

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



VARIABILIDAD DE ALTA FRECUENCIA DEL ZOOPLANCTON
EN LA ESTACIÓN FIJA CALLAO (CANTOLAO) EN EL 2017

KATHERINE ROSANNA NATIVIDAD HILARES

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADA EN
BIOLOGÍA

Asesora: Blga. Patricia Mercedes Ayón Dejo

Lima, Perú
2021

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



VARIABILIDAD DE ALTA FRECUENCIA DEL ZOOPLANCTON
EN LA ESTACIÓN FIJA CALLAO (CANTOLAO) EN EL 2017

KATHERINE ROSANNA NATIVIDAD HILARES

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADA EN
BIOLOGÍA

Asesora: Blga. Patricia Mercedes Ayón Dejo

Lima, Perú
2021

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



VARIABILIDAD DE ALTA FRECUENCIA DEL ZOOPLANCTON
EN LA ESTACIÓN FIJA CALLAO (CANTOLAO) EN EL 2017

KATHERINE ROSANNA NATIVIDAD HILARES

MIEMBROS DEL JURADO CALIFICADOR Y ASESOR.

PRESIDENTE: Dr. JOSÉ IANNAcone OLIVER

SECRETARIO: Blgo. ANDRÉS CHAVIERI SALAZAR

VOCAL: Blgo. MIGUEL DAVILA ROBLES

ASESORA: Blga. PATRICIA AYÓN DEJO

A Dios,

A Rosanna y Luis, mis padres,

A Paul y Jimmy, mis hermanos,

Por su amor, confianza y apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto del Mar del Perú (IMARPE) por permitirme realizar mi tesis en el Laboratorio de Zooplancton y Producción Secundaria. A mi asesora, la Blga. Patricia Ayón por sus enseñanzas, tiempo, paciencia y guía en todo este tiempo, y porque gracias a ella pude encontrar mi pasión en el zooplancton y en la investigación. A los Blgos. Roberto Quesquén y Elda Pinedo por su confianza, su comprensión, sus enseñanzas y su ayuda en la identificación taxonómica. A Carmela Nakazaki, Juanita Fiestas, Katia Aronés, Ximera Orosco y Cristian Saba, por su amistad, cariño, entusiasmo y su apoyo en el trabajo diario.

A Renzo, el amor de mi vida, por su ánimo y su compañía los días que escribía esta tesis y por su insistencia para culminarla, por su apoyo en los estudios y su paciencia en los días más complicados. Por último, a mis padres Rosanna y Luis, y a mis hermanos, porque en todo momento están a mi lado demostrándome su apoyo y confianza, pero sobre todo por todo el amor que me dan cada día de mi vida.

A todos ellos les agradezco y les dedico esta tesis por ser mi motivación para llegar cada día más lejos.

ÍNDICE

Resumen

Abstract

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
III.	JUSTIFICACIÓN.....	3
IV.	OBJETIVOS.....	4
	4.1 Objetivo General	4
	4.2 Objetivos Específicos.....	4
V.	MARCO TEÓRICO	4
	5.1 El Sistema de la Corriente de Humboldt.....	4
	5.2 El Zooplancton	7
	5.3 Escalas de Variabilidad Temporal.....	9
VI.	ANTECEDENTES.....	12
VII.	HIPÓTESIS	14
VIII.	MATERIALES Y MÉTODOS	14
	8.1 Lugar de ejecución	14
	8.2 Tipo y diseño de investigación.....	14
	8.3 Población y muestra	15
	8.4 Variables	15
	8.5 Operacionalización de las variables.....	16

8.6	Procedimientos y análisis de datos.....	16
8.7	Técnicas para el procesamiento de la información	19
8.8	Aspectos éticos.....	20
IX.	RESULTADOS	21
9.1	Condiciones oceanográficas en el 2017	21
9.2	Composición y abundancia del Zooplancton	32
9.3	Variabilidad de la comunidad de zooplancton	45
X.	DISCUSIÓN.....	62
XI.	CONCLUSIONES	70
XII.	RECOMENDACIONES	71
XIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
	ANEXOS	

Lista de Tablas

Tabla 1. Masas de aguas superficiales del mar peruano. Fuente: Ayón et al. (2008)

Tabla 2. Ejemplos de respuestas fisiológicas, de desarrollo y de comportamiento mediante las cuales el zooplancton puede adaptarse a entornos fuertemente estacionales. Fuente: Mackas et al. (2012)

Tabla 3. Variables independientes y dependientes

Tabla 4. Operacionalización de las variables

Tabla 5. Abundancia media, mínima y máxima, abundancia relativa (%) de los taxones más abundantes en la bahía Cantolao durante el 2017

Tabla 6. Lista de especies del zooplancton en la bahía Cantolao durante el 2017

Tabla 7. Abundancia relativa (%) en relación a los días de muestreo según el Phylum

Tabla 8. Abundancia relativa (%) en relación a los días de muestreo según la Clase

Tabla 9. Abundancia relativa (%) en relación a los días de muestreo según los copépodos

Tabla 10. Autovalores e importancia de los componentes principales de las variables independientes

Tabla 11. Correlaciones entre los componentes y las variables independientes

Tabla 12. Autovalores e importancia de los componentes principales según el Phylum

Tabla 13. Correlaciones entre los componentes y las variables dependientes según el Phylum

Tabla 14. Autovalores e importancia de los componentes principales según los copépodos

Tabla 15. Correlaciones entre los componentes y las variables dependientes según los copépodos

Tabla 16. Autovalores e importancia de los componentes principales según los estadios de copépodos

Tabla 17. Correlaciones entre los componentes y las variables dependientes según los estadios de copépodos

Lista de Figuras

Figura 1. Distribución esquemática de las masas de agua superficiales características (a), y batimetría con corrientes principales (b). Fuente: Ayón et al. (2008).

Figura 2. Comparación de las anomalías de la temperatura de la superficie del mar (TSM) durante febrero-abril de 1925 (panel superior) y durante febrero-abril de 2017 (panel inferior). El sombreado rojo indica TSM superiores al promedio y el sombreado azul representa TSM inferiores al promedio. Fuente: IGP y NOAA Climate.gov.

Figura 3. Área de estudio bahía Cantolao de la prospección Ácidos Grasos $12^{\circ}02.852$ S y $77^{\circ}09.979$ O.

Figura 4. Red Baby Bongo de 22 cm de diámetro de boca equipada con dos vasos colectores.

Figura 5. Series semanales de las condiciones oceanográficas e indicadores biológicos. (a) concentración superficial de clorofila-a ($\mu\text{g/L}$); (b) concentración de fosfatos (μM);

(c) concentración de nitritos (μM); (d) concentración de nitratos (μM); (e) oxígeno disuelto (OD) (mL/L); (f) pH; (h) concentración de silicatos (μM); (g) salinidad superficial (ups); (h) temperatura superficial del mar en $^{\circ}\text{C}$; en base a los datos en el período 2017.

Figura 6. Serie semanal de la abundancia del zooplancton (ind.m^{-3}) durante el 2017.

Figura 7. Análisis wavelet de las condiciones oceanográficas: TSM, SSM, pH y oxígeno disuelto. Izquierda: espectro de potencia de wavelet local. Derecha: espectro de potencia de wavelet global de la serie, muestra el nivel de significancia del 5%. Los valores de baja potencia se representan en azul y los valores de alta potencia en rojo. La sombra blanca muestra el cono de influencia y las líneas blancas muestran el nivel de significancia del 5%..

Figura 8. Análisis wavelet de los nutrientes (μM : fosfatos, silicatos, nitratos, nitritos).

Figura 9. Análisis wavelet de los indicadores biológicos: Concentración superficial de clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) y abundancia del zooplancton (ind.m^{-3}).

Figura 10. Wavelet de Coherencia entre las condiciones oceanográficas: TSM, SSM, pH, oxígeno disuelto y el zooplancton. El color indica la amplitud de la correlación entre las dos series, mientras las flechas indican la fase.

Figura 11. Espectro cruzado Wavelet de los nutrientes (μM : fosfatos, silicatos, nitratos, nitritos) con el zooplancton, se identifica las bandas de período como los intervalos de tiempo dentro de los cuales las dos series co-varían.

Figura 12. Espectro cruzado Wavelet de la clorofila con el zooplancton, se identifica las bandas de período como los intervalos de tiempo dentro de los cuales las dos series co-varían.

Figura 13. Abundancia relativa (ind.m⁻³) por grupos de zooplancton en la estación fija Cantolao (Callao) durante el 2017. A) Abundancia por Phylum, B) Abundancia en % por Phylum, C) N° de especies por Phylum, D) N° de especies por Clase, E) Tipo de alimentación por Phylum.

Figura 14. Abundancia relativa (ind.m⁻³) por el Phylum Arthropoda A) Abundancia por la Clase B) Tipo de alimentación por la Clase.

Figura 15. Abundancia relativa (ind.m⁻³) de la Clase Copépoda. A) Abundancia por el Género B) Tipo de alimentación por género.

Figura 16. A) Abundancia relativa (ind. m⁻³) de la especie *Acartia* sp., B) Abundancia relativa (ind. m⁻³) de la especie *Acartia* sp. por estadios para ver la distribución en facetas separadas por estadio.

Figura 17. A) Análisis de Componentes Principales de las variables independientes en relación a los días de muestreo, B) Dendrograma, C) PCA + Cluster.

Figura 18. A) Escalamiento 1 y 2 del PCA de las variables dependientes según el Phylum en relación a los días de muestreo, B) Dendrograma, C) PCA + Cluster y D) Triplot.

Figura 19. A) Escalamiento 1 y 2 del PCA de las variables dependientes según los copépodos en relación a los días de muestreo, B) Dendrograma, C) PCA + Cluster y D) Triplot.

Figura 20. A) Escalamiento 1 y 2 del PCA de las variables dependientes según los estadios de copépodos en relación a los días de muestreo, B) Dendrograma, C) PCA + Cluster y D) Triplot.

Figura 21. *Acartia* sp. zoom 3x (A) y zoom 6x (B). Tomadas con un Estéreomicroscopio Nikon SMZ18.

Figura 22. *Calanus chilensis* zoom 2x. Tomadas con un Estéreomicroscopio Nikon SMZ18.

Figura 23. *Centropages brachiatus* zoom 3x. Tomadas con un Estéreomicroscopio Nikon SMZ18.

Figura 24. *Clausocalanus jobei* zoom 3x. Tomadas con un Estéreomicroscopio Nikon SMZ18.

Resumen

En un entorno altamente dinámico como el mar peruano existen diversos factores que pueden afectar la distribución del zooplancton, relacionado con procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en intervalos muy cortos de tiempo o de “alta frecuencia”, a escalas temporales de meses o escalas menores. Con el propósito de conocer la relación entre la variabilidad del zooplancton y las variables oceanográficas, el estudio se realizó en un área de bahía (Cantolao) en la zona Central de Perú con una periodicidad semanal durante el 2017. Se analizó la abundancia y composición de la comunidad de zooplancton mediante arrastres horizontales superficiales utilizando una red Baby Bongo. Se utilizaron transformaciones wavelet para determinar las escalas dominantes de variabilidad de las condiciones oceanográficas y de la comunidad de zooplancton. El presente estudio mostró valores altos de abundancia en la comunidad de zooplancton durante un evento El Niño, y una correlación muy significativa con los fosfatos ante un aumento del número de especies. El zooplancton estuvo compuesto por 116 taxones, donde la clase más abundante fueron los copépodos (media= 5 763,57 ind.m⁻³) con 48 especies y la especie más abundante fue *Acartia* sp. (media= 4 978,4 ind.m⁻³). El análisis cruzado de wavelet reveló una amplia variabilidad durante el EN con períodos de cuatro y seis semanas donde la serie de la TSM co-varía con la abundancia del zooplancton. Durante condiciones cálidas, se observó una fuerte correlación con la concentración de nitritos en la superficie, en condiciones normales una mayor coherencia con la TSM y en condiciones frías con los nutrientes. El Análisis de Componentes Principales (ACP) mostró una relación significativa entre la temperatura y la abundancia del grupo de los artrópodos, y una relación entre la temperatura con los machos y los estadios copepodito IV y V de la especie *Acartia* sp.

Palabras claves: zooplancton, variabilidad, alta frecuencia, mar peruano, Callao

Abstract

In a highly dynamic environment like the Peruvian sea, there are several factors that can affect the distribution of zooplankton, related to physical, chemical, and biological processes that occur in very short intervals of time or "high frequency", at timescales of months or less. In order to know the relationship between the variability of zooplankton and oceanographic variables, the study was realized in a bay area (Cantolao) in the central zone of Peru with a weekly frequency during 2017. The abundance and composition of the zooplankton community were analyzed using surface horizontal trawls using a Baby Bongo network. Wavelet transformations were used to determine the dominant scales of variability of oceanographic conditions and of the zooplankton community. The present study showed high abundance values in the zooplankton community during a moderate El Niño event, and a very significant correlation with phosphates and an increase in the number of species. The zooplankton was composed of 117 taxa, where the most abundant Class were the copepods (mean = 5 870,85 ind.m⁻³) with 48 species and the most abundant species was *Acartia* sp. (mean = 5 073,19 ind.m⁻³). Wavelet cross analysis revealed an extensive variability during EN with periods of four and six weeks where the SST series co-varies with zooplankton abundance. During warm conditions, a strong correlation was observed with the concentration of nitrites on the surface, under normal conditions a higher coherence with the SST and in cold conditions with nutrients. Principal Component Analysis (PCA) showed a significant relationship between temperature and abundance of the group of arthropods, and a relationship between the temperature with the males and the copepodite stages IV and V of the species *Acartia* sp.

KEYWORDS: zooplankton, variability, high frequency, Peruvian sea, Callao

I. INTRODUCCIÓN

El zooplancton cumple un rol ecológico importante en el sistema trófico y el ciclo biogeoquímico del ecosistema marino, como vínculo entre los productores fitoplanctónicos y los depredadores superiores (Banse, 1995; Beaugrand, et al., 2002; Kozak et al., 2018). Mientras que el zooplancton está sujeto a un control *bottom-up*, limitado por la disponibilidad de fitoplancton (Cury et al, 2003); la supervivencia y el reclutamiento de muchas especies de peces, durante etapas larvales y/o juveniles, dependen del zooplancton como alimento (Bakun et al., 2015).

En este contexto, el caso de la anchoveta (*Engraulis ringens* Jenyns, 1842), considerada como la especie más importante de peces pelágicos en el Sistema de Corriente de Humboldt (HCS) (Espinoza & Bertrand, 2008; Marzloff, et al., 2009), tiene al zooplancton como parte importante de su dieta, de preferencia eufáusidos y copépodos, que contribuyen con el 98% de su contenido de carbono (Bouchon, et al., 2010; Espinoza y Bertrand, 2008). Además, muchos organismos del zooplancton son usados como indicadores (Hays et al., 2005), porque a través del estudio de las variables oceanográficas (Beaugrand & Reid, 2003) y de la biodiversidad (Hooff & Peterson, 2006), se pueden caracterizar ciertas masas de agua de manera integral (Suárez-Morales y Arriaga, 1998; Dvoretzky & Dvoretzky, 2010; Rodríguez-Sáenz y Morales-Ramírez, 2012).

El zooplancton es afectado por procesos físicos (advección con corrientes oceánicas y procesos de intercambio plataforma-océano), químicos (procesos biogeoquímicos) y biológicos (tiempo de vida de semanas a meses, patrones reproductivos y sociales), que ocurren en diferentes escalas temporales y espaciales (Harris et al., 2000; Haury et al., 1978). Por lo tanto, en un entorno altamente dinámico, existe una variación

significativa que ocurre en intervalos muy cortos de tiempo o de “alta frecuencia”, a escalas temporales de meses o escalas menores (Haury et al., 1978; Hernández-Ávila & Gaspar, 2014). También, debido a que existen fluctuaciones cuyos patrones varían localmente, el estudio en una estación fija permitiría comprender la estructura y dinámica de los cambios de las diferentes poblaciones y sus cambios estacionales (Harris et al., 2000; Spinelli et al., 2016).

A pesar de la importancia de la variación de la abundancia y composición del zooplancton en la ecología de especies de interés comercial y en la dinámica del ecosistema marino (Escribano et al., 2015), son pocos los estudios realizados en Perú relacionados con la variabilidad temporal en escalas de alta frecuencia. Trabajos como los de Ayón et al. (2004) Criales (2009) y Pinedo (2014) estudiaron los cambios en la abundancia del zooplancton en escalas de tiempo con una frecuencia estacional y anual.

El presente proyecto tiene como finalidad determinar la variabilidad de la biodiversidad del zooplancton en una estación fija a una escala de tiempo de alta frecuencia, donde los cambios en la abundancia y composición de las comunidades de zooplancton asociados a cambios oceanográficos, podrían explicar cómo el zooplancton regula a sus consumidores y cuál es la periodicidad de los cambios en la dinámica del ecosistema marino.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La mayoría de investigaciones se han centrado en el estudio de la variabilidad espacio – temporal del zooplancton en escalas interanuales y/o anuales, y pocos trabajos han considerado las interacciones que se llevan a cabo en períodos más cortos o de alta

frecuencia, los cuales afectan significativamente el entorno marino. Actualmente, en Perú no hay trabajos que han descrito a fina escala la dinámica del zooplancton asociada a variables oceanográficas.

Por lo tanto, la pregunta de esta investigación es: ¿Qué relación existe entre la variabilidad de la biodiversidad del zooplancton y las variables oceanográficas, con una periodicidad semanal en una estación fija, para explicar los cambios en el ecosistema marino?

III. JUSTIFICACIÓN

El zooplancton es un vínculo clave en la red trófica, con gran sensibilidad frente a los cambios ambientales, de gran importancia al convertir y transferir la energía del fitoplancton hacia los niveles superiores y diversos estudios a nivel mundial consideran al zooplancton como un importante indicador para evaluar el comportamiento del ecosistema marino frente a los cambios climáticos (Beaugrand & Reid, 2003; Hooff & Peterson, 2006; Beaugrand et al., 2002; Pino, 2013; Hays et al., 2005; Perry et al., 2021).

