracción del meroplancton, agrupando la mayoría de las familias registradas en

el Caribe colombiano. Teniendo en cuenta el ciclo de vida (estos organismos se reproducen en ambientes costeros, desovan en zonas profundas e inician su fase larval en el plancton), la presencia y abundancia de estas larvas es mayor en las zonas neríticas, debido a que gran parte de los adultos habitan esas regiones (Gasca y Suárez-Morales, 1996; Williamson y Rice, 1996; Koettker *et al.*, 2012; Martín *et al.*, 2014). La mayoría no solo realizan movimientos horizontales, sino también migraciones verticales asociadas a la evasión de depredadores y a la búsqueda de alimento (Campos *et al.*, 2003).

Las familias más abundantes en ambas épocas climáticas y regiones fueron Temoridae y Corycaeidae, coincidiendo con lo reportado por Medellín-Mora *et al.* (2018). La familia Temoridae del orden Calanoida (1.0-1.8 mm), se puede encontrar en aguas costeras y oceánicas, estuarios y lagunas hipersalinas con salinidad variable y temperatura de 14 a 32 °C. Son considerados un importante controlador de las densidades de fitoplancton y presentan una migración vertical variable dependiendo de las condiciones bióticas y abióticas del medio. En general son considerados copépodos omnívoros, siendo las diatomeas su principal fuente de alimento (Boxshall y Halsey, 2004; Johnson y Allen, 2005).

La familia Corycaeidae, del orden Cyclopoida (0.7-1.3 mm), agrupa a un conjunto de copépodos planctónicos que habitan principalmente en la zona epipelágica de todos los océanos del mundo, aunque se han realizado registros en profundidades mesopelágicas o en zonas estuarinas de grandes sistemas fluviales (Johnson y Allen, 2005). Según Boltovskoy (1981), es una de las familias más representativas en aguas de plataforma y costeras con salinidad y temperatura mayores a 30 y a 15 °C respectivamente. Son considerados depredadores visuales que usan sus apéndices rapaces para capturar variedad de pequeños organismos y consumir fitoplancton cuando este es abundante (Campos- Hernández y Suárez-Morales, 1994; Boxshall y Halsey, 2004). Esta familia ha sido descrita en aguas neríticas entre la superficie y los 100 m de profundidad, y son referenciadas como unas de los principales filtradores de las comunidades de copépodos costeros-neríticos. Por esta razón, se puede explicar sus altas densidades en la época de lluvias en donde la disponibilidad de fitoplancton puede ser mayor por el incremento de nutrientes en el agua ocasionada por el aporte de aguas continentales y de escorrentía que benefician principalmente a las diatomeas. (Boltovskoy, 1981; Campos-Hernández y Suárez-Morales, 1994).

En la época lluviosa, específicamente en la región 2 se presentó la mayor densidad, biomasa seca y materia orgánica, en reflejo seguramente de focos de fertilización tanto por descarga continental como por afloramientos lo cual concuerda con lo reportado por Bernal y Zea (2000), Bernal *et al.* (2004) y Franco-Herrera *et al.* (2006).

Este comportamiento se puede atribuir al efecto de las descargas de los principales ríos que se encuentran en el departamento de La Guajira (e. g. Cañas, Jerez, Palomino, Ranchería, El Cesar, Camarones, Tapias y Ancho) y el Magdalena (e. g. río Magdalena, Don Diego, Buritaca, Guachaca, Piedras, Mendihuaca, Manzanares, Córdoba y la Ciénaga Grande de Santa Marta) (Invemar, 2016; Invemar, 2017). Esto se debe a que el aporte de aguas continentales trae consigo un incremento en la entrada de nutrientes como el nitrógeno inorgánico y los fosfatos, que, si bien el zooplancton no asimila de manera directa, si beneficia a los productores primarios agrupados en el fitoplancton, que se constituye en su principal fuente alimenticia (Boltovskoy, 1981; Bernal *et al.*, 2004). Además de esto, hay que tener en cuenta que el departamento de La Guajira se presenta una surgencia tropical costera permanente, ocasionada por la amplia plataforma submarina de aguas someras, la disposición de la costa irregular en dirección noreste-sureste y la incidencia paralela de los vientos alisios, lo que provoca una fuerte divergencia en el transporte de Ekman (Cabrera y Donoso, 1993). Esta surgencia está presente a lo largo del año, sin embargo, se intensifica dependiendo la variación en la intensidad de los vientos alisios (Andrade, 2000), por ende, aunque en época seca se presenta la surgencia más activa, el enriquecimiento biológico por el afloramiento de la masa de agua subtropical subsuperficial es constante (Corredor, 1979; Cabrera y Donoso, 1993; Ciales- Hernández *et al.*, 2006), trayendo consigo de manera permanente nutrientes a la superficie, los cuales también benefician las comunidades planctónicas del sector. Estas densidades y biomasa se presentan en asociación con altos valores de clorofila *a* registrados en esta época ( $0.876 \text{ mg} \cdot \text{m}^3$ ), indicativos de gran abundancia de fitoplancton (Franco-Herrera *et al.*, 2006). Las características anteriormente mencionadas demuestran así la alta productividad de la zona, lo cual corrobora la mayor biomasa y diversidad zooplanctónica encontrada, sin embargo, no hay datos principalmente en el departamento de La Guajira para sustentar o contradecir lo encontrado.