Pocos estudios han abordado el análisis de la abundancia y composición del zooplancton en Perú, y ninguno ha considerado las interacciones en escalas temporales pequeñas en una estación fija; por ello, el estudio de la biodiversidad a una alta frecuencia de tiempo, ayudaría a comprender y predecir los cambios en la respuesta de las distintas especies frente a las variables oceanográficas.

Existe un gran interés científico y económico en determinar la biomasa y los cambios que pueden impactar en los peces de valor comercial, como la anchoveta. El presente trabajo contribuirá a conocer a periodicidad de los cambios en la dinámica y el

funcionamiento del ecosistema marino en esta zona de estudio, e inclusive la proyección a otras zonas con condiciones similares.

IV. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

- Determinar la variabilidad de alta frecuencia del zooplancton, a escala semanal, en la estación fija Callao (Cantolao) en el 2017.

4.2 Objetivos Específicos

- Determinar la abundancia y composición de la comunidad de zooplancton durante el 2017.
- Determinar la variabilidad de la biodiversidad de la comunidad de zooplancton asociada a las variables oceanográficas.

V. MARCO TEÓRICO

5.1 El Sistema de la Corriente de Humboldt

El Sistema de Corriente de Humboldt (HCS) es uno de los cuatro principales sistemas de afloramiento en el mundo, se caracteriza por ser altamente productivo especialmente en la producción de anchoveta. El HCS se extiende desde el sur de Chile (45°S) hasta el norte de Perú (4°S) e incluye tres biomas definidos: (1) un sistema de surgencia estacional altamente productivo frente al sur de Chile (30–40°S), (2) una zona de surgencia de moderada a baja productividad frente al norte de Chile y sur de Perú (18–26°S) y (3) un sistema de surgencia altamente productivo durante todo el año (4–16°S) (Chávez &

Messié, 2009). Grados et al. (2018) define la zona de mayor afloramiento a la parte norte del Sistema de Corriente de Humboldt (NHCS: 70–90 ° W; 0–20 ° S). Años atrás se identificaron 5 áreas importantes de afloramiento frente a Perú: a los 5° S (Paita), 6° S (Punta aguja), 9° S (Chimbote), 12° S (Callao) y 15° S (San Juan) (Zuta y Guillén, 1970).

El Sistema de afloramiento de Perú se caracteriza por presentar aguas superficiales frías y ricas en nutrientes que desencadenan una alta producción primaria y una intensa zona mínima de oxígeno (ZMO) con concentraciones de oxígeno inferiores a 1 $\mu\text{mol/L}$ en su núcleo. Cerca de la costa, la ZMO es poco profunda y la oxiclina que delimita la parte superior de la ZMO forma una barrera para los organismos intolerantes a la hipoxia puede encontrarse entre 20 a 50m de profundidad (Graco et al., 2007; Chávez & Messié, 2009; Bertrand et al., 2014). La región del Callao es una de las principales áreas de afloramiento en el centro del Perú (Rojas y Gómez, 1981) con una ZMO en la zona sub-superficial bien desarrollada y una alta productividad primaria con valores máximos en primavera y verano (Graco et al., 2007, Graco et al., 2017)

El Sistema de afloramiento de Perú presenta una variabilidad temporal a diferentes escalas: intraestacional, estacional e interanual a decadal. Gutiérrez et al. (2011) menciona una estacionalidad en períodos de alta productividad durante el verano austral (diciembre-marzo), y baja productividad y fuertes períodos de afloramiento durante el invierno austral (junio-agosto). Esta alta variabilidad determina importantes fluctuaciones en el afloramiento costero que afecta la abundancia y distribución de los recursos (Gutiérrez et al., 2011; Lüdke et al., 2019).

La temperatura superficial del mar (TSM) en el norte del Perú (5-14 °S) puede alcanzar los 26 °C y la TSM mínima al sur durante el verano es de 17 a 18 °C. Mientras en el centro y sur del Perú, en invierno la TSM varía entre 13 a 17 °C, y la isoterma de 19 °C se encuentra al norte de 10 °S. La TSM se modifica a lo largo de la costa por componentes latitudinales y locales (ancho de plataforma y profundidad del mar) y por la mezcla horizontal con aguas de afloramiento (oscila entre 15 °C y 19 °C) (Zuta y Guillen, 1970; Ayón et al., 2008). Cuatro masas de agua (ver Tabla 1) se pueden distinguir en la zona costera de Perú: Aguas Tropicales Superficiales (TSW), Aguas Ecuatoriales Superficiales (ESW), Aguas Subtropicales Superficiales (SSW) y Aguas Costeras Frías (CCW) y la interacción de estas masas de agua dependen de tres Corrientes (Fig. 1): la Corriente Costera de Perú (PCC), la Corriente Subsuperficial de Perú-Chile (PCUC) y la Contracorriente de Perú-Chile (PCCC). La PCUC es el principal componente del Sistema de Corrientes de Perú debido a que interviene directamente en el afloramiento costero (Montes et al., 2010), mientras que la plataforma peruana está dominada por las Aguas Costeras Frías (CCW) (Ayón et al., 2008; Grados et al., 2018).

Tabla 1

Masas de aguas superficiales del mar peruano

Water masses	Salinity	Temperature (°C)
Tropical Surface Water (TSW)	<33.8 ^a	>25 ^b
Equatorial Surface Water (ESW)	33.8–34.8 ^b	>20 ^b
Subtropical Surface Water (SSW)	35.1–35.7 ^a	18–27 ^b
Cold Coastal Water (CCW)	34.8–35.1 ^a	14–18 ^c

^a Zuta and Guillén (1970).

^b Gutiérrez et al. (2005).

^c Morón (2000).

Fuente: Ayón et al. (2008).

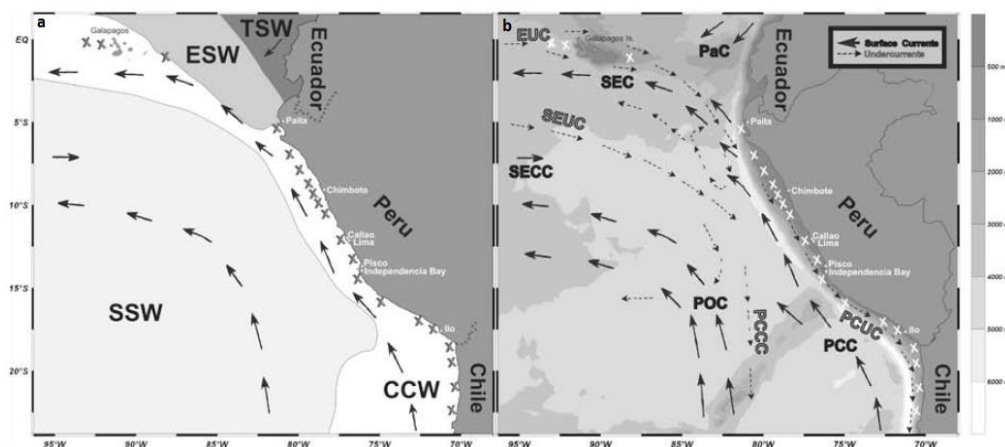


Figura 1. Distribución esquemática de las masas de agua superficiales características (a), y batimetría con corrientes principales (b). Fuente: Ayón et al. (2008).

5.2 El Zooplancton

El zooplancton es un indicador de producción secundaria en ambientes marinos. Sus organismos pueden ser depredadores, presas y/o competidores que contribuyen a la transferencia de energía y carbono a través de las cadenas tróficas, constituyendo un vínculo importante entre la producción primaria y los niveles tróficos más altos (Banse, 1995; Escribano, 2006).

La comunidad de zooplancton puede clasificarse por su tamaño: microzooplancton (20 - 200 μm), mesozooplancton (0,2 - 20 mm), macrozooplancton (20 - 200 mm) y megazooplancton (> 200 mm), y dentro del mesozooplancton se puede dividir en pequeños (0,2 - 0,5 mm), medianos (0,5 - 1 mm) y grandes (1 - 2 mm) (Barquero et al., 1998; Villate et al., 2004; Hobday et al., 2006). Según la duración en el entorno pelágico puede clasificarse en holoplancton (plancton permanente) y meroplancton (plancton temporal). El holoplancton pasa sus ciclos de vida completos en la columna de agua, y el

meroplancton es un residente temporal de la comunidad de plancton. (Lalli & Parson, 1997).

La distribución espacial del zooplancton se presenta en forma de parches a diferentes escalas: asociadas a estructuras físicas (ejemplo: vórtices, frentes), con una tendencia de exclusión entre el zooplancton y fitoplancton debido a la presión por pastoreo, por causas reproductivas, para defenderse de los depredadores, etc. (Banse, 1964; Haury et al., 1978). Según la abundancia se observa una mayor biomasa en los trópicos que va disminuyendo hacia las regiones subtropicales y aumenta ligeramente en los polos (Moriarty et al., 2012). Además, la distribución del zooplancton disminuye exponencialmente con la profundidad, concentrándose una mayor densidad en las capas epipelágicas y mesopelágicas. De igual forma, la mayoría de especies pequeñas se encuentran distribuidos en la superficie y las especies grandes a mayor profundidad, observándose una relación directa con la profundidad (Weikert, 1982; Longhurst, 1985). Muchas especies también migran verticalmente a través de la termoclina todos los días que ocurren con una periodicidad de 24 horas (Escribano et al., 2009).

La mayoría de especies que conforman el zooplancton presentan ciclos de vida corta que varían desde horas hasta años, produciendo varias generaciones en un solo año, presentando bajas tasas de reclutamiento y mortalidad, pero con cambios rápidos en el tamaño de su población (Haury et al., 1978; Pepin et al., 2012). El zooplancton se alimenta de bacterioplancton, fitoplancton, otros zooplancton y detritus por filtración, depredación o simbiosis, y muchos organismos parecen tener la capacidad de seleccionar su presa por tamaño o

taxón que ofrezca el equilibrio adecuado de nutrientes (Lalli & Parsons, 1997; Meunier et al., 2015).

El zooplancton está conformado por diversos grupos, dentro del zooplancton protozoario se encuentra el phylum de los foraminíferos, radiolarios y tintínidos, y dentro del zooplancton metazoico se encuentran los cnidarios, ctenóforos, poríferos, rotíferos, equinodermos, quetognatos, anélidos, moluscos, artrópodos y cordados (Boltovskoy, 1999).

En Perú, se ha reportado una mayor abundancia y biomasa del zooplancton entre 4-6 ° S y 14-16 ° S y se ha identificado tres grupos principales de zooplancton donde la composición varía en función a la distancia de costa: (1) un grupo en la plataforma continental dominado por *Acartia tonsa* Dana, 1849 y *Centropages brachiatus* Dana, 1849; (2) un grupo en el talud continental caracterizado por sifonóforos, bivalvos, foraminíferos y radiolaria; (3) y un grupo oceánico. Existe una alta variabilidad en la composición de especies que ocurren por procesos biológicos en una escala diaria o semanal asociados a la migración vertical o al ciclo de vida del zooplancton, y por procesos físicos estacionales o interanuales asociados a la advección (Santander, 1981; Ayón et al., 2008; Vereshchaka, 2019).

5.3 Escalas de Variabilidad Temporal

La variación temporal en la distribución del zooplancton es el producto de factores biológicos, como la depredación, la mortalidad natural, la migración vertical diaria, la búsqueda de alimento y pastoreo; y de procesos físicos inducidos por el viento como la advección de las mareas, la mezcla y los

remolinos (Wiafe & Frid, 1996; Klais et al., 2016). Los impulsores físicos y biológicos operan a diferentes escalas espaciales. A menos de 10 m dominan los procesos biológicos; a escalas entre 10m y 1 km, los procesos biológicos y físicos se combinan e interactúan; y a escalas mayores a 1 km, dominan los procesos impulsados por el viento (Folt & Burns, 1999).

Los cambios en el tamaño de la población de zooplancton son rápidos, por ello una estrategia estándar para el análisis del zooplancton es filtrar la variabilidad en escalas de tiempo anuales y más cortas. El zooplancton realiza grandes inversiones de energía en sus estrategias de vida, de comportamiento, fisiológicas y de distribución por preferencias ambientales que están sintonizadas con las periodicidades anuales, estacionales y diarias. Estas estrategias maximizan la abundancia y la exposición de las etapas vulnerables durante las ventanas de tiempo que son óptimas para la reproducción, el crecimiento y la supervivencia, mientras minimizan la exposición durante los momentos en que las condiciones son desfavorables para el crecimiento y la supervivencia. Los procesos y mecanismos que pueden alterar el tiempo de exposición del zooplancton donde optimiza sus condiciones se resumen en la Tabla 2, cuya importancia varía entre taxones y regiones (Mackas et al., 2012).

Las condiciones particulares de cada lugar pueden influir fuertemente en la distribución zooplancton. En la mayoría de las regiones, el zooplancton debe sobrevivir y adaptarse a las variaciones estacionales. En las regiones oceánicas, los factores que más contribuyen a la variabilidad temporal son los ciclos anuales de la abundancia y composición del zooplancton, y las variables ambientales como la temperatura superficial del mar, profundidad de la capa mixta, insolación, disponibilidad de nutrientes, concentración de clorofila y

productividad primaria (Mackas et al., 2012). En zonas costeras, el ambiente es muy variable y complejo, a menudo experimentan muchas fluctuaciones en respuesta a diversos procesos oceanográficos, y están expuestos a diferentes influencias antropogénicas (como las descargas de ríos, aguas residuales, etc.). En este ambiente, las fluctuaciones en los impulsores de la variabilidad del zooplancton, como la temperatura, la irradiancia y la biomasa de fitoplancton, son más resaltantes que en el océano abierto (Mackas et al., 2012; Klais et al., 2016; Spinelli et al., 2016).

Tabla 2.

Ejemplos de respuestas fisiológicas, de desarrollo y de comportamiento mediante las cuales el zooplancton puede adaptarse a entornos fuertemente estacionales

Respuesta	Mecanismo	Controles y señales	
		Ambiental	Interno
Tiempo reproductivo	Maduración + comportamiento	Fotoperiodo, temperatura, señales químicas, etc.	Madurez
Inactividad como adulto o juvenil tardío (inicio y duración)	"Cambio" fisiológico, fenotipo	Fotoperiodo, temperatura, señales químicas, etc.	"Condición" (por ejemplo, acumulación de lípidos), "reloj"
Latencia como huevo en reposo (producción y emergencia)	"Cambio" fisiológico, fenotipo	Fotoperiodo, temperatura, señales químicas, etc.	"Condición" (por ejemplo, acumulación de lípidos), "reloj"
Migración estacional	Cambio de comportamiento, pero a menudo vinculado a la latencia	Fotoperiodo, temperatura, señales químicas, etc.	"Condición" (por ejemplo, acumulación de lípidos), "reloj"
Tasa de desarrollo	Fisiológico	Temperatura (mayormente) + nutrición	"Condición"

Duración de la generación (# / año)	Tasa de desarrollo y latencia (fisiología + fenotipo)	Temperatura + nutrición	"Condición"
Supervivencia dependiente de la fecha y tasa neta de la población	Dinámica poblacional	Depredación, nutrición	"Condición"??

Fuente: Mackas et al. (2012).

VI. ANTECEDENTES

Los recursos pesqueros han sufrido cambios fuertes y abruptos, cambios en el tamaño y la productividad de la población a escalas de tiempo de varios años. Esta variabilidad está asociada con cambios en la atmósfera y en procesos oceanográficos físicos y biológicos de nivel trófico inferior. Sin embargo, a menudo no se conocen los mecanismos por los cuales ocurren estos cambios (Mackas et al., 2012). En las últimas décadas, ha sido ampliamente estudiada la relación entre la variabilidad de la abundancia y distribución del zooplancton con los procesos físicos y biológicos que ocurren en diferentes escalas temporales y espaciales (Haury, 1978; Haury et al. 2000). El análisis de la estructura de la comunidad de zooplancton en relación a su variabilidad puede ayudar a caracterizar la biomasa y la productividad de los ecosistemas marinos. Por ello, es importante determinar los posibles cambios en la periodicidad y las relaciones con las variables.

La variabilidad estacional de las comunidades de zooplancton es pronunciada en los ecosistemas polares y templados debido a la estacionalidad de la radiación, temperatura y abundancia y composición de especies de fitoplancton, factores que influyen directa o indirectamente en la tasa de crecimiento y producción de copépodos; moderada en los

ecosistemas subtropicales y baja en los ecosistemas marinos costeros tropicales (Mackas & Beaugrand, 2010; Spinelli et al., 2016). Sin embargo, estudios más recientes en una región costera tropical han mostrado cambios ambientales estacionales marcados que promueven una sucesión de especies zooplanctónicas (Kozak et al., 2014; Franco-Gordo et al., 2015; Spinelli et al., 2016).

En zonas costeras, varias investigaciones se han centrado en la determinación de la dinámica poblacional del zooplancton, con revisiones importantes en cuanto a la variabilidad interanual, en la región sur de la Corriente de California durante 1951 a 1996 (Lavaniegos et al., 1998), en el norte de la Corriente de California durante 1996 al 2004 (Hooff & Peterson, 2006), en la plataforma Bonaerense durante primavera 2002 al 2004 (Di Mauro, 2011), en la zona de afloramiento bahía Culebra - Costa Rica durante 1999 al 2000 (Rodríguez-Sáenz y Morales-Ramírez, 2012). También se realizaron trabajos a lo largo del Sistema de Corriente de Humboldt, en Chile, durante el periodo 2002-2004 y 2010-2012 (Pino, 2013) y durante el 2004 al 2006 (Escribano et al., 2015), donde evaluaron los cambios en la comunidad del zooplancton mediante el estudio de ciertas especies indicadoras.

Pocos autores han elaborado estudios en estaciones fijas, y se han enfocado en escalas temporales de alta frecuencia, variabilidad diaria y estacional durante enero y noviembre de 1984 - Costa Rica (Guzmán y Obando, 1988), variabilidad semanal durante invierno de 1986 a 1988 - Ecuador (Arcos & Bonilla, 1989) y mensual desde diciembre de 1988 a 1988 – Ecuador (Bonilla, 1990).