En cuanto la diversidad de especies, específicamente las medidas de uniformidad de Pielou y diversidad de Shannon-Wiener coinciden con lo reportado en diferentes investigaciones realizadas en la zona de estudio (Tabla 7). Las diferencias espaciotemporales que se registraron, presentándose los menores valores en la época lluviosa se pueden deber al aporte de aguas continentales (i. e. incremento en sólidos suspendidos y mayor aporte de nutrientes) que genera un cambio en las comunidades, favoreciendo así, el aumento de algunas familias, como Acartidae, Euchaetidae, Corycaeidae, Paracalanidae y Temoridae (Hexanauplia), Oikopleuridae (Appendicularia), Sididae (Branchiopoda) y Sagittidae (Sagittoidea) que generalmente son tolerantes a estas condiciones, lo cual se ve reflejado en la disminución de uniformidad y diversidad del ensamblaje zooplanctónico en esta época climática (Margalef, 1972; Leyva, 2001; Rodríguez-Fierro, 2013). En la época seca se evidencia una mayor homogenización de las características del agua al romper la termoclina, provocando un flujo constante de aguas marinas, las cuales suelen ser ricas en especies, ya que

eventos biológicos entre especies de varios niveles de profundidad pueden presentarse sin barreras físicas que lo impidan, lo que genera una mayor uniformidad y diversidad de familias en la comunidad planctónica (Bernal y Zea, 2000; Medellín-Mora *et al.*, 2018); demostrando así, la gran capacidad que tiene este ecosistema costero para sobrellevar alteraciones, sin modificar drásticamente las características estructurales de la comunidad (Krebs, 1986; Odum, 1992), al menos a nivel supraespecífico.

**Tabla 6.** Comparación de índices de diversidad con estudios históricos en el Caribe norte colombiano.

Estudios	S	H' (ln)	J'
León (2004)	4	0.08	0.03
López-Céron (2009)	30	2.40	0.74
Rodríguez-Fierro (2013)	11	1.33	0.56
Presente estudio	35	1.00	0.64

Las condiciones oceanográficas en el norte del Caribe colombiano están fuertemente asociadas al régimen de vientos y al movimiento de la ZCIT (Bula-Meyer, 1990; Franco-Herrera, 2005; Andrade, 2015). En general, se evidenció que la dinámica y la estructura hidrográfica de la región estuvieron vinculadas a los eventos de surgencia durante la época seca y al mayor aporte fluvial de agua dulce, producto de las fuertes precipitaciones durante la época de lluvias. En la época seca se presentaron las características de la surgencia, reflejado en menores temperaturas superficiales, mayores salinidades, aguas más claras y una baja precipitación, principalmente en la región PNN Tayrona-Guajira. Asimismo, la época lluviosa, presentó aguas superficiales más cálidas y de menor salinidad, producto de las frecuentes precipitaciones que conllevan a un mayor aporte de agua dulce, especialmente en la región río Magdalena-CGSM. Todos los valores registrados fueron similares a los encontrados en otras investigaciones para la época seca y lluviosa (Ramírez, 1983; Franco-Herrera, 2005; García-Hoyos *et al.*, 2010; Mancera-Pineda *et al.*, 2013; Andrade, 2015; Bastidas *et al.*, 2016).

En cuanto a la calidad del agua, los valores registrados para el oxígeno disuelto, indican que su concentración es la adecuada para el desarrollo de la fauna marina, considerando el límite inferior establecido según el Decreto 3930 de 2010 de 4 mg/L (MinSalud, 2010). Igualmente, los sólidos suspendidos totales, se encuentran dentro de la categoría de aguas óptimas de acuerdo con CONAGUA (2015), cuyos valores fueron inferiores a 75 mg/L. La dinámica de los nutrientes presenta una mayor complejidad, ya que está determinada por el efecto conjunto de factores físicos, químicos, geológicos y biológicos (Franco-Herrera, 2005). Asimismo, durante la época de lluvias, aumenta la cantidad de nutrientes que ingresan al mar, debido al lavado de los suelos que arrastran sustancias como fertilizantes, abonos,

excrementos, sedimentos y desechos (Pennock y Sharp, 1994). En general, la mayor concentración de nutrientes se presentó en la primera región, en las cercanías de las del río Magdalena, el cual recibe efluentes procedentes de múltiples fuentes a lo largo de su curso y donde hay vertimientos constantes de aguas residuales domésticas, industriales y escorrentías agrícolas (Restrepo y Kjerfve, 2000; Restrepo *et al.*, 2006). El aumento de nitritos-nitratos, sílice y amonio puede ser una respuesta a las descargas continentales, siendo evidencia del posible impacto de las actividades socioeconómicas de la región (e. g. agricultura, emisario submarino, residuos sólidos, usos del suelo, transporte terrestre de carbón, actividades industriales, marítimas y portuarias), en el medio marino (Franco-Herrera, 2005).

En los ecosistemas marinos, la densidad del fitoplancton puede influenciar la diversidad del zooplancton, o viceversa, y ambos pueden ser afectados por los factores medioambientales (Bjornberg, 1971). La calidad marina es a menudo identificada como el principal factor que influye en la dinámica del plancton con base en las variables fisicoquímicas -pH, salinidad, temperatura y nutrientes- y biológicas -depredadores y presas- (Margalef, 1972; Nasrollahzadeh *et al.*, 2008; Chou *et al.*, 2012). Para este estudio las variables que mejor se relacionaron el comportamiento del ensamblaje fueron el oxígeno disuelto y la salinidad.

El oxígeno disuelto es una variable esencial para la vida acuática, principalmente en los procesos de fotosíntesis, solubilidad de minerales, descomposición de materia orgánica y procesos de oxidación-reducción, su interacción con otros factores como la salinidad, temperatura, procesos de mezcla y el desenlace de procesos biológicos, se vuelven fundamentales para la supervivencia y establecimiento de la comunidad planctónica (APHA *et al.*, 2005; Medellín-Mora *et al.*, 2018). Las variaciones en la disponibilidad de este gas y los límites de tolerancia de las especies zooplanctónicas determinan el establecimiento y mantenimiento de los ensamblajes (Andrews *et al.*, 2004; Apablaza y Palma, 2006; Chou *et al.*, 2012).

La salinidad es un factor abiótico importante que se encarga de regular la estructura espacial de la comunidad planctónica. Se ha reportado que especies de zooplancton se pueden agrupar dependiendo del rango de salinidad que toleren (Parson *et al.*, 1984), ya que esta, puede ser determinante para su fisiología, reproducción, morfología, distribución y comportamiento (Smith y Vidal, 1984; Wooldridge, 1999; Sridhar *et al.*, 2006; Ramdani *et al.*, 2009; Akbulut y Tavsanoğlu, 2018).

## CONCLUSIONES

El ensamblaje zooplanctónico en el Caribe norte colombiano para las épocas climáticas típicas de la región estuvo conformado por organismos típicos de aguas nerítico costeras registradas para el Caribe colombiano, dominadas por las clases Hexanauplia (copépodos) y Malacostraca (larvas de decápodos)

No se evidenciaron variaciones significativas en la composición relativa de familias asociadas a las épocas climáticas y las regiones determinadas.

Las altas densidades y biomásas registradas en la época lluviosa específicamente en la región entre el PNN Tayrona y La Guajira se puede deber al aporte de aguas continentales por los ríos que se encuentran en los departamentos y a la influencia de la surgencia permanente de La Guajira.

Las variables fisicoquímicas que mejor se asociaron al comportamiento espaciotemporal del ensamblaje fueron el oxígeno disuelto y la salinidad, corroborando la importancia de estas variables en la estructura del ensamblaje zooplancton.