Frente a la costa peruana, algunos trabajos analizaron la biodiversidad de especies, en escala interanual, en el ecosistema de afloramiento durante invierno y verano del 1961 al 2001 (Ayón et al., 2004), durante el verano del 2000 al 2003 (Pinedo, 2014), de

febrero a diciembre durante el 2005 al 2007 en Callao (Criales, 2009), entre agosto de 1994 a diciembre de 2004 en Paita (Aronés et al., 2009), junto a revisiones como las de Tarazona (2003) y Santander (1981), donde mencionan una mayor dominancia en el zooplancton, representada por la subclase Copepoda, como *Acartia tonsa* (Dana, 1849), *Centropages brachiatus* (Dana, 1849), *Paracalanus parvus* (Claus, 1863), *Calanus chilensis* (Brodsky, 1959), *Oncaea venusta* (Farran, 1929), etc.; además de otros organismos holoplanctónicos, como eufáusidos, sifonóforos, ctenóforos, quetognatos, ostrácodos, poliquetos y algunos gelatinosos.

VII. HIPÓTESIS

El zooplancton en la estación fija Callao (Cantolao), asociada a la composición y abundancia, presenta un incremento en el número de especies ante un aumento en la temperatura.

VIII. MATERIALES Y MÉTODOS

8.1 Lugar de ejecución

El análisis de muestras y procesamiento de datos se realizó en el Laboratorio de Zooplancton y Producción Secundaria del Área Funcional de Oceanografía Biológica de la Dirección General de Investigaciones Oceanográficas y Cambio Climático (DGIOCC) del Instituto del Mar del Perú (IMARPE), sede central - Lima.

8.2 Tipo y diseño de investigación

En la presente investigación se realizó un análisis experimental transversal correlacional, de material recolectado durante las prospecciones del Proyecto Ácidos Grasos ejecutados por el laboratorio de Zooplancton y Producción Secundaria del Instituto del Mar del Perú (IMARPE) durante el 2017.

8.3 Población y muestra

Se analizó un total de 49 muestras de zooplancton en una estación fija en la bahía de Cantolao - Callao, recolectadas con una red Baby Bongo de 300 micras de abertura de red.

8.4 Variables

Las variables dependientes (bióticas) e independientes (abióticas) estudiadas en el presente trabajo se describen a continuación:

Tabla 3

Variables independientes y dependientes

Tipo de variable	Variable	Naturaleza
Dependiente	Abundancia específica	Cuantitativa
	Temperatura	Cuantitativa
Independiente	Salinidad	Cuantitativa
	Oxígeno	Cuantitativa
	Clorofila-a	Cuantitativa
	Nutrientes	Cuantitativa
	pH	Cuantitativa

8.5 Operacionalización de las variables

Se señalan las unidades de medición de las variables que se utilizaron a lo largo del estudio.

Tabla 4

Operacionalización de las variables

Objetivos específicos	Variable	Indicador	Escala de medida	Instrumento	Categorización de la variable
1	Abundancia específica	Ind.m ³	Razón	Observación directa	Continua
	Temperatura	°C	Intervalo	Termómetro	Continua
	Salinidad	ups	Intervalo	Salinómetro	Continua
2	Oxígeno	ml/L	Intervalo	Titulación	Continua
	Clorofila-a	µg/L	Intervalo	Fluorómetro	Continua
	Nutrientes	µM	Intervalo	Espectrofotómetro	Continua
	pH	Escala (0-14)	Intervalo	pH-metro	Continua

8.6 Procedimientos y análisis de datos

Obtención de muestras

Las muestras de zooplancton provienen de la estación fija de la bahía Cantolao, obtenidas como parte de la prospección Ácidos Grasos localizada a 12° 02 852 S y 77° 09 979 O (Fig. 3) desde enero hasta diciembre del 2017. Se hicieron recolectas semanalmente mediante arrastres horizontales superficiales entre las 7 y 12 horas., utilizando una red Baby Bongo de 22 cm de diámetro de boca equipada con dos vasos colectores con redes de 300 y 500 micras de abertura de malla, provista con un flujómetro calibrado en una de las mallas para estimar el

volumen de agua filtrado (Fig. 4). Cada muestreo se realiza con una velocidad de arrastre constante entre 2 y 2,5 nudos, durante cinco minutos.

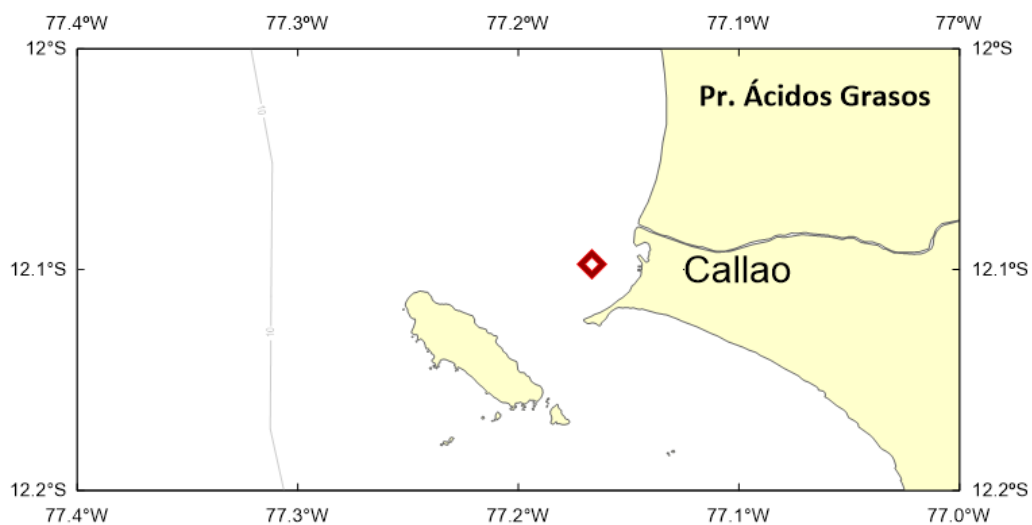


Figura 3. Área de estudio bahía Cantolao de la prospección Ácidos Grasos 12° 02.852 S y 77° 09.979 O.



Figura 4. Red Baby Bongo de 22 cm de diámetro de boca equipada con dos vasos colectores.

Para caracterizar las condiciones oceanográficas, se registró la temperatura superficial del mar (TSM) *in situ*, y se recolectaron muestras de agua para el análisis de salinidad superficial del mar (SSM), pH, oxígeno disuelto (OD), nutrientes y clorofila-a. Los organismos fueron filtrados y preservados en etanol al 90% hasta su análisis.

Análisis de muestra

El análisis se realizó en el Laboratorio de Zooplancton y Producción Secundaria del IMARPE de la sede central del Callao. Se seleccionó la muestra de 300 micras tomada del primer arrastre superficial, se filtró cada frasco con una malla de 150 micras en un beaker de 250mL y se analizó en un estereoscopio Nikon, de forma cualitativa y cuantitativa. El análisis cuantitativo se realizó fraccionando la muestra mediante el método del beaker hasta dos o cuatro veces, y se colocó en una placa de conteo bogorov. El conteo se realizó con la ayuda de un contador de múltiple entrada y los datos fueron colocados en una ficha de análisis. La determinación de las especies se realizó hasta la categoría taxonómica más baja posible, empleando la bibliografía de (Mori, 1964; Vidal, 1968; Santander, 1981; Boltovskoy, 1999).

Análisis de Datos

Se realizó un análisis para la abundancia y composición del zooplancton en relación a las series de tiempo semanales desde enero hasta diciembre de 2017, seguido de un análisis de componentes principales y de correlación simple para determinar las relaciones entre la diversidad y los parámetros físico-químicos. También se utilizaron transformaciones wavelet para describir las escalas

dominantes de variabilidad de las condiciones oceanográficas y de la comunidad de zooplancton a lo largo de la serie de tiempo. Todos los análisis estadísticos se realizarán en el software R (R Development Core Team, 2020).

8.7 Técnicas para el procesamiento de la información

Análisis de composición comunitaria

Las estimaciones de abundancia del zooplancton se estandarizaron a metros cúbicos, a partir de la información del flujómetro y calculada con la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{abundancia en la muestra (ind)} * 100}{((\text{área de red} = \pi r^2) * 0.3 (F_{wf} - F_{wi}))}$$

Donde:

r= radio de la boca de la red

F_{wf} – F_{wi}= diferencia del valor final e inicial del flujómetro.

Análisis de Componentes Principales

El Análisis de las Componentes Principales (ACP) es una técnica estadística que se aplica como parte del análisis exploratorio de los datos, perdiendo la menor cantidad de información posible (varianza). Un ACP permite reducir un gran número de variables cuantitativas a un menor número de variables transformadas (componentes principales) que expliquen gran parte de la variabilidad en los datos. Cada componente principal es una combinación lineal de las variables originales y son independientes o no correlacionadas entre sí.

El cálculo de los componentes principales depende de las unidades de medida empleadas en las variables. Por ello, se estandarizan las variables para que tengan media 0 y desviación estándar 1. La estandarización se lleva a cabo restando a cada valor la media y dividiendo entre la desviación estándar de la variable a la que pertenece:

$$\frac{X_i - \text{media}(x)}{sd(x)}$$

Análisis Wavelet

Se utilizaron transformaciones wavelet para determinar las escalas dominantes de variabilidad en la comunidad de zooplancton a lo largo de la serie de tiempo de un año. Se estableció un espaciado entre escalas en 1 (dt=1), las transformaciones wavelet se calcularon con el software R usando el paquete dplr. Para determinar qué escalas fueron más importantes a lo largo de toda la serie de tiempo, calculamos el espectro de potencia de wavelet promediado en el tiempo utilizando el paquete R WaveletComp. También se realizó un análisis de wavelet cruzado para determinar las relaciones entre la diversidad del zooplancton y los parámetros ambientales.

8.8 Aspectos éticos

Se tomó el tamaño mínimo de muestra que sea representativa de la población donde los resultados sean fiables y no afecten la sostenibilidad de los recursos. Las muestras fueron recolectadas por el Instituto del Mar del Perú (IMARPE) como parte de las evaluaciones orientados a la investigación científica, así como

al estudio y conocimiento del mar peruano y sus recursos, respetando y promoviendo los conceptos de desarrollo sustentable, conservación de la biodiversidad marina, protección del medio ambiente y pesca responsable, de acuerdo a las funciones generales descritas en el Reglamento de Organización y funciones - ROF, aprobado mediante R.M. N°345-2012-PRODUCE.

IX. RESULTADOS

9.1 Condiciones oceanográficas en el 2017

Las condiciones oceanográficas en la bahía Cantolao durante el 2017 fueron muy variables. La Figura 5 muestra valores muy variables con respecto a la temperatura superficial del mar (TSM), clorofila-a y nutrientes (fosfatos, silicatos, nitratos, nitritos), mientras que se observa valores más homogéneos con respecto a la salinidad superficial del mar (SSM), pH y oxígeno disuelto (OD). El calentamiento de las aguas en la bahía se reflejó con una alta TSM desde la primera semana de enero hasta la segunda semana de junio, con un valor máximo de 21,5 °C durante la última semana de febrero. Desde la tercera semana de junio la temperatura se mantuvo por debajo de 17,6 °C, y la menor temperatura registrada fue de 14,5 °C en octubre.

La salinidad superficial del mar desde enero hasta la primera semana de abril registró valores entre 33,013 – 35,05 ups y desde abril hasta diciembre la salinidad se mantuvo entre 34,862 – 35,131 ups dentro de los valores para las Aguas Costeras Frías. El pH se encuentra en valores de 7,7 – 8,26 y el oxígeno disuelto entre 0,97 – 6,52 mL/L. En cuanto a los nutrientes, los fosfatos presentan valores entre 1,01 – 4,83 µM; los silicatos tuvieron valores entre 1,68

– 59,09 μM con picos altos durante marzo y diciembre y los más bajos durante marzo, abril y octubre; los nitratos mostraron valores entre 0,78 – 44,29 μM con picos altos en marzo y los más bajos en febrero y noviembre; los nitritos mostraron valores entre 0,06 – 3,53 μM encontrando el pico más alto la segunda semana de febrero y el valor más bajo la tercera semana de febrero.

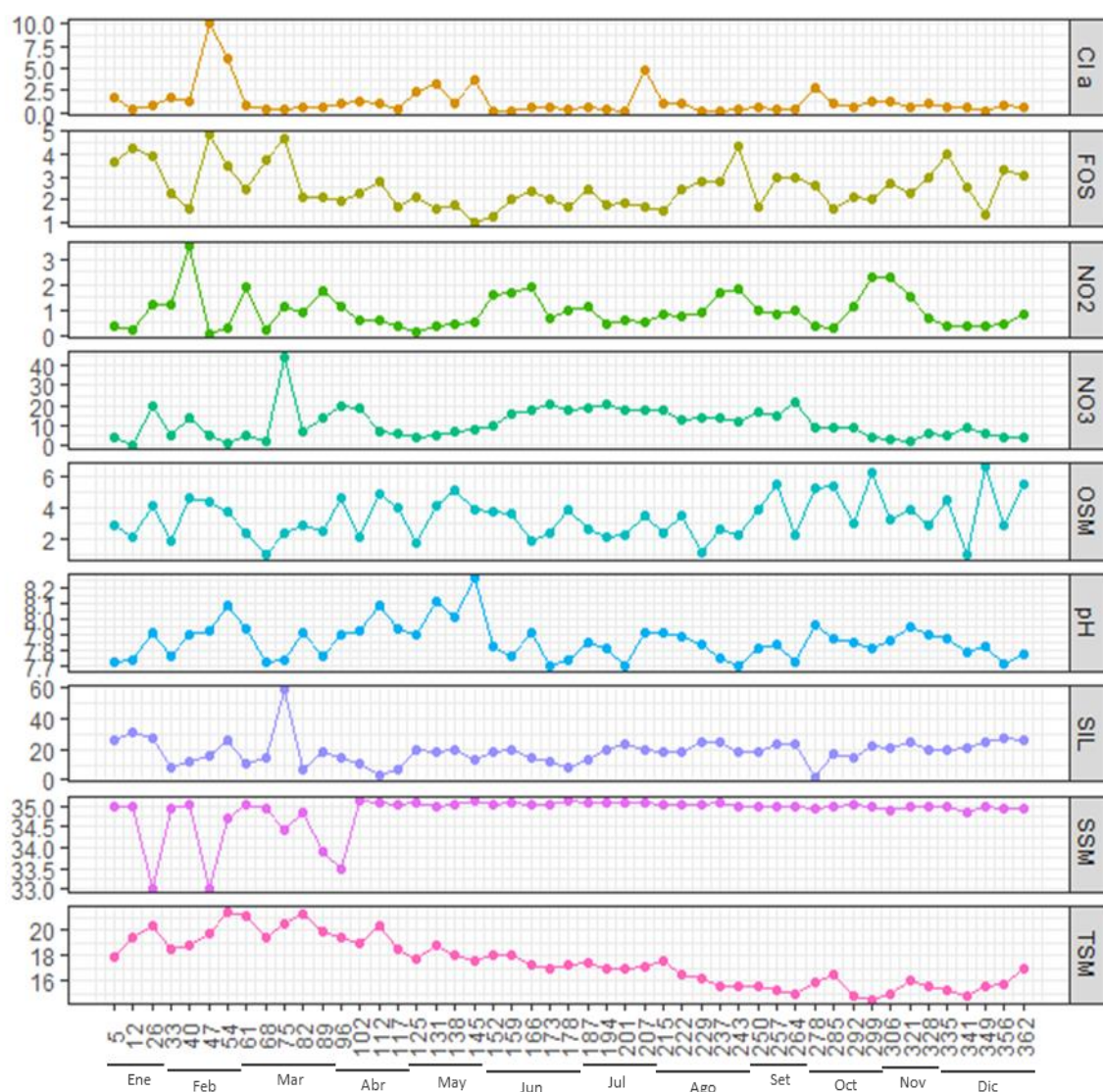


Figura 5. Series semanales de las condiciones oceanográficas e indicadores biológicos. (a) concentración superficial de clorofila-a ($\mu\text{g/L}$); (b) concentración de fosfatos (μM); (c) concentración de nitritos (μM); (d) concentración de

nitratos (μM); (e) oxígeno disuelto (OD) (mL/L); (f) pH; (h) concentración de silicatos (μM); (g) salinidad superficial (ups); (h) temperatura superficial del mar en $^{\circ}\text{C}$; en base a los datos en el período 2017.

Con respecto a los indicadores biológicos, la clorofila-a, un indicador de la producción del fitoplancton, presentó concentraciones entre $0,1 - 10,07 \mu\text{g/L}$, los picos más altos se dieron en la tercera ($10,07 \mu\text{g/L}$) y cuarta semana ($6,03 \mu\text{g/L}$) de febrero durante la temporada de verano, mientras que los valores más bajos se dieron en agosto y diciembre ($0,1 \mu\text{g/L}$). La abundancia de la comunidad de zooplancton (Fig. 6) presentó dos picos altos, el primero durante la primera semana de febrero ($62\ 526,46 \text{ ind.m}^{-3}$) y el segundo pico durante la primera semana de octubre ($44\ 614,79 \text{ ind.m}^{-3}$).

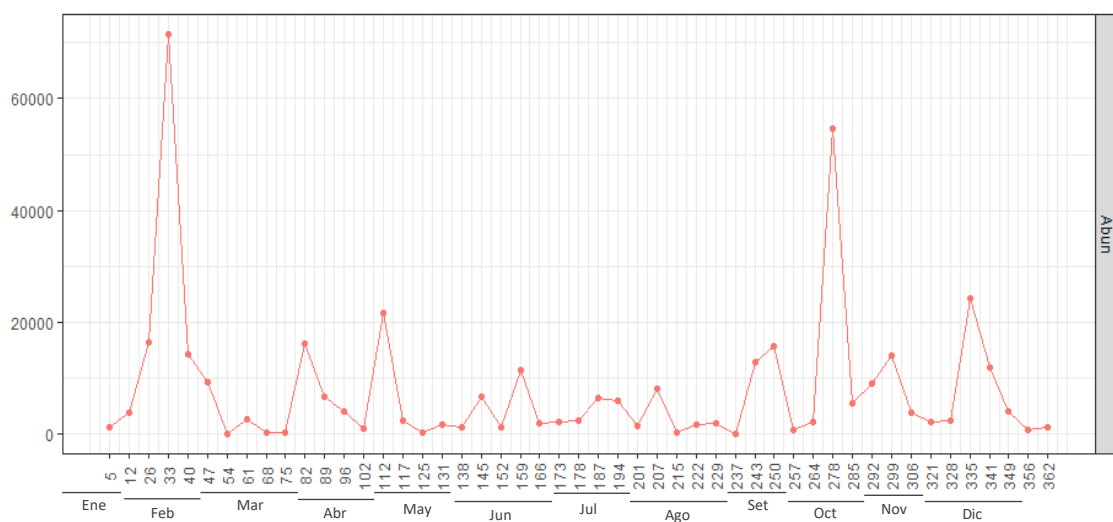


Figura 6. Serie semanal de la abundancia del zooplancton (ind.m^{-3}) durante el período 2017.

El espectro wavelet para las series de tiempo de los parámetros ambientales determinó la escala dominante general promediada a lo largo de la serie temporal. El análisis wavelet reveló que la temperatura superficial del mar (Fig. 7) presenta una señal significativa con un nivel de confianza del 90% relacionada con un período de 4 semanas durante los 5 primeros meses (enero - mayo) y una señal significativa con una periodicidad de 5 semanas durante 3 meses (octubre - diciembre). La salinidad superficial del mar presentó una señal significativa (nivel de confianza del 90%) relacionada con un período de 3 semanas durante los primeros 4 meses (enero – abril). El pH presenta una señal muy significativa (nivel de confianza del 95%) con una periodicidad de 12 semanas desde enero hasta setiembre y una periodicidad de 2 a 4 semanas desde abril hasta julio, pero no fue significativa. El oxígeno disuelto presentó una señal con un período entre 2 a 3 semanas durante febrero, abril, octubre y diciembre, pero las zonas no fueron significativas.

Los nutrientes presentan una distribución similar en el análisis wavelet (Fig. 8). Los nitratos presentan una señal significativa (nivel de confianza del 90%) con periodicidad de 9 semanas desde febrero hasta octubre. Los nitritos presentan una señal muy significativa (nivel de confianza del 95%) con una periodicidad de 8 semanas desde marzo hasta diciembre. Los fosfatos y silicatos presentan dos periodos muy significativos (nivel de confianza del 95%). Los fosfatos tuvieron una periodicidad de 4 semanas desde enero hasta abril y desde octubre a diciembre, y una periodicidad de 8 semanas desde febrero hasta octubre. Los silicatos tuvieron un período de 4 semanas desde enero hasta abril y otro período de 9 semanas desde enero hasta mayo.

Los análisis wavelet de los indicadores biológicos presentan varios periodos en el mismo tiempo (Fig. 9). La clorofila superficial presenta varios periodos de 3, 6 y 10 semanas, pero la más significativa está representada por un período de 10 semanas desde enero hasta setiembre. La abundancia del zooplancton presentó modos periódicos de 2, 4 y 6 semanas, desde enero a febrero y desde setiembre a noviembre, pero sin valores significativos.

Las Fig. 10, 11 y 12 muestran el análisis espectral cruzado de wavelet realizado mediante la transformada “wavelet de coherencia” entre las series temporales de las condiciones oceanográficas con la abundancia del zooplancton. Se identifica las bandas de los períodos dentro de los cuales las dos series co-varían, la intensidad se representa en zonas de color rojo y el desfase mediante flechas. Los resultados del Wavelet de Coherencia parecen indicar que la temperatura y el zooplancton (Fig. 10) estaban relacionados entre sí. La correlación entre la temperatura y el zooplancton se evidencia en diferentes períodos a lo largo de todo el año. Primero, un período significativo de 2 a 4 semanas desde marzo hasta octubre, pero con una dominancia de un período de 4 semanas desde marzo hasta julio. Las flechas de color negro, horizontales y apuntando a la derecha determinan que la relación es positiva y que ambos índices están en fase lo que significa que las dos series temporales se mueven juntas en una escala particular. En segundo lugar, se observa un período de 2 semanas entre julio y agosto. Por último, varios períodos desde agosto hasta diciembre.

Para la Salinidad superficial del mar (SSM) y la abundancia del zooplancton el Wavelet de coherencia determinó una correlación de 4 a 6 semanas desde abril hasta junio con una relación positiva en fase, pero con un ligero retraso de 40° , y una correlación con un período de 4 semanas durante agosto y octubre que se

encuentran en antifase (relación negativa). Entre el pH y el zooplancton hubo poca relación, con un período de 2 semanas en enero en antifase y un período de 2 semanas en octubre en fase. Entre el oxígeno y el zooplancton hubo una relación negativa con un período de 2 semanas en febrero y de 6 semanas desde finales de octubre hasta noviembre. Durante junio, agosto y setiembre se observan diversas zonas con flechas verticales que indicarían que no están en fase y se desconoce si la relación es positiva o negativa.

Los resultados del Wavelet de Coherencia para los nutrientes (Fig. 11) parecen indicar que la una mayor relación con la abundancia del zooplancton se da en períodos mayores a 8 semanas. Los nitratos presentan una relación positiva desde marzo hasta inicios de noviembre, con un período de 6 semanas en marzo que está en fase, un período de 8 semanas en abril y un período de 10 semanas desde junio hasta noviembre. Y una relación negativa entre agosto y noviembre con un período de 2 y 4 semanas. Los nitritos presentan fuertes periodos de antifase, en enero con un período de 2 semanas y entre agosto y diciembre con un período de 8 semanas. Los fosfatos presentan zonas con flechas verticales que indicarían que no están en fase, entre agosto y octubre con un período de 4 semanas y entre julio y diciembre con un período de 10 semanas. Los silicatos presentan una relación de antifase con el zooplancton en períodos de 10 semanas desde marzo hasta junio y en períodos de 2, 3 y 6 semanas desde agosto hasta diciembre.

Por último, la clorofila y la abundancia del zooplancton (Fig. 12) tuvieron una relación de antifase entre enero y marzo con un período de 8 semanas y una relación en fase entre setiembre y noviembre con un período de 3 y 4 semanas.

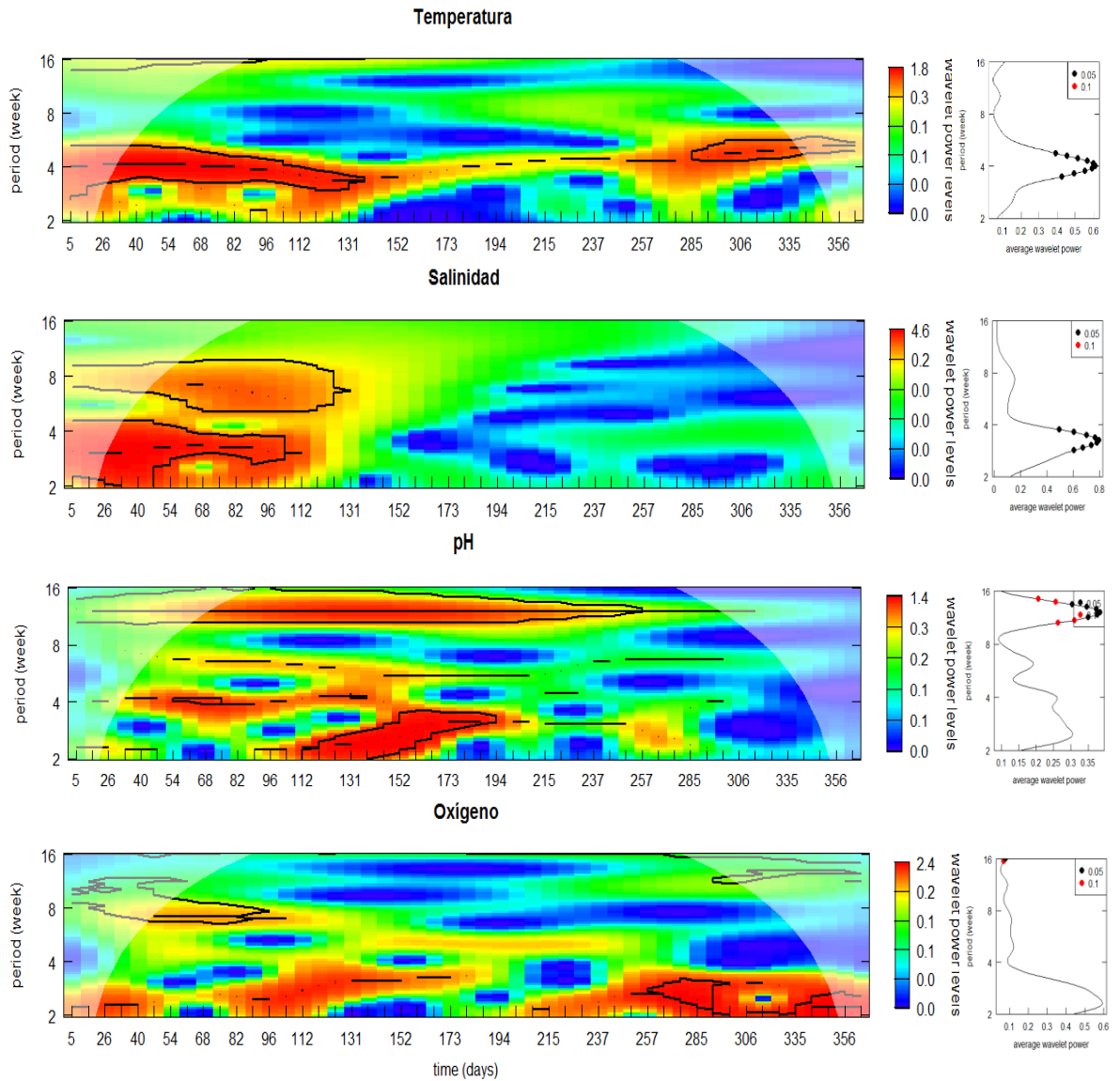


Figura 7. Análisis wavelet de las condiciones oceanográficas: TSM, SSM, pH y oxígeno disuelto. Izquierda: espectro de potencia de wavelet local. Derecha: espectro de potencia de wavelet global de la serie, muestra el nivel de significancia del 5%. Los valores de baja potencia se representan en azul y los valores de alta potencia en rojo. La sombra blanca muestra el cono de influencia y las líneas blancas muestran el nivel de significancia del 5%.

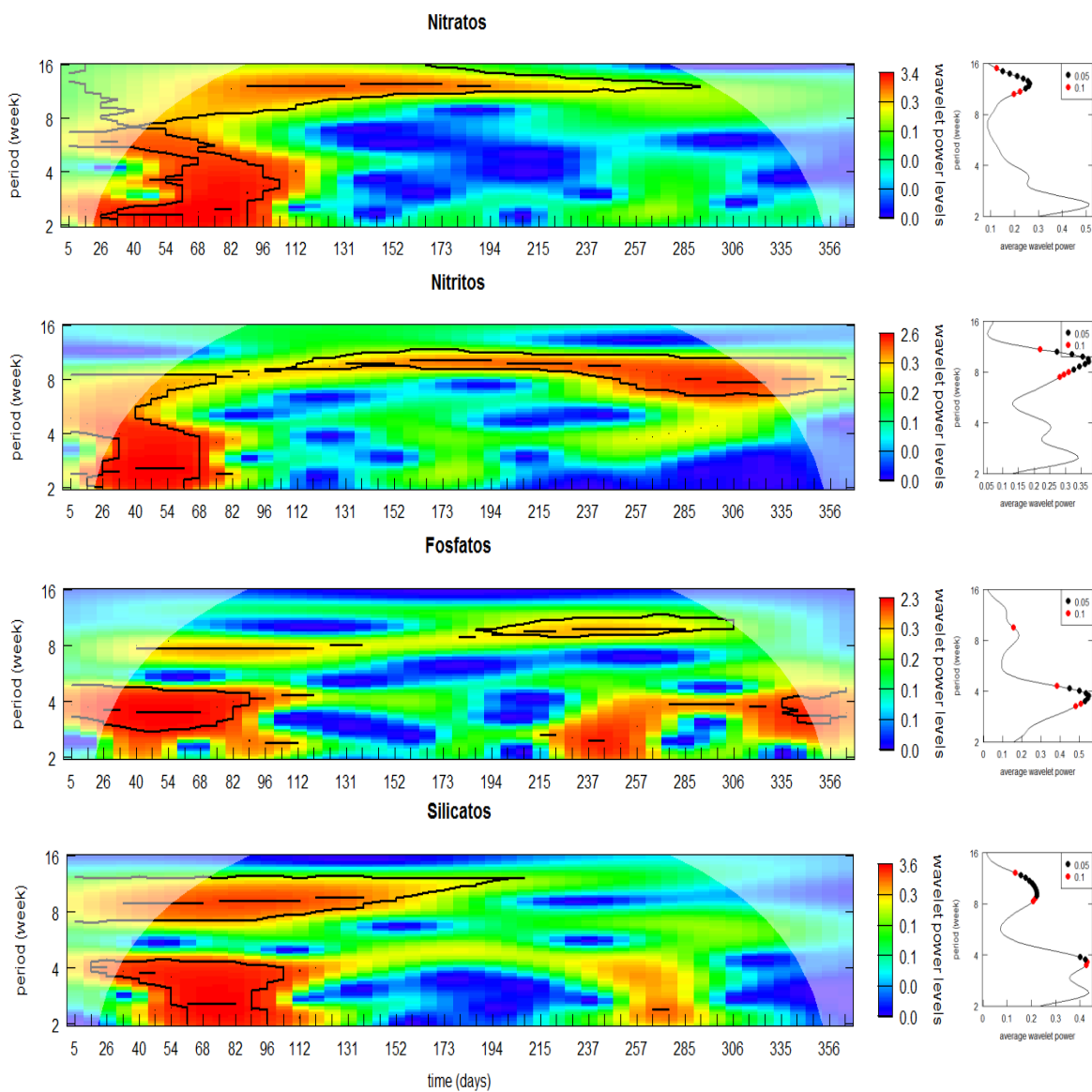


Figura 8. Análisis wavelet de los nutrientes (μM : fosfatos, silicatos, nitratos, nitritos).

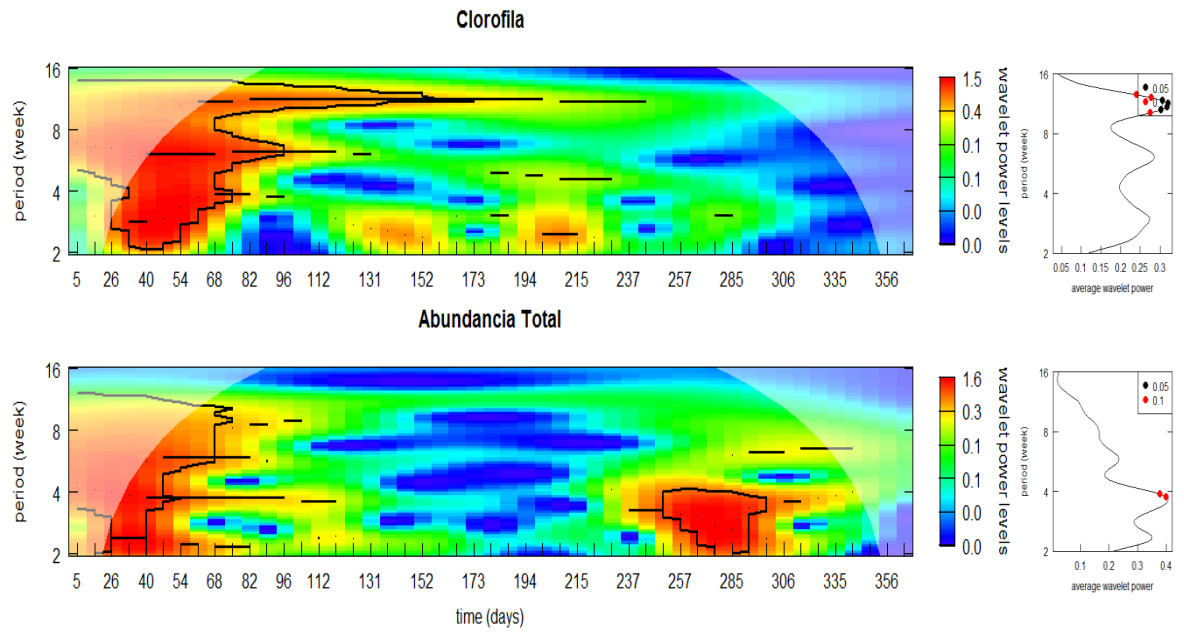


Figura 9. Análisis wavelet de los indicadores biológicos: Concentración superficial de Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) y abundancia Total del zooplancton (ind.m^{-3}).