## AGRADECIMIENTOS

Principal agradecimiento a la entidad operadora COLCIENCIAS, a las gobernaciones del Magdalena y La Guajira por el financiamiento, al grupo de investigación Dinámica y Manejo de Ecosistemas Marino-Costeros (DIMARCO) de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano por el apoyo en la ejecución de este estudio, a mis directores por el constante acompañamiento personal y profesional y finalmente a mis padres por ser mi ejemplo a seguir. Esta tesis se llevó a cabo en el marco del proyecto “Productividad y calidad ambiental marina del Caribe norte colombiano como ejes para el desarrollo regional de los departamentos del Magdalena y La Guajira: análisis a partir del acople de los componentes atmosférico, oceanográfico y biológico” (código No. 120274859287, CT-075-2017), el cual fue operado por COLCIENCIAS y financiado por las gobernaciones del Magdalena y La Guajira.

## BIBLIOGRAFÍA

- Akbulut, N.E and Tavsanoglu, U.N. 2018. Impacts of environmental factors on zooplankton taxonomic diversity in coastal lagoons in Turkey. *Turk J Zool.* 42:68-78.
- ANADARKO y AQUABIOSFERA. 2015. Caracterización ambiental del bloque Purple Angel. Caribe colombiano. AQUABIÓSFERA S.A.S para ANADARKO Colombia Company Sucursal Colombia y ANADARKO Petroleum Company. Bogotá. D.C, 353 p + anexos.

- Andrade, C.A. 2000. The circulation and variability of the Colombian basin in the Caribbean Sea. Dr. Thesis, University of Wales, Alberta, Canada. 223 p.
- Andrade, C. A. 2015. Oceanografía dinámica de la cuenca de Colombia. Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla, Cartagena de Indias. 202 p.
- Andrews, J., P. Brimblecombe., T. Jickells., P. Liss and B. Reid. 2004. An introduction to environmental chemistry. Oxford: Blackwell Publishing. USA, 318 p.
- Apablaza, P y S. Palma. 2006. Efecto de la zona de mínimo oxígeno sobre la migración vertical de zooplancton gelatinoso en la bahía de Mejillones. Invest. Marinas. 34:81-95.
- APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association) y WEF (Water Environment Federation). 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21 ed. United States of America. 981 p.
- Arévalo-Martínez, D.L y A. Franco-Herrera. 2008. Características oceanográficas de la surgencia frente a la ensenada de Gaira. departamento del Magdalena. época seca menor de 2006. Bol. Invest. Mar. Cost, 37: 131-162.
- Bastidas, M., S. Ordóñez y C. Ricaurte. 2016. Eventos de intensificación y relajación del viento en la bahía de Santa Marta (Caribe colombiano): implicaciones oceanográficas. Bol. Invest. Mar. Cost., 45 (2): 181-196.
- Beaugrand, G. 2005. Monitoring pelagic ecosystems using plankton indicators. J. Mar. Sci, 62: 333-338.
- Begon, M., C.R. Townsend and J. Harper. 2006. Ecology: from individuals to ecosystems. Blackwell publishing. USA. 759 p.
- Bernal, A.R. 1990. Variaciones nictemerales del zooplancton y su relación con factores ambientales en la bahía de Santa Marta. Caribe colombiano. Tesis de grado para optar al título de biólogo. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 62 p.
- Bernal, A.R. 1994. Aspectos ecológicos de la comunidad de zooplancton nerítico en el departamento del Magdalena. mar Caribe colombiano. Trabajo para optar al título de biólogo marino. Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta, 72 p.
- Bernal, A. 2000. Die Struktur der Zooplankton gemeinschaft im neritischen Bereich des kolumbianischen karibischen Meeres. Disertación para optar al grado de Dr. der. Nat., Justus-Liebig-Universität Gießen. Fach- verlag Kohler, Giessen, Alemania, 142 p.
- Bernal, A y S. Zea. 2000. Estructura de la comunidad de zooplancton en condiciones de descarga continental y de afloramiento costero en Santa Marta. Caribe colombiano. Bol. Invest. Mar. Cost, 29:3-26.
- Bernal, A., B. Werding y S. Zea. 2004. Variación espacial y temporal de biomasa zooplanctónica en el sector nerítico del mar Caribe colombiano. Red de estudios del mundo marino. REMAR: Contribuciones en

- Ciencias del Mar en Colombia. Investigación y Desarrollo de Territorios Promisorios. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 187-196.
- Bjornberg, T. K. 1971. Distribution of plankton relative to the general circulation system in the area of the Caribbean Sea and adjacent regions. UNESCO-FAO symposium on investigations and resources of the Caribbean Sea and Adjacent regions. Curacao, UNESCO. Paris. 343-355.
- Boltovskoy, D. 1981. Atlas del zooplancton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino. Publicación Especial del INIDEP. Mar del Plata, Argentina. 936 p.
- Boxshall, G and S. Halsey. 2004. An introduction to copepod diversity. Part II. The Ray Society. London. 968 p.
- Bula-Meyer, G. 1990. Oceanografía. 100-114. En: Jimeno, M. J. (Ed.). Caribe colombiano. Fondo FEN Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 264 p.
- Cabrera, E. y M.C. Donoso. 1993. Estudio de las características oceanográficas del Caribe colombiano Región III, Zona 1, PDCTM. Bol Cient. CIOH 13: 19-32.
- Campos-Hernández, A y Suárez-Morales, E. 1994. Copépodos pelágicos del Golfo de México y Mar Caribe: I. biología y Sistemática. Regina de los Ángeles S.A. México D.F. 357 p.
- Campos, N., R. Lemaitre y G. Navas. 2003. La fauna de crustáceos decápodos de la costa Caribe colombiana: Un aporte al conocimiento de la biodiversidad en Colombia. Unibiblios, Bogotá. 372 p.
- Cepeda, A. 2007. Comunidad zooplanctónica en el sistema de surgencia de la Ensenada de Gaira. Santa Marta. Caribe colombiano. Trabajo para optar al título de biólogo marino. Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, 58 p.
- Chollett, I., P.J. Mumby., F.E. Muller-Karger and C. Hu. 2012. Physical environments of the Caribbean Sea. *Limnol. Oceanogr.* 57: 1233-1244.
- Chou, W.R., L.S. Fang., W.H. Wang and K.S. Tew. 2012. Environmental influence on coastal phytoplankton and zooplankton diversity: a multivariate statistical model analysis. *Environ. Monit. Assess.* 184: 5679-5688.
- CONAGUA. 2015. Monitoreo calidad del agua: escalas de clasificación de la calidad del agua superficial. Comisión Nacional del Agua, México. Disponible en: <http://files.conagua.gob.mx/transparencia/CalidaddelAgua.pdf>.
- Clarke, K.R and R.M. Warwick. 2001. Change marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation. 2nd Ed. PRIMER-E Ltd. Plymouth Marine Laboratory, 165 p.
- Clarke, K. R., J. R. Tweedley y F. J. Valesini. 2014 a. Simple shade plots aid better long-term choices of data pre-treatment in multivariate assemblage studies. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 94(1): 1-16



- Clarke, K.R., R.N. Gorley., P.J. Somerfield and R.M. Warwick. 2014 b. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation, 262 p.
- Criales- Hernández, M.I., C.B, Garcia y M. Wolff. 2006. Flujos de biomasa y estructura de un ecosistema de surgencia tropical en La Guajira, Caribe colombiano. *Rev. Biol. Trop.* 54: 1257-1282.
- Corredor, J.E. 1979. Phytoplankton response to low level nutrient enrichment through upwelling in Columbian Caribbean Basin. *Deep-Sea Research* 26A: 731-741.
- Del Real Martínez, E. 1970. Contribución al conocimiento y estudio del zooplancton del Caribe colombiano. Tesis de grado para optar al título de biólogo. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 75 p.
- DINAMA. 1996. Manual de procedimientos. Ministerio de Vivienda. Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, 174 p.
- Escribano, R y L. Castro. 2004. Plancton y Productividad. 289-295. En: Werlinger. C. *Biología Marina y Oceanografía: Conceptos y Procesos*. Universidad de Concepción. Trama impresiones S.A. Chile, 700 p.
- Franco-Herrera, A. 2005. Oceanografía de la ensenada de Gaira –El Rodadero-, más que un centro turístico en el Caribe colombiano. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta. 58 p.
- Franco-Herrera, A. 2006. Variación estacional del fitoplancton y mesozooplancton e impacto de herbívora de *Eucalanus subtenuis*. Giesbrecht. 1888 (Copépoda: Eucalanidae) en el Caribe colombiano. Tesis doctoral en Oceanografía. Facultad de ciencias biológicas. Universidad de Concepción. Chile, 125 p.
- Franco-Herrera, A., L.R, Castro and P. Tigreros. 2006. Plankton dynamics in the south central Caribbean Sea, strong seasonal changes in a tropical system. *Caribbean Journal of Science*. 42(1): 21-38.
- Garay-Tinoco, J., T. Ramírez., P. Betancourt., S. Marín., L. Cadavid., I. Panizzo., J. Lesmes., S. Sánchez., H. Lozano y A. Franco. 2003. Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos: Aguas, sedimentos y organismos. Serie Documentos Generales. Programa de calidad ambiental CAM. Invemar. 13, 177 p.
- García-Álzate, C.A., C. Román-Valencia., J.A. Vanegas-Ríos y D.K. Arcila-Mesa. 2007. Análisis fisicoquímico y biológico comparado en dos quebradas de alta Montaña Neotropical. *Revista de Investigaciones de la Universidad del Quindío*, 1: 57-80.
- García-Hoyos, L., A. Franco-Herrera, J. Ramírez-Barón y D. López-Cerón. 2010. Dinámica océano-atmósfera y su influencia en la biomasa fitoplanctónica, en la zona costera del departamento del Magdalena, Caribe colombiano. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 39 (2): 307-335.
- Gasca, R. y E. Suárez-Morales. 1996. (Eds.). Introducción al estudio del zooplancton marino. El Colegio de la Frontera Sur Ecosur/CONACYT. México, 711 p.