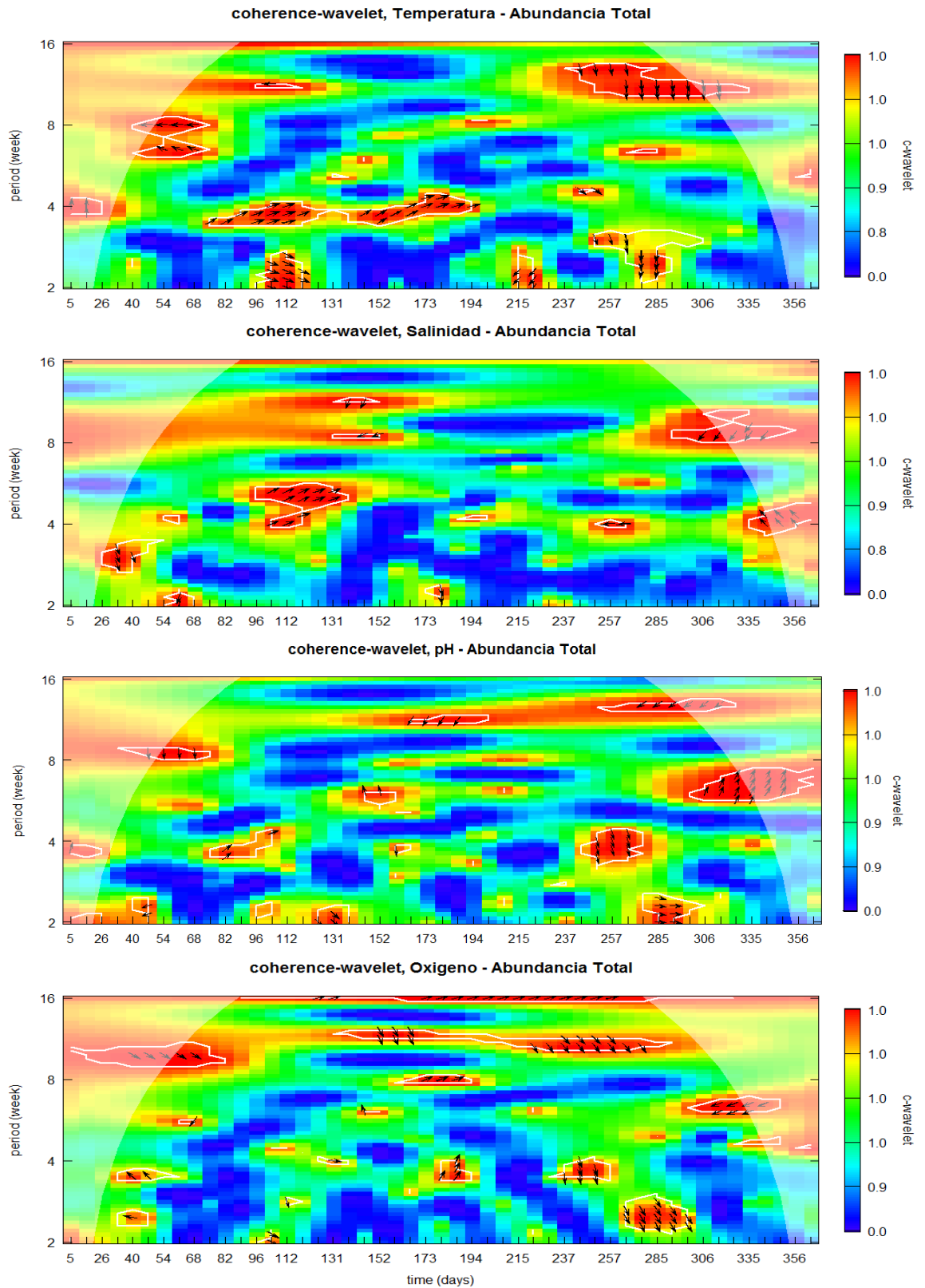


Figura 10. Wavelet de Coherencia entre las condiciones oceanográficas: TSM, SSM, pH, oxígeno disuelto y el zooplancton. El color indica la amplitud de la correlación entre las dos series, mientras las flechas indican la fase.

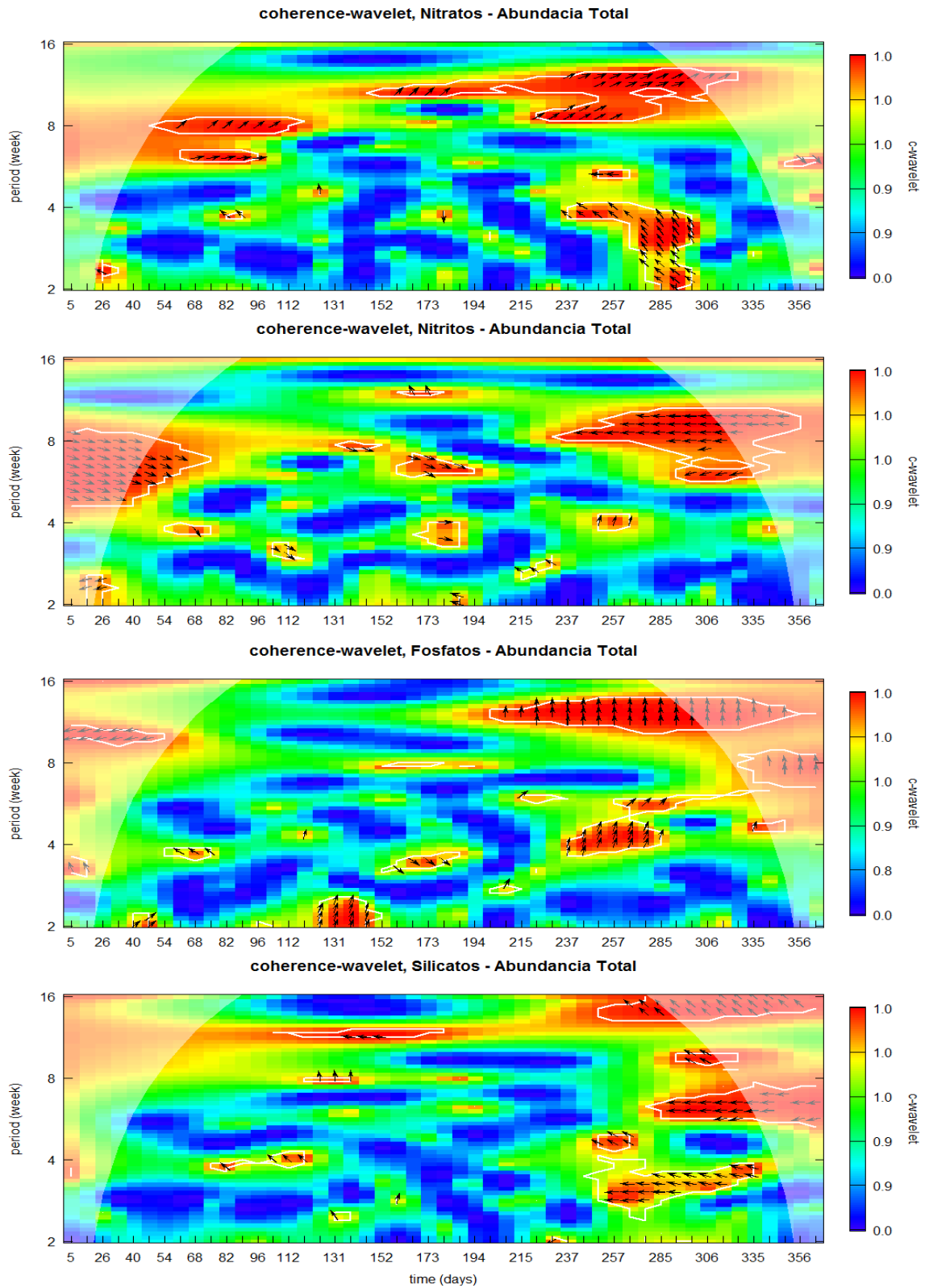


Figura 11. Espectro cruzado Wavelet de los nutrientes (μM : fosfatos, silicatos, nitratos, nitritos) con el zooplancton, se identifica las bandas de período como los intervalos de tiempo dentro de los cuales las dos series co-varían.

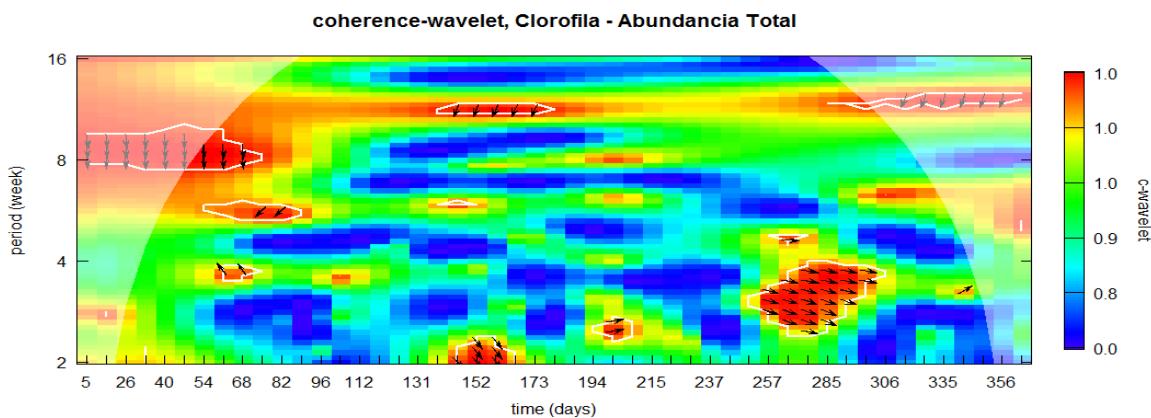


Figura 12. Espectro cruzado Wavelet de la clorofila con el zooplancton, se identifica las bandas de período como los intervalos de tiempo dentro de los cuales las dos series co-varían.

9.2 Composición y abundancia del Zooplancton

En la Tabla 6 se muestra el listado de las especies cuantificadas durante el 2017. El zooplancton estuvo compuesto por 116 especies y se determinó el phylum Arthropoda como el más abundante con 82 especies (media= 5991,72 ind.m⁻³, mín.=7,49, máx.= 62526,47 ind.m⁻³), en segundo lugar el phylum Chordata (media= 340,62 ind.m⁻³, mín.= 0, máx.= 2764,76 ind.m⁻³), seguido del phylum Mollusca (media= 181,31 ind.m⁻³, mín.= 0, máx.= 6821,35 ind.m⁻³), el phylum Annelida (media= 85,58 ind.m⁻³, mín.= 0, máx.= 2767,19 ind.m⁻³), el phylum Brachiopoda (media= 17,2 ind.m⁻³, mín.= 0, máx.= 523 ind.m⁻³), el phylum Cnidaria (media= 3,61 ind.m⁻³, mín.= 0, máx.= 143,24 ind.m⁻³), el phylum Echinodermata (media= 3,21 ind.m⁻³, mín.= 0, máx.= 65,75 ind.m⁻³) y el phylum Chaetognatha (media= 0,02 ind.m⁻³, mín.= 0, máx.= 1,08 ind.m⁻³).

La comunidad de zooplancton presentó cambios muy variables en la abundancia total a lo largo del estudio, sin ningún patrón estacional. Los máximos valores

se obtuvieron durante la temporada de verano con una disminución a partir de mayo alcanzando el mínimo en agosto y luego un ligero aumento en octubre. Desde la primera semana de enero (Día 5) hasta la tercera semana de febrero (Día 47) se observó una proporción de artrópodos entre el 94,5% al 100% (Tabla 7). El valor más alto se registró durante la primera semana de febrero (Día 33) con una abundancia total de 62 526,46 ind.m⁻³, un total de 7 especies donde los artrópodos representaron el 100%, seguido de dos picos mínimos, el primero durante la cuarta semana de febrero (Día 54) con una abundancia de 48,51 ind.m⁻³ y un total de 5 especies donde los cordados representan el 54% y los artrópodos el 46%, y el segundo durante la segunda semana de marzo (Día 68) con una abundancia de 134,82 ind.m⁻³ y un total de 8 especies donde los artrópodos representan el 14,1%, los anélidos el 79,7%, los cordados y braquiópodos el 6%. Desde la tercera semana de marzo (Día 75) hasta la tercera semana de agosto (Día 229) se registró una proporción de artrópodos entre el 65,9% al 99,8%. El valor más bajo de la abundancia total se registró durante la cuarta semana de agosto (Día 237) con 14,82 ind.m⁻³ y 8 especies donde los artrópodos representan el 50,5% y los cordados el 49,5%. Mientras que el segundo pico más alto de abundancia total se dio durante la primera semana de octubre (Día 278) con 44 614,79 ind.m⁻³, un total de 13 especies donde los artrópodos representaron el 98%, los cordados el 1,9% y los moluscos menos del 0,01% (Figura 13A, B y C).

La proporción más alta de cordados (Figura 13B) se registró durante la tercera semana de setiembre (Día 264) con el 85,5% y la más baja de artrópodos con 14,1%, seguido de la segunda semana de noviembre (Día 306) con una proporción de 79% de cordados y 20,9% de artrópodos; por último, la tercera

semana de diciembre (Día 349) con una proporción de 78,7% de cordados y 20,9% de artrópodos. La proporción más alta de moluscos se registró durante la cuarta semana de octubre (Día 299) y durante la primera semana de diciembre (Día 335), con una proporción de 15,2% y 34,1%, respectivamente.

La variación del número de especies (Figura 13C, D) se dio desde 4 especies hasta un máximo de 26 especies. El máximo valor de 26 especies se obtuvo durante la temporada de otoño en la segunda semana de junio (Día 159) con una proporción de 99,3% de artrópodos con 13 especies de copépodos y 6 especies de malacostracos, 0,6% de cordados con 4 especies de Actinopterygii; seguido de 25 especies durante el invierno en la primera semana de setiembre (Día 250) con una proporción de 80,3% de artrópodos con 11 especies de copépodos, 8 especies de malacostracos y 3 especies de cirrípedos, 19,5% de cordados con 2 especies de Actinopterygii, y un 0,02% de moluscos y equinodermos. Los valores más bajos se dieron en verano, durante la cuarta semana de febrero (Día 54) con una proporción de 54,2% de artrópodos con 1 especie de Actinopterygii, 45,8% de cordados con 3 especies de malacostracos y 1 especie de copépodo; y primera semana de marzo (Día 61) con una proporción del 100% de artrópodos con 2 especies de copépodos y 2 especies de malacostracos.

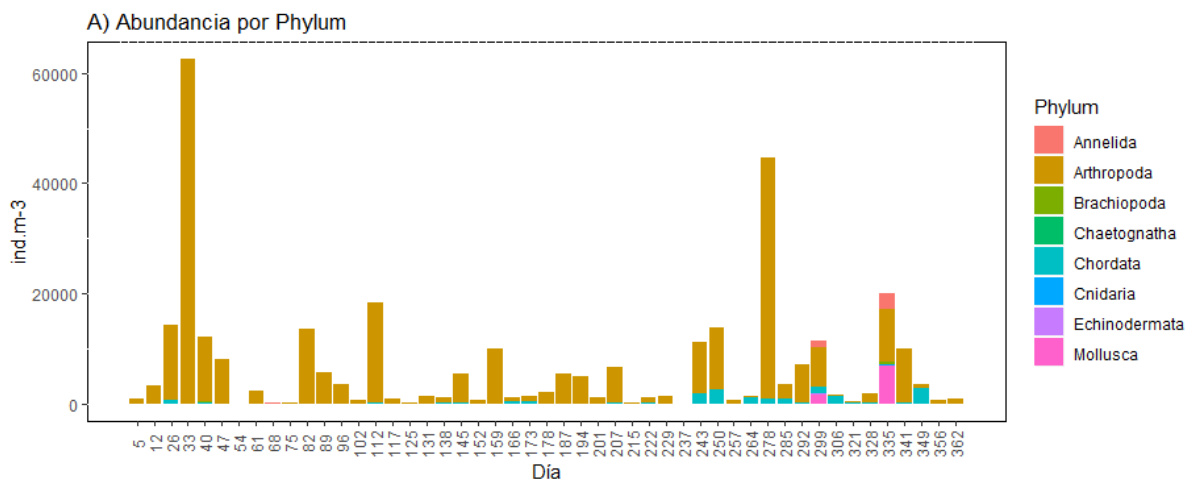
Según el tipo de alimentación (Figura 13E) la mayoría fue omnívora durante todo el estudio. Durante el Día 299 y el Día 335 se observó un aumento de la alimentación de tipo herbívora, el Día 299 coincide con una mayor abundancia de 4 especies de cirrípedos (24,4%) (Tabla 8), 1 especie de gasterópodo (15,3%) y 1 especie de equinodermo (0,6%), y durante el Día 335 con 3 especies de cirrípedos (10,5%), 1 especie de gasterópodo (34,2%) y 1 especie de equinodermo (0,3%) (Figura 14B).