- Giraldo, A y E. Gutiérrez. 2007. Composición taxonómica del zooplancton superficial en el Pacífico colombiano (septiembre 2003). *Invest. Mar.*, Valparaíso. 35:117-122.
- Greenberg, A., L.S. Clesceri and A.D. Eato. 1992. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. (18th edition). American public health association, United States of America, 10-17 p.
- Heidelberg, K., S. Kenneth and J. Purcell. 2004. Composition and sources of near reef zooplankton on a Jamaican fore reef along with implications for coral feeding. *Coral Reefs*, 23: 263-276.
- Invemar. 1988. Diagnóstico de las comunidades marinas de la bahía de Portete. análisis de efectos reales por la construcción y operación de las instalaciones portuarias. Santa Marta, Colombia, 128 p.
- Invemar. 2003. Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos (Aguas, sedimentos y organismos). Invemar. Santa Marta, Colombia, 144 p.
- Invemar-ANH. 2010. Especies, ensamblajes y paisajes de los bloques marinos sujetos a exploración de hidrocarburos – Fase II. Caracterización de la megafauna y el plancton del Caribe colombiano. Santa Marta. Informe técnico final Invemar-ANH Fase II, 342 p.
- Invemar. 2016. Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia: Año 2015. Serie de Publicaciones Periódicas No.3. Santa Marta, Colombia, 186 p.
- Invemar. 2017. Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras en el Caribe y Pacífico colombianos: Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM: Informe técnico 2016. Serie de Publicaciones Periódicas del Invemar. Santa Marta, Colombia, 260 p.
- Jaimes, J y R. López. 2014. Biomasa y abundancia de Copépoda (Crustacea) en aguas superficiales del océano Pacífico colombiano durante septiembre de 2007. *Rev Biol Mar Oceanogr*. 49: 31-41.
- Johnson, W and D. Allen. 2005. *Zooplankton of the Atlantic and Gulf coasts: A guide to their identification and ecology*. The Johns Hopkins University press, United States of America, 379 p.
- Koettker, A. G., P. Y. Sumida, R.M. Lopes and A.S. Freire. 2012. Illustrated key for the identification of the known zoeal stages of brachyuran crabs (Crustacea: Decapoda) from tropical and subtropical Brazil, southwestern Atlantic. *Zootaxa.*, 3204: 1-19.
- Krebs, C. 1986. *Ecología: Análisis experimental de la Distribución y la Abundancia*. Pirámide, Madrid, España. 729 p.
- Landaeta, M., J. Contreras y C. Bustos. 2011. Fiordos de Chile: Potenciales zonas de crianza de *Bathylagichthys parini* (Pisces: Osmeriformes: Bathylagidae). *Rev Biol Mar Oceanogr*. 46: 67-71.
- Lavaniegos, B. 2015. Crustáceos planctónicos como indicadores de variabilidad climática y corrientes marinas. *Biondicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. México. D.F, 147-170.

- León, 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. Trabajo para optar al título de biólogo marino. Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, 119 p.
- Leyva, P. 2001. El medio ambiente en Colombia. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales, IDEAM, 543 p.
- López-Céron, D. 2009. Aspectos estructurales de la comunidad zooplancónica durante pulsos de surgencia/no surgencia costera en la región de Santa Marta, Caribe colombiano. Trabajo para optar al título de biólogo marino. Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, 175 p.
- López-Céron, D y A. Franco- Herrera. 2010. Zooplankton en la surgencia costera de la región de Santa Marta. Caribe colombiano. XIV Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar (SENALMAR), 578 p.
- Ludwig, J and J. Reynolds. 1998. Statistical ecology. A primer on methods and computing. New York. John Wiley & sons, 337 p.
- Mancera-Pineda, J. E., G. Pinto y S. Vilardy. 2013. Patrones de distribución estacional de masas de agua en la bahía de Santa Marta, Caribe colombiano: importancia relativa del upwelling y outwelling. Bol. Invest. Mar. Cost., 42 (2): 329-360.
- Margalef, R.G. 1972. Ecología Marina. Fundación la Salle de Ciencias Naturales. Editorial DOSSAT, S.A. Madrid, España. 711 p.
- Marino, S y J. Merchán. 1993. Estimación cuantitativa y descripción cualitativa del zooplankton del noroeste de La Guajira (Puerto estrella Punta espada) y su relación con parámetros fisicoquímicos del agua. Trabajo para optar al título de biólogo marino. Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, 217 p.
- Martínez-Barragán, M.P., A. Franco-Herrera., J. Medina-Calderón y A. Santos-Martínez. 2009. La comunidad de copépodos en las islas de provincia y santa catalina (Caribe colombiano) durante el periodo lluvioso (octubre) 2005. Bol. Investig. Mar. Cost, 30: 85-103.
- McCune, B and J. Grace. 2002. Analysis of Ecological Communities. MjM Software Desing. USA, 300 p.
- Medellín, D.C. 2005. Composición y distribución de larvas de crustáceos decápodos en el estado de zoea en el área Nororiental del Mar Caribe colombiano. Trabajo de grado para optar al título de biólogo marino. Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta, 77 p.
- Medellín-Mora, J., N. Campos., A. Franco-Herrera y J. Jaimes. 2009. Taxonomía de las larvas zoea de crustáceos decápodos del área Nororiental del mar Caribe colombiano. Bol. Invest. Mar. Cost, 38: 55-73.

- Medellín-Mora, J y O. Martínez-Ramírez. 2010. Distribución del mesozooplancton en aguas oceánicas del mar caribe colombiano durante mayo y junio de 2008. 122-142. En: Invemar. Biodiversidad del margen continental del Caribe colombiano. Serie de Publicaciones Especiales. Invemar, 20, 458 p.
- Medellín-Mora, J y G.R Navas. 2010. Listado taxonómico de copépodos (Arthropoda: Crustacea) del mar Caribe colombiano. Bol. Invest. Mar. Cost, 39: 265-306.
- Medellín-Mora, J., R. Escribano., W. Schneider., M. Correa-Ramírez and N. Campos. 2018. Spatial variability of zooplankton community structure in Colombian Caribbean waters during two seasons. Rev Biol Trop, 66: 688-708.
- MinSalud. 2010. Decreto No. 3930 del 25 de octubre de 2010. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI – Parte III - Libro del Decreto – Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos, Bogotá. 61 p.
- Mullin, M. 1993. Webs and sclaes: physical and ecological processes in marine fish recruitment. Washington Sea Grant. University of Washintong Press, 135 p.
- Nasrollahzadeh, H. S., Z.B Din., S.Y. Foong and A. Makhrough. 2008. Trophic status of the Iranian Caspian Sea based on water quality parameters and phytoplankton diversity. Cont. Shelf Res, 28: 1153–1165.
- Odum, E. 1992. Ecología. 3ª Edición. Ed. Interamericana. México. 598 p.
- Parson, T.R., M. Takahashi and B. Margrave. 1984. Biological Oceanographic processes. 3th ed. Pergamon Press, Great Britain. 330 p.
- Pennock, J and J. Sharp. 1994. Temporal alternation between light-and nutrient- limitation of phytoplankton production in a coastal plain estuary. En: Marine Ecology Progress Series. Agosto. 111: 275-288.
- Pérez-Castillo, A y A. Rodríguez. 2008. Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. Rev Biol Trop, 56: 1905-1918.
- Posada-Posada, B., D. Rozo-Garzón y M. Hernández-Ortiz. 2016. Los espacios oceánicos y zonas costeras e insulares de Colombia. 16-19. En: Invemar. Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia: Año 2015. Serie de Publicaciones Periódicas No.3, Santa Marta, 186 p.
- Ramdani, M., N. Elkhiairi., J. Flower., J. R. Thompson., L. Chouba., M. M. Kraiem., F. Ayache and M. H. Ahmed. 2009. Environmental influences on the qualitative and quantitative composition of phytoplankton and zooplankton in North African coastal lagoons. Hydrobiologia. 622: 113-131.
- Ramírez, G. 1983. Características fisicoquímicas de la bahía de Santa Marta (agosto 1980-julio 1981). An. Inst. Inv. Mar. Punta Betín, 13: 111-121.
- Ramírez A y Viña V. 1998. Limnología colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis. Editorial de la Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 1ª edición. Bogotá, Colombia. . 293 p.