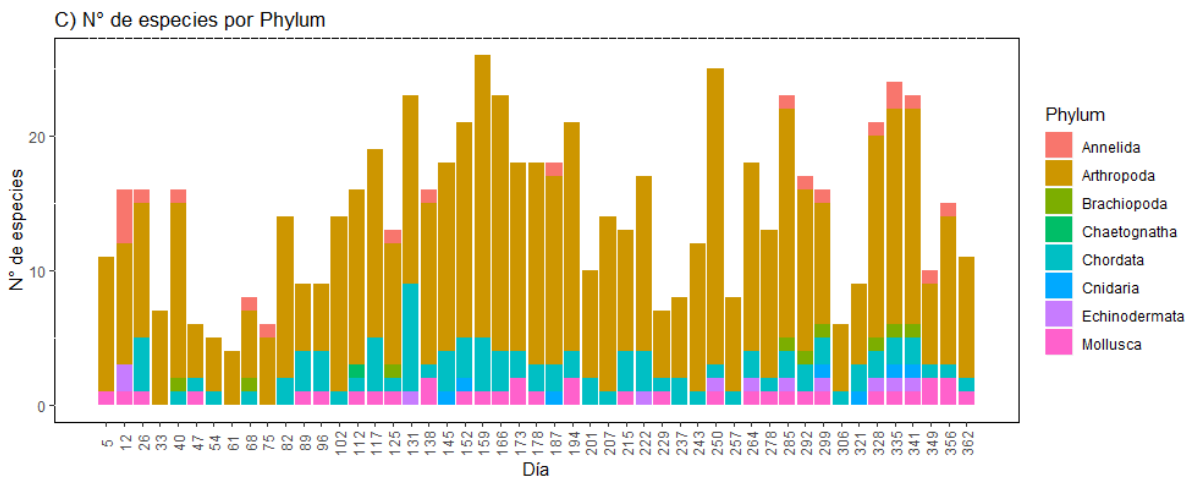
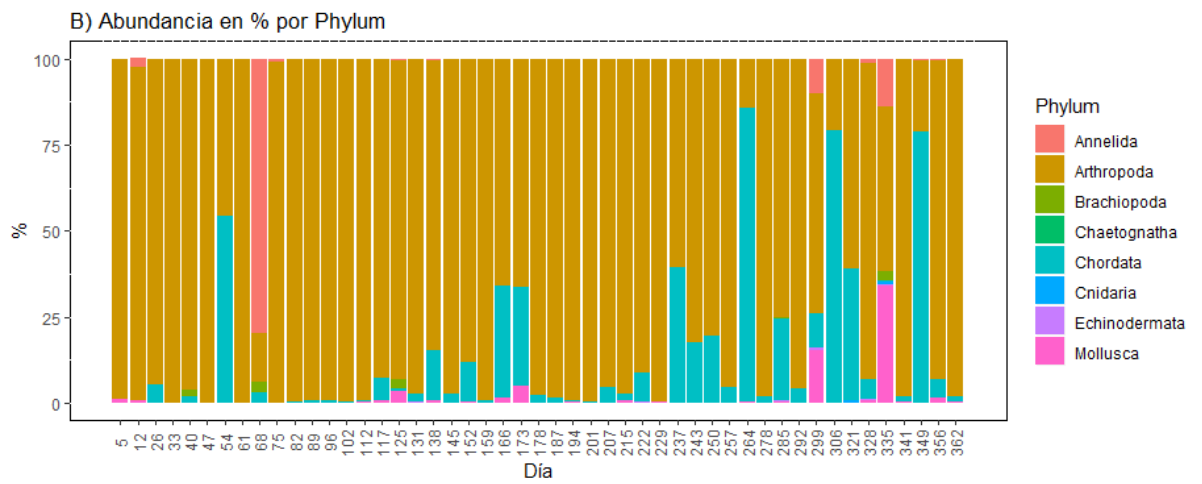
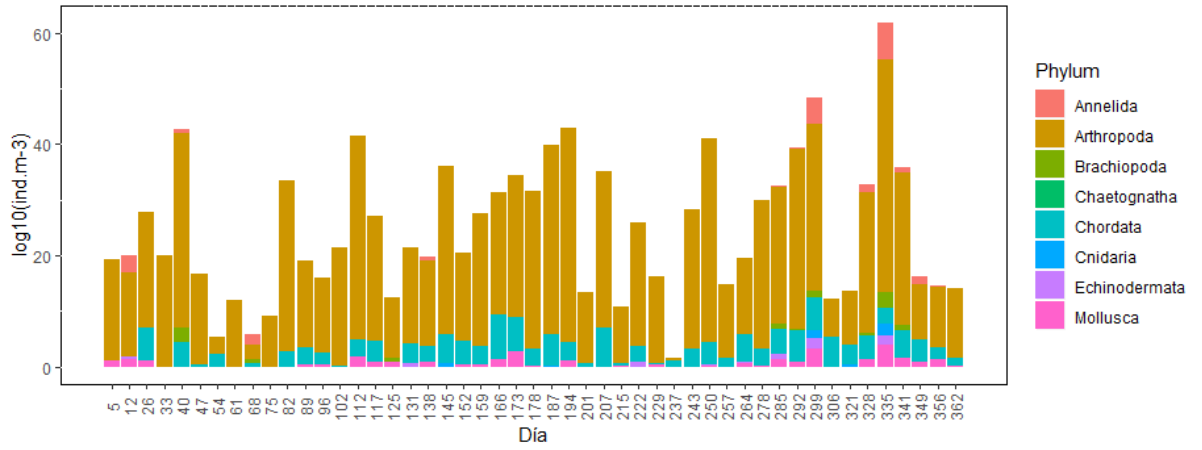
La Clase más abundante fue el de los copépodos (Fig. 14A) (media= 5763,57 ind.m⁻³, mín.= 6,38 y máx.= 62505,57 ind.m⁻³) con 48 especies de 23 familias y 5 órdenes, contribuyendo con el 87,02% del total del zooplancton, seguido de la Clase Actinopterygii (media= 331,29 ind.m⁻³, mín.= 0 y máx.= 2764,76 ind.m⁻³) con el 5% de la abundancia total (Tabla 5), los apendicularios (media= 9,18 ind.m⁻³, mín.= 0 y máx.= 129,67 ind.m⁻³) con el 0.14% del total, los gasterópodos (media= 180,69 ind.m⁻³, mín.= 0 y máx.= 6821,35 ind.m⁻³) con el 2,73% del total, los cirrípedos (media= 152,34 ind.m⁻³, mín.= 0 y máx.= 2772,28 ind.m⁻³) con el 2,3% del total, poliquetos (media= 85,58 ind.m⁻³, mín.= 0 y máx.= 2767,19 ind.m⁻³) con el 1,29% del total y las larvas de decápodos (media= 59,72 ind.m⁻³, mín.= 0 y máx.= 572,73 ind.m⁻³) con el 0.9% del total (Tabla 5).

Dentro de los copépodos (Fig. 15A) la especie más abundante fue *Acartia* sp. (media= 4978,4 ind.m⁻³, mín.= 0 y máx.= 62499,6 ind.m⁻³), seguido de *Paracalanus* sp. (media= 706,09 ind.m⁻³, mín.= 0 y máx.= 14 938,28 ind.m⁻³), *Oithona* sp. (media= 30,41 ind.m⁻³, mín.= 0 y máx.= 678,83 ind.m⁻³), *Hemicyclops* sp. (media= 30,65 ind.m⁻³, mín.= 0 y máx.= 973,18 ind.m⁻³), *Corycaeus* sp. (media= 5,13 ind.m⁻³, mín.= 0 y máx.= 214,15 ind.m⁻³) y *Oncaea* sp. (media= 5,04 ind.m⁻³, mín.= 0 y máx.= 126,66 ind.m⁻³) representando el 86,9% del zooplancton total (Tabla 5). *Acartia* sp presentó una proporción total de 75,17%, siendo la especie más representativa y dominante durante la mayoría del año, con los valores más altos de abundancia durante la primera semana de febrero (Día 33) con 62 499,59 ind.m⁻³ y la primera semana de octubre (Día 278) con 28 738,0 ind.m⁻³, además de una presencia de 0% durante la cuarta semana de mayo (Día 145), y los valores más bajos durante la segunda semana de marzo (Día 68) de 4,21 ind.m⁻³ y la tercera semana de setiembre (Día 264) con 5,69

ind.m⁻³. La abundancia de *Paralacanus* tuvo una proporción total de 10,66%, siendo mayor durante la primera semana de octubre (Día 278) con 14 938,28 ind.m⁻³ y la cuarta semana de mayo (Día 145) con 4 614,24 ind.m⁻³.

Las hembras de *Acartia* (Fig. 16A, B) representan la mayor abundancia en la superficie (media= 2 414,0 ind.m⁻³, mín. = 0, máx.= 25 611,5 ind.m⁻³), seguido de los machos (media= 1 485,8 ind.m⁻³, mín. = 0, máx.= 20 546,5 ind.m⁻³) y los estadios de Copepodito V (media= 854,64 ind.m⁻³, mín. = 0, máx.= 12 327,9 ind.m⁻³) y Copepodito IV (media= 216,15 ind.m⁻³, mín. = 0, máx.= 4013,73 ind.m⁻³). El estadio Copepodito III (media= 7,83 ind.m⁻³, mín. = 0, máx.= 349,09 ind.m⁻³) solo se mostró durante febrero, abril y julio.





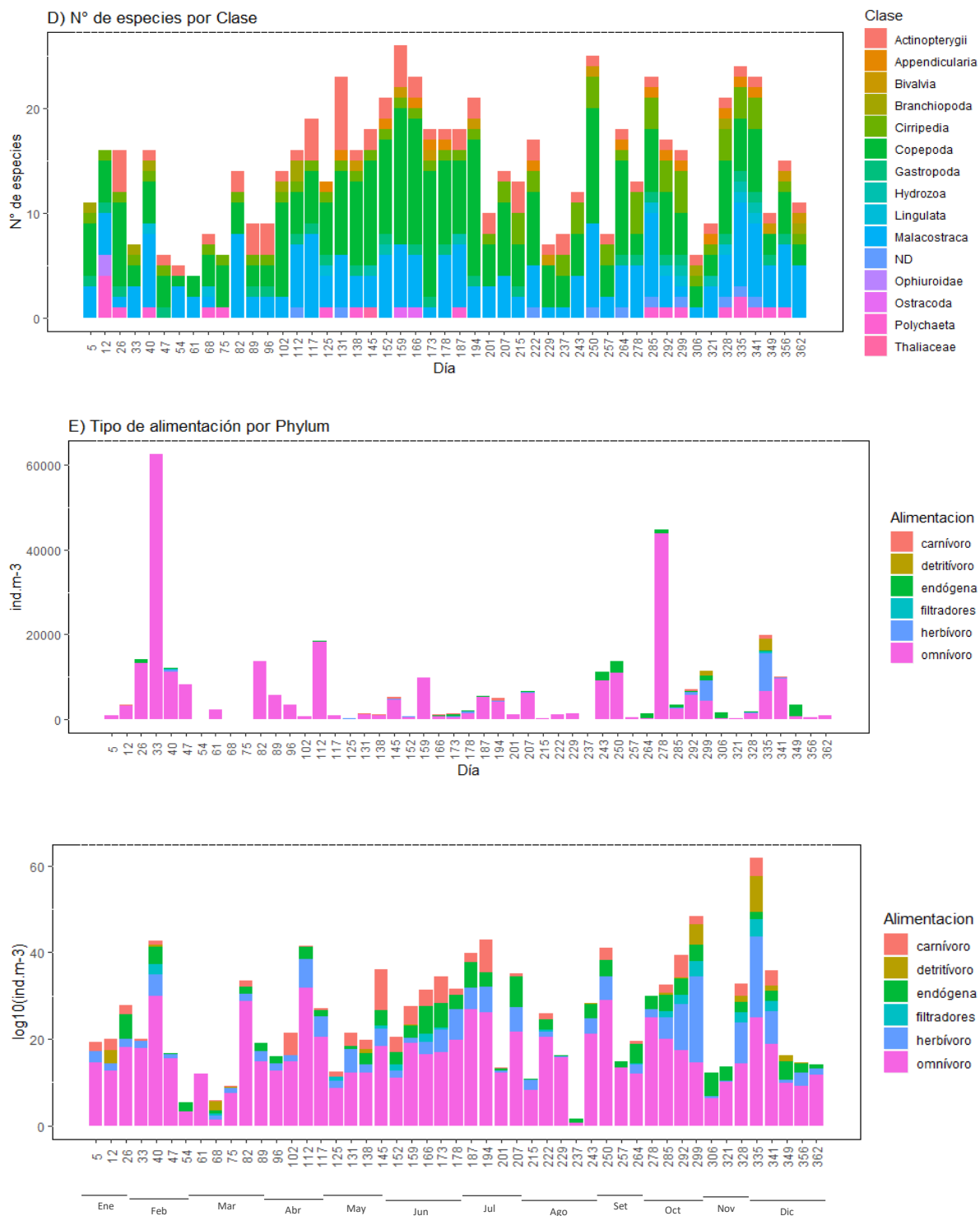
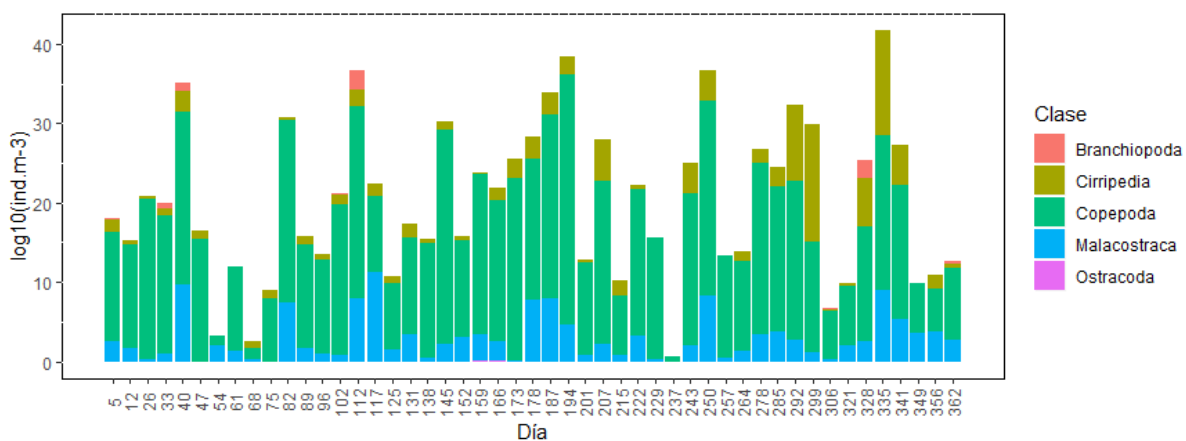
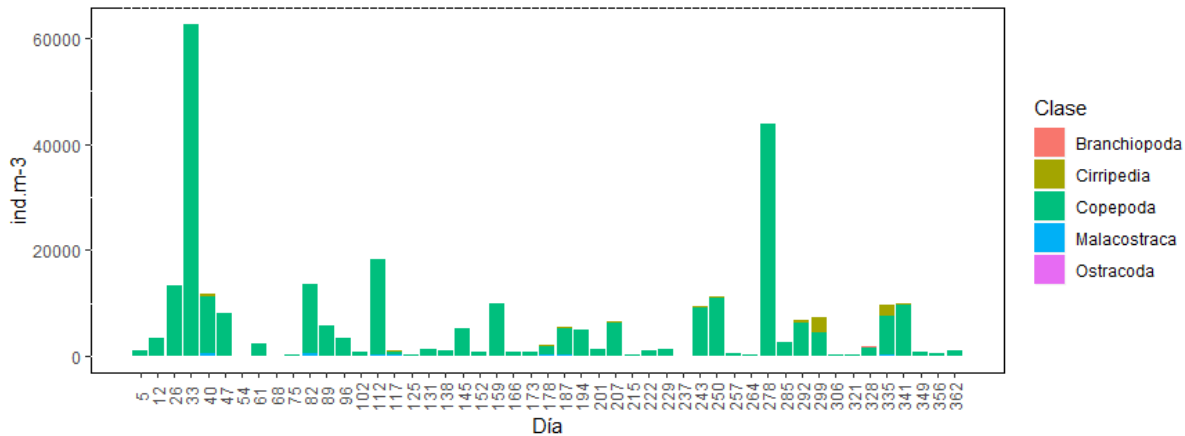
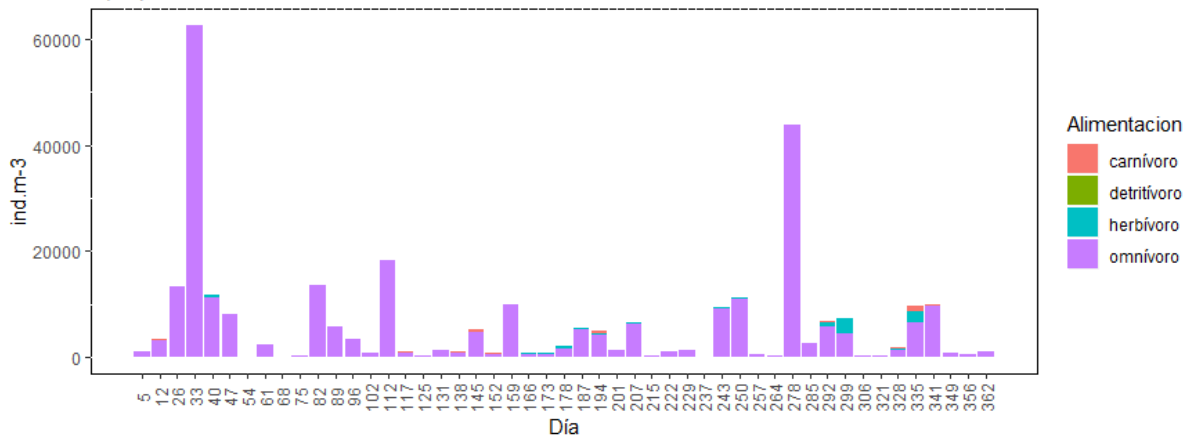


Figura 13. Abundancia relativa (ind.m^{-3}) por grupos de zooplancton en la estación fija Cantolao (Callao) durante el 2017. A) Abundancia por Phylum, B) Abundancia en % por Phylum, C) N° de especies por Phylum, D) N° de especies por Clase, E) Tipo de alimentación por Phylum.

A) Abundancia por Clase - Arthropoda



B) Tipo de alimentación



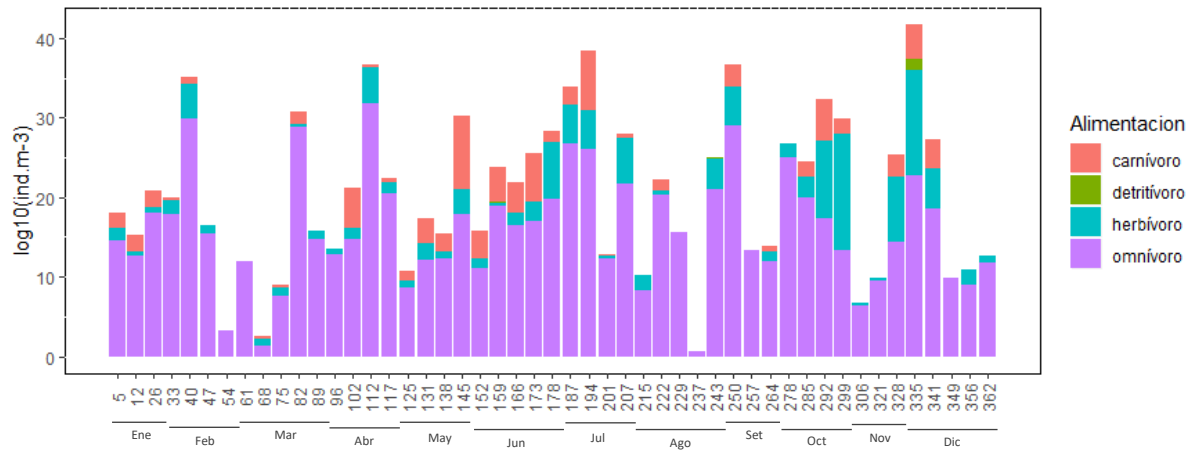
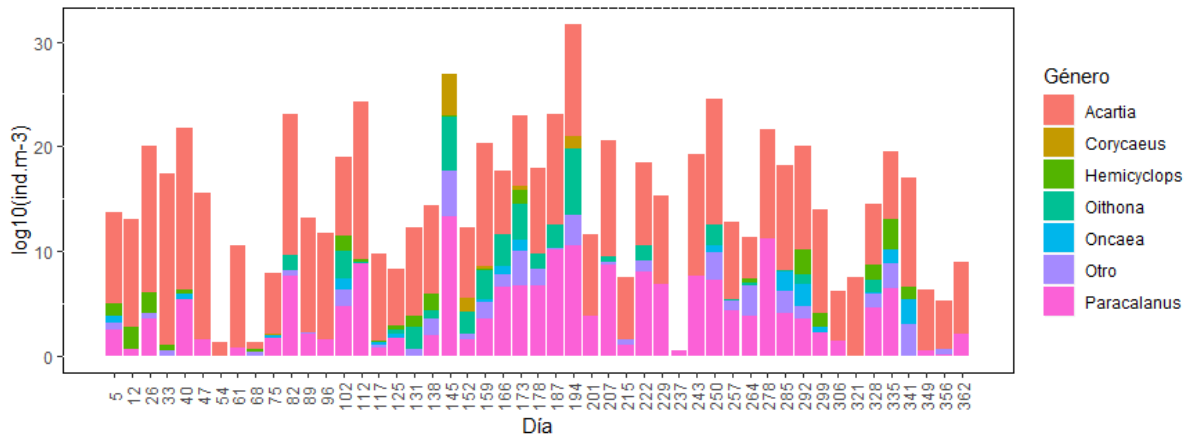
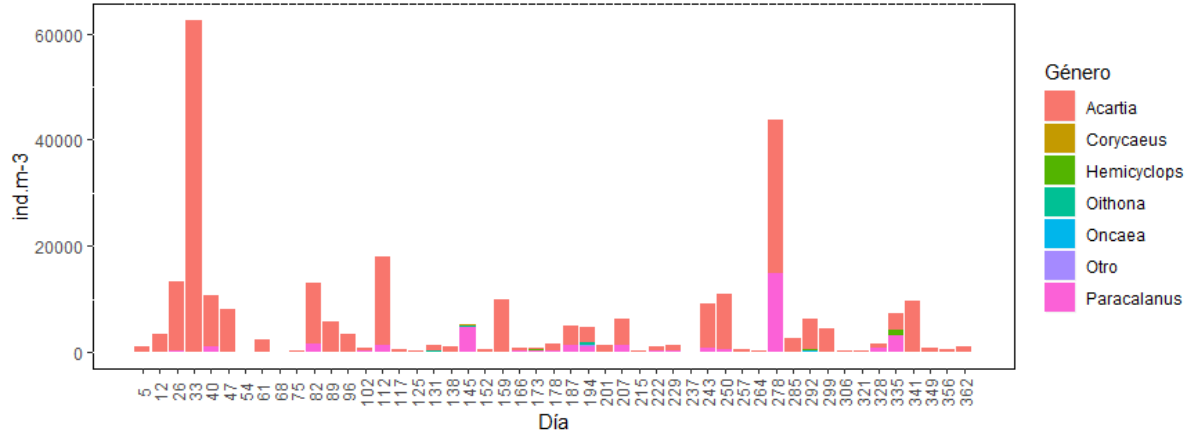


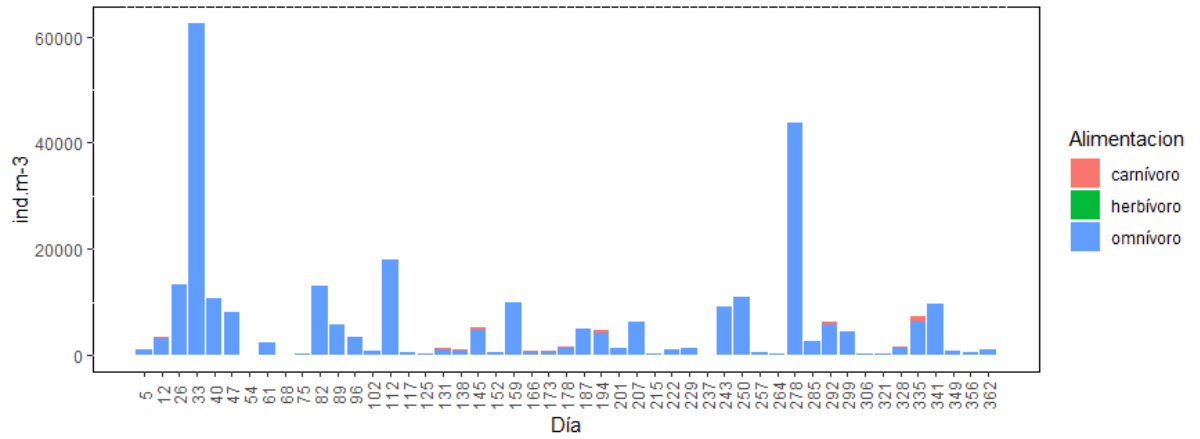
Figura 14. Abundancia relativa (ind.m^{-3}) por el Phylum Arthropoda A)

Abundancia por la Clase B) Tipo de alimentación por la Clase.

A) Abundancia por Género - Copepoda



B) Tipo de alimentación



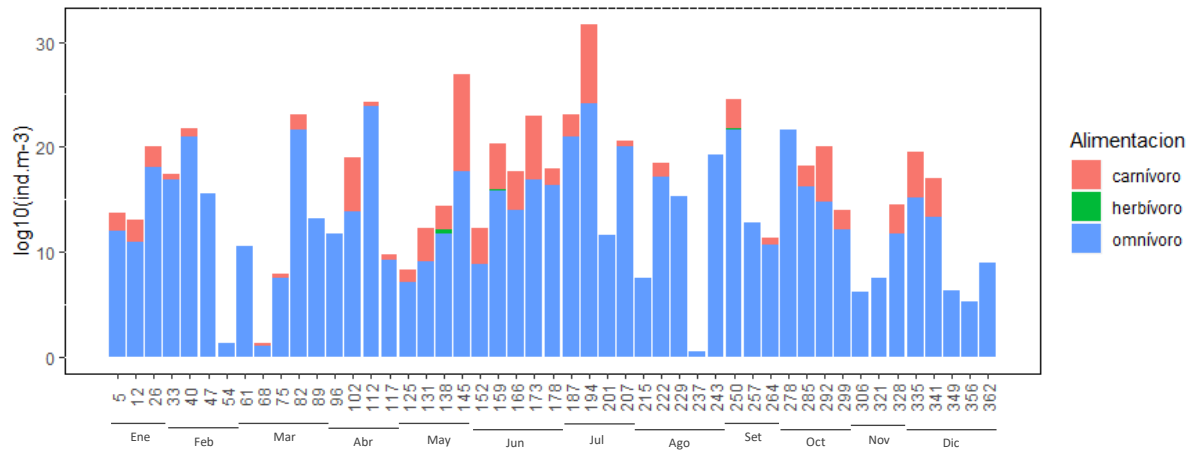
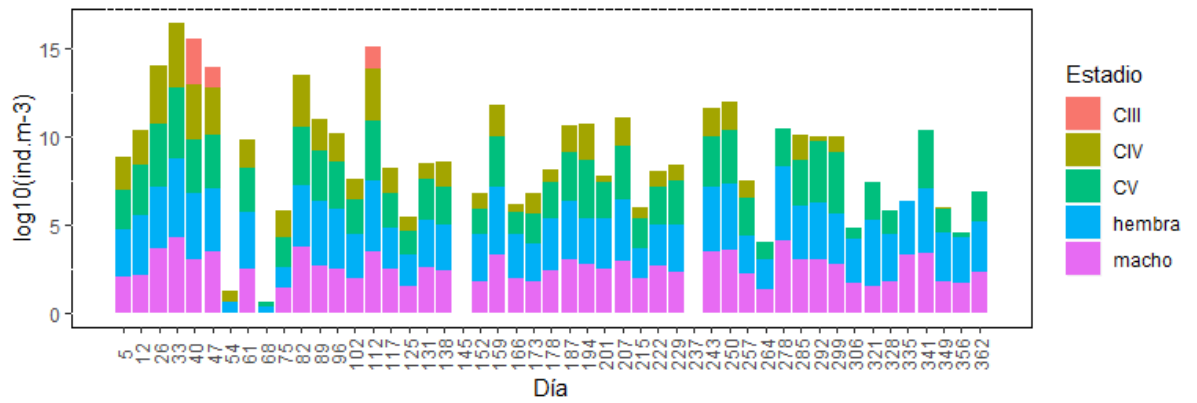
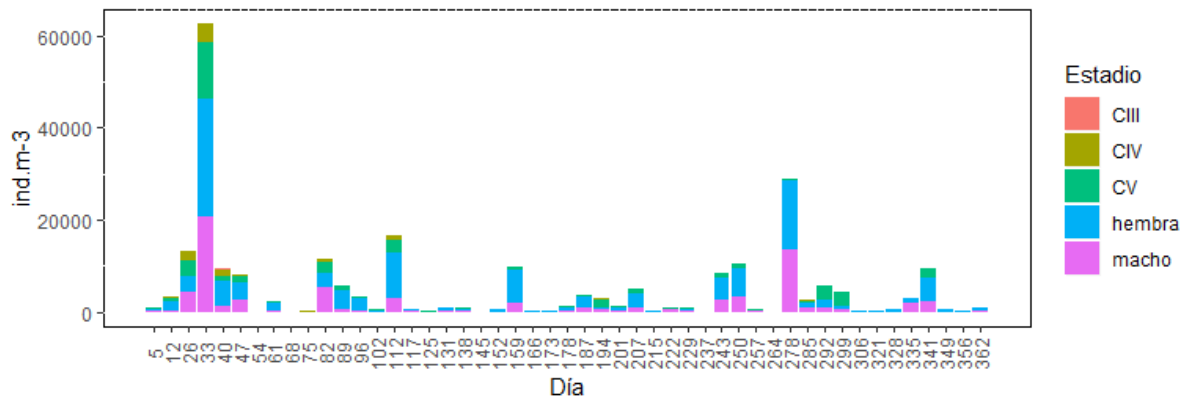
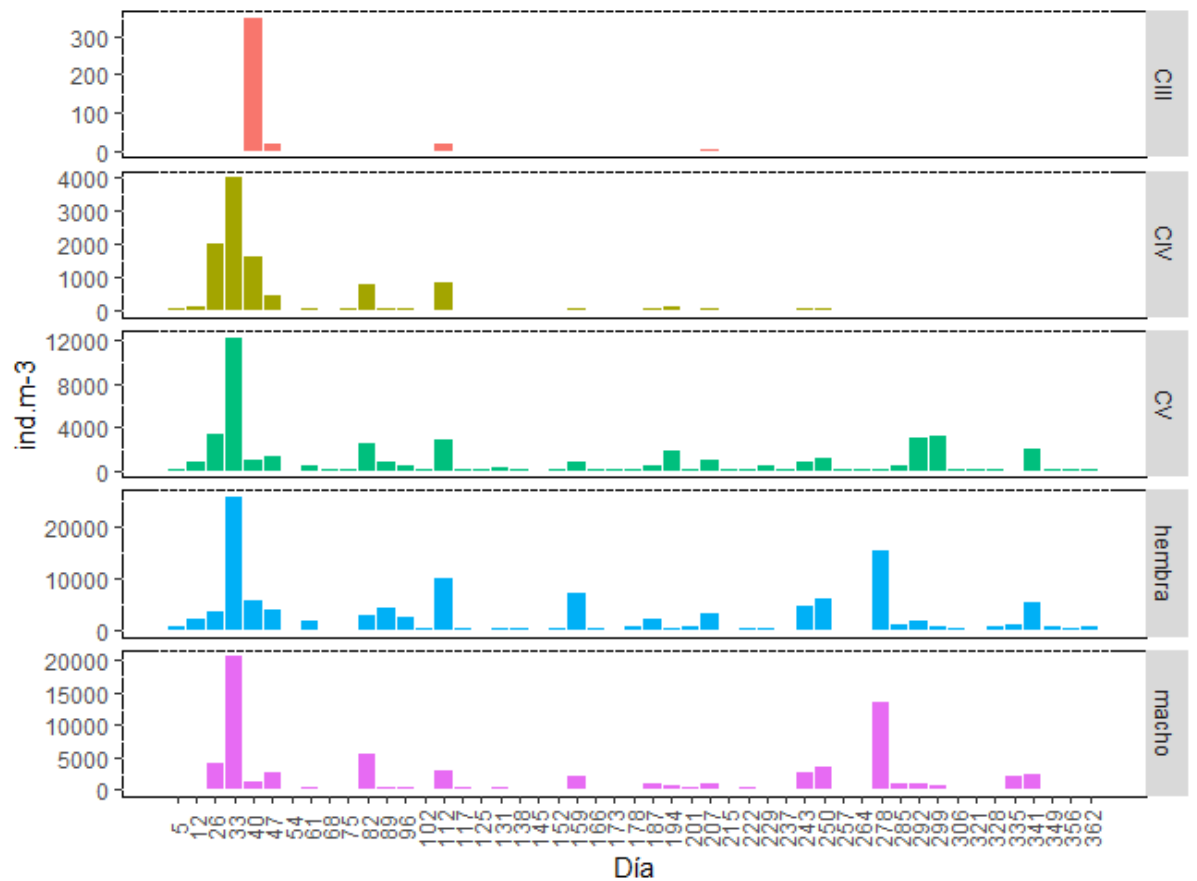


Figura 15. Abundancia relativa (ind.m^{-3}) de la Clase Copépoda. A) Abundancia por el Género B) Tipo de alimentación por género.

A) Abundancia de *Acartia n.sp*



B) Abundancia de *Acartia n.sp* por estadios



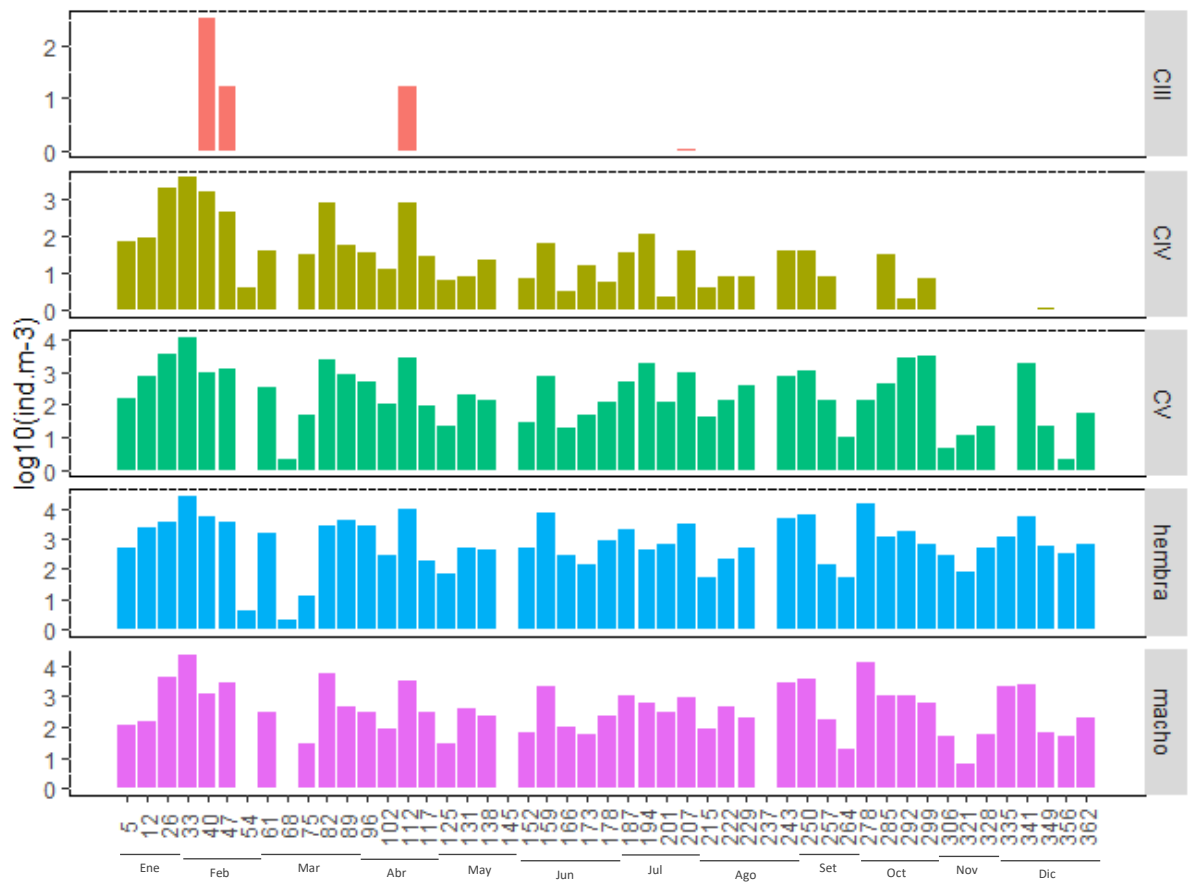


Figura 16. A) Abundancia relativa (ind. m^{-3}) de la especie *Acartia* sp., B) Abundancia relativa (ind. m^{-3}) de la especie *Acartia* sp. por estadios para ver la distribución en facetas separadas por estadio.