- Restrepo, J. and B. Kjerfve. 2000. Magdalena River: interannual variability (1975-1995) and revised water discharge and sediment load estimates. *J. Hydrol.*, 235: 137-149.
- Restrepo, J. D., P. Zapata, J. Díaz, J. Garzón-Ferreira and C. García. 2006. Fluvial fluxes into the Caribbean Sea and their impact on coastal ecosystems: The Magdalena River. *Colomb. Glob. Planet. Change*, 50: 33-49.
- Rice, E.W., R.B. Baird., A.D. Eaton and L.S. Clesceri. 2012. *Standard Methods: for the examination of water and wastewater*. 22nd edition. American Public Health Association, Washington, 4-197 p.
- Rodríguez-Fierro, C.A. 2013. Comparación de la composición zooplanctónica en tres puertos del Caribe Colombiano (Cartagena, Santa Marta Y Coveñas) susceptibles a las bioinvasiones marinas. Trabajo para optar al título de biólogo marino. Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, 150 p.
- Smith, S. L and J. Vidal. 1984. Spatial and temporal effects of salinity, temperature and chlorophyll on the communities of zooplankton in the southeastern Bering Sea. *Journal of Marine Research*, 42: 221–257.
- Sridhar, R.T., S. Thangaradjou., K. Senthil and L. Kannan. 2006. Water quality and phytoplankton characteristics in the Palk Bay, southeast coast of India, *J. Environ. Biol.* 27, 561—566.
- Suthers, L and D. Rissik. 2009. *Plankton: A guide to their ecology and monitoring for water quality*. CSIRO PUBLISHING. Australia, 273 p.
- Todd, C., M.S. Laverack and G. Boxshall. 1996. *Coastal marine zooplankton*. Cambridge University Press. Cambridge Watkins A (1958) *the sea my hunting ground*. William Heinemann. London, 103 p.
- Vanegas, T. 2002. Riqueza de órdenes y dinámica del mesozooplankton marino en ambientes costeros del Golfo de Salamanca y el Parque Nacional Natural Tayrona. Caribe colombiano. Trabajo para optar al título de biólogo marino. Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta, 109 p.
- Vives, F y A.A Shmeleva, 2007. Crustacea, Copépodos marinos I. Calanoida, *Fauna Iberica*. España, 29: 1152 p.
- Vargas, Y. 2003. Descripción. abundancia y distribución de la comunidad Ictioplanctónica presente en el Humedal-Laguna Navío Quebrado y la zona marina costera adyacente. Corregimiento de Camarones. La Guajira. Caribe colombiano (mayo-noviembre de 2000). Tesis de pregrado. Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería. Universidad Jorge Tadeo Lozano, 241 p.
- Williamson, D. and A. Rice. 1996. Larval evolution in the Crustacea. *Crustaceana*, 69: 267-287.
- Wooldridge, T. 1999. Estuarine zooplankton community structure and dynamics. En: Allanson, B.R and D. Baird. (Eds.). *Estuaries of South Africa*. Cambridge University Press, Cambridge, 141–166.
- Zar, J. H. 2010. *Biostatistical analysis*. Upper Saddle River. N.J: Prentice-Hall/ Pearson. 944 p.

## **ANEXOS**

### **Objetivos**

#### **Objetivo general**

Determinar la estructura (abundancia, biomasa, composición y diversidad) del ensamblaje zooplanctónico en la región costera del Caribe norte colombiano en las épocas climáticas típicas y relacionarla con las condiciones del agua.

#### **Objetivos específicos**

- Caracterizar la dinámica espacial y temporal del zooplancton en el Caribe norte colombiano en las épocas típicas de la región.
- Relacionar los atributos del ensamblaje zooplanctónico con las variables fisicoquímicas del agua, determinando las variables que mayor relación tienen con el ensamblaje zooplanctónico.

### **HIPÓTESIS**

- El ensamblaje zooplanctónico presentará diferencias espaciales en la estructura (composición, diversidad, abundancia y biomasa) debido a la mayor influencia de escorrentía continental en el sector sur de la región de estudio.
- Se encontrarán diferencias temporales en la estructura en el norte del Caribe colombiano debido a la surgencia temporal que se presentan en la época seca.
- La distribución espacial y temporal del ensamblaje zooplanctónico estará relacionado principalmente con la salinidad, la temperatura, el oxígeno disuelto y la concentración de clorofila *a*.