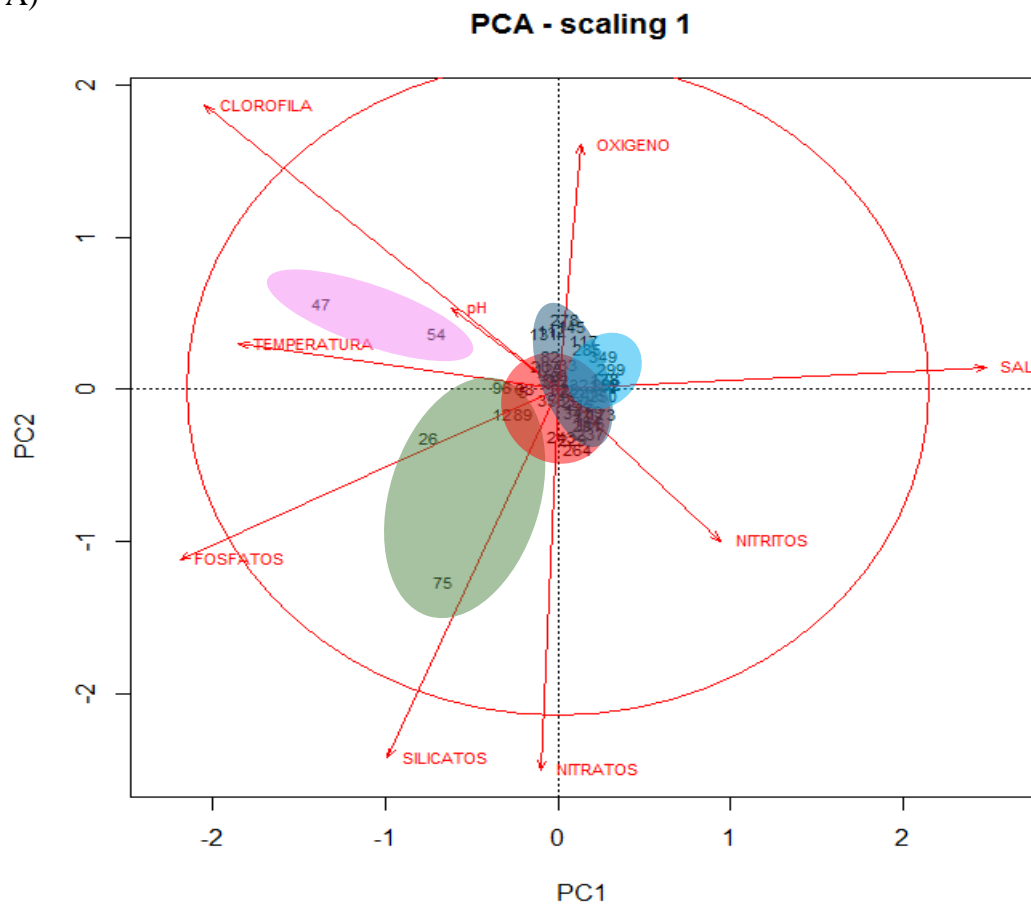
9.3 Variabilidad de la comunidad de zooplancton

Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) para ver la correspondencia entre las variables independientes (abióticas) y dependientes (bióticas) con las semanas de muestreo mediante un biplot y luego se analizaron simultáneamente todas las variables mediante un triplot. Las variables dependientes requirieron una transformación Hellinger, debido a que presentaron relaciones no lineales. Como se ve en la Figura 16, se utilizó el análisis de componentes principales (ACP) para explicar el comportamiento de las condiciones oceanográficas en relación a los días de muestreo mediante un biplot. Mediante los criterios de Kaiser-Guttman y la vara partida se determinó que los primeros 3 componentes principales son significativos y explican el 55,16% de la varianza total (Tabla 10). El componente uno (PC1) explica el 22,93% de variabilidad para las variables de temperatura ($r=-0,58$), clorofila ($r=-0,64$), fosfatos ($r=-0,68$) y salinidad ($r=0,78$); mientras el componente dos (PC2) explica el 19,03% de variabilidad para las variables de oxígeno ($r=0,46$), silicatos ($r=-0,69$) y nitratos ($r=-0,71$). El componente tres (PC3) explica el 13,21% de variabilidad para la variable de nitritos ($r=-0,70$) y pH ($r=-0,37$) (Tabla 11).

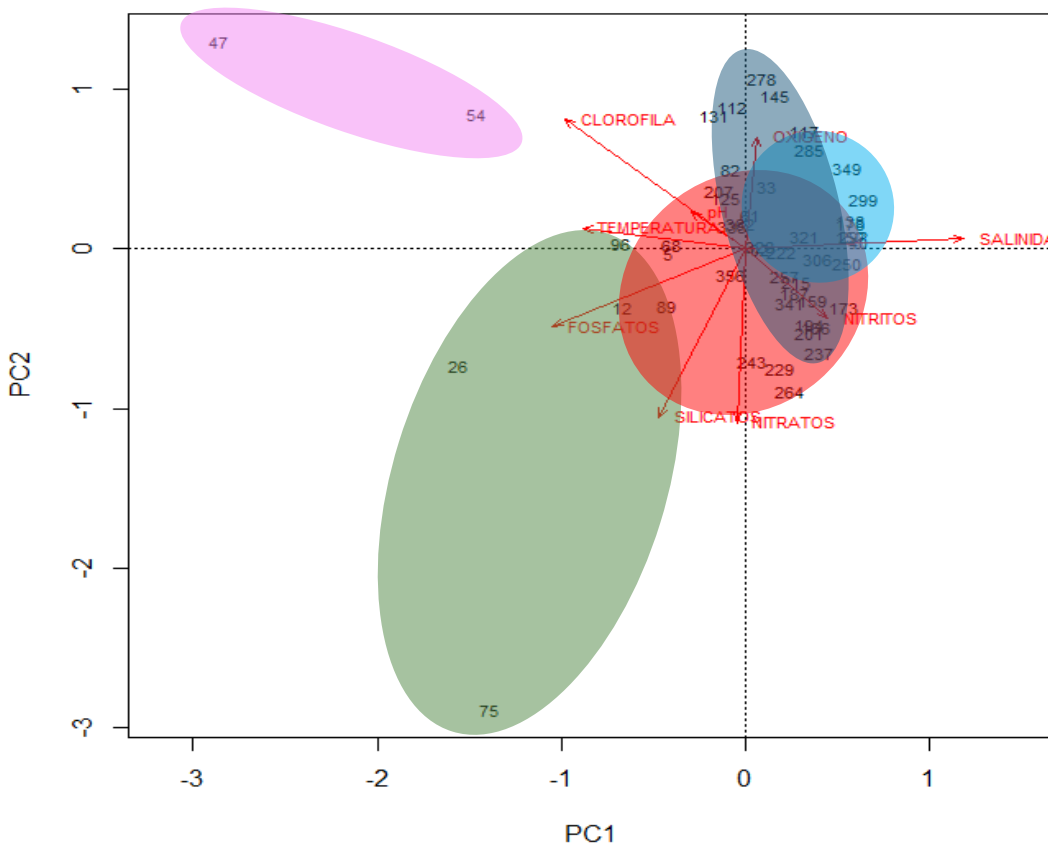
El dendrograma (cluster) (Fig. 17B) mostró 5 grupos utilizando el método Ward a partir de la distancia euclidiana y se graficó superponiendo los cluster en un PCA (Fig. 17C). La salinidad presenta una relación positiva con el PC1 sobre el grupo 4 en febrero (Día 40), mayo (Día 138), octubre (Día 299) y noviembre (Día 306 y 321) y sobre el grupo 3 en abril (Día 102), junio (Día 178) y setiembre (Día 250). Los fosfatos presentan una relación negativa con el PC1 sobre el grupo 2 en enero (Día 26) y una menor correlación sobre marzo (Día 89) y abril

(Día 96). La clorofila y la temperatura muestran una relación negativa con el PC1 sobre el grupo 5 sobre el mes de febrero (Día 47 y Día 54). Los nitratos muestran una relación negativa con el PC2 sobre el grupo 1 en agosto (Día 229 y Día 243) y setiembre (Día 264); y los silicatos con el PC2 sobre el grupo 2 en marzo (Día 75). El oxígeno muestra una relación positiva con el PC2 sobre el grupo 3 en abril (Día 112 y 117), mayo (Día 131 y 145), setiembre (Día 207) y octubre (Día 278).

A)

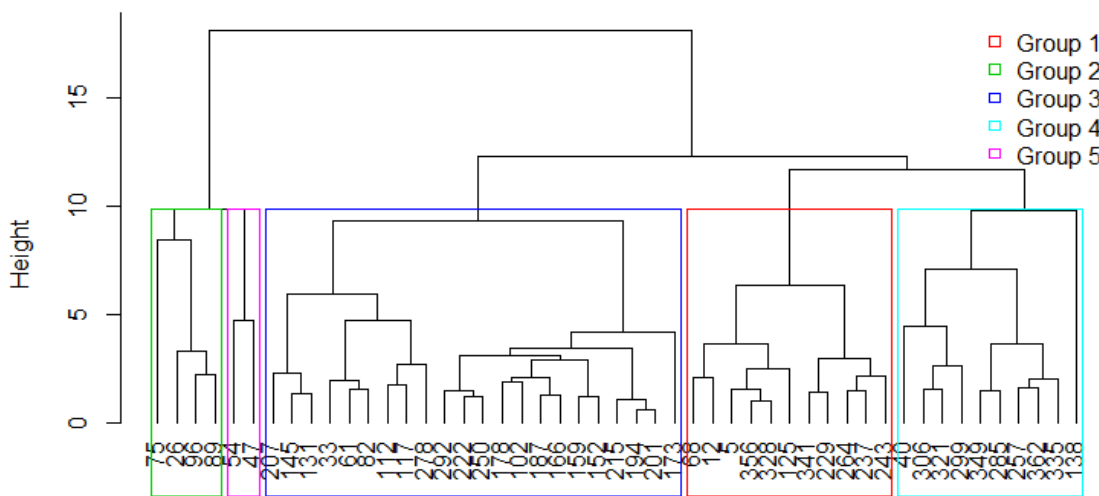


PCA - scaling 2



B)

Reordered dendrogram from hclust(d = abio.ch, method = "ward.D")



49 sites
5 groups

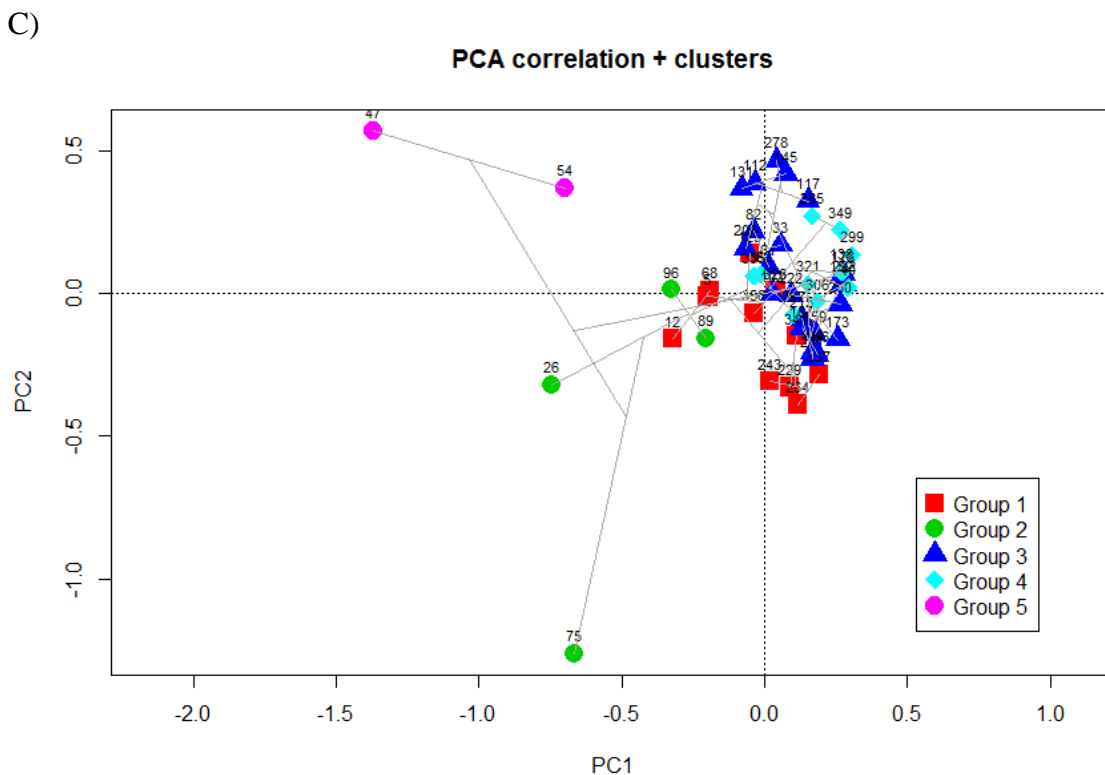


Figura 17. A) Análisis de Componentes Principales de las variables independientes en relación a los días de muestreo, B) Dendrograma, C) PCA + Cluster.

En la Figura 18, 19 y 20, se utilizó el ACP para explicar el comportamiento de las variables dependientes en relación a las semanas de muestreo mediante un biplot. Las variables dependientes se separaron en tres grupos según el Phylum, el grupo de los copépodos y por sus estadios.

Según el Phylum en relación a los días de muestreo (Fig. 18), mediante los criterios de Kaiser-Guttman y la vara partida se determinó que los primeros dos componentes principales son significativos y explican el 90,04% de la varianza total (Tabla 12). El componente uno (PC1) explica el 65,68% de variabilidad para las variables: Chordata ($r=0,97$), Arthropoda ($r=-0,88$) y Chaetognatha ($r=-0,10$), mientras que el componente dos (PC2) explica el 24,36% de variabilidad

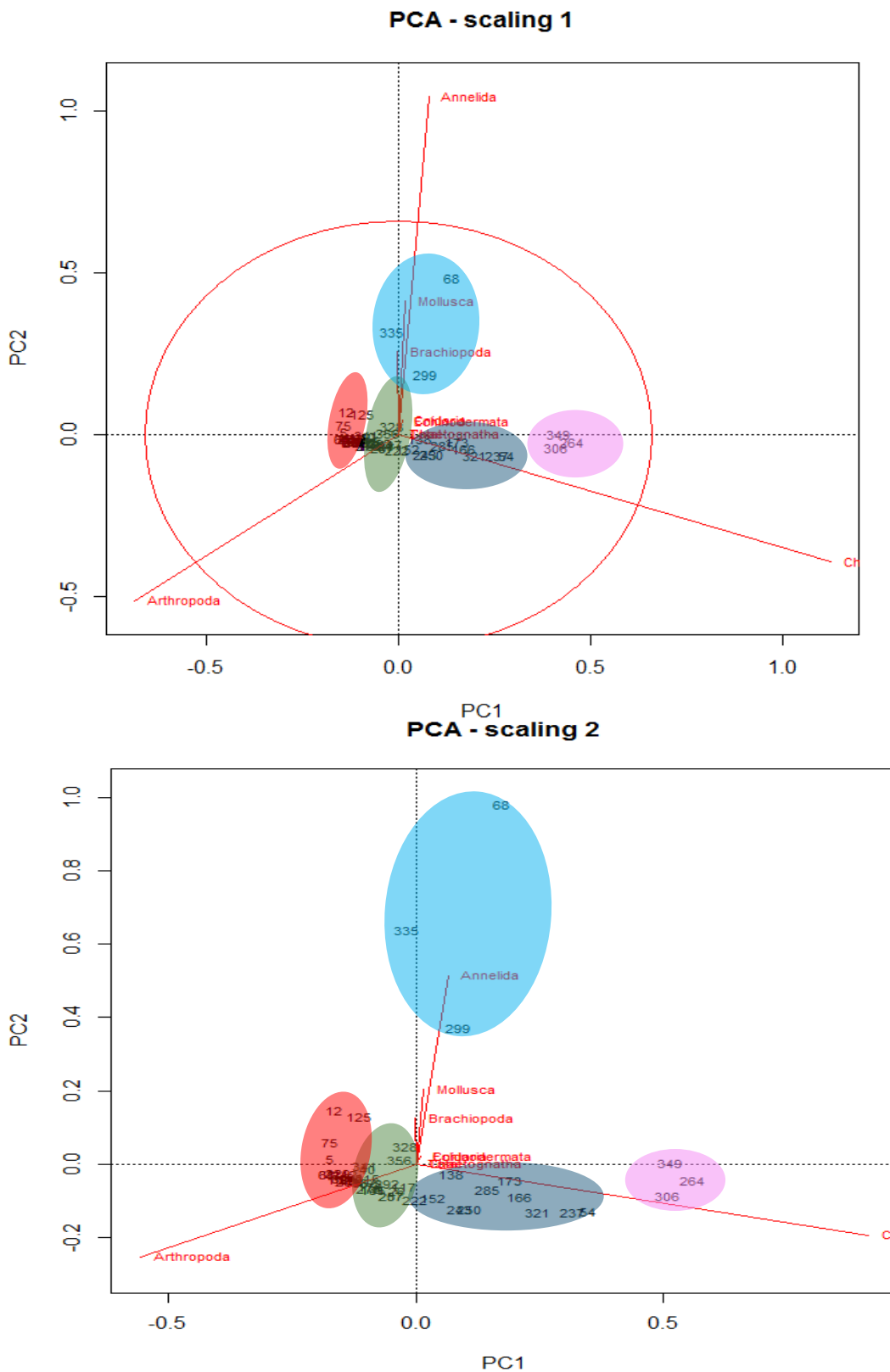
para las variables: Annelida ($r=0,96$), Brachiopoda ($r=0,74$), Mollusca ($r=0,52$), Cnidaria ($r=0,29$) y Echinodermata ($r=0,26$) (Tabla 13).

El dendrograma (cluster) (Fig. 18B) mostró cinco grupos utilizando el método Ward a partir de la distancia euclidiana y se graficó superponiendo los cluster en un PCA (Fig. 18C). Los cordados presentan una relación positiva con el PC1 sobre el grupo 3 en febrero (Día 54), mayo (Día 138), junio (Día 152, 166 y 173), agosto (Día 222, 237 y 243), setiembre (Día 250), octubre (Día 285) y noviembre (Día 321); y sobre el grupo 5 en setiembre (Día 264), noviembre (Día 306) y diciembre (Día 349). Los artrópodos presentan una relación negativa con el PC1 sobre el grupo 1 desde enero hasta agosto y sobre el grupo 2 desde abril hasta diciembre. Los anélidos, braquiópodos, moluscos, cnidarios y equinodermos muestran una relación positiva con el PC2 sobre el grupo 4 en marzo (Día 68), octubre (Día 299) y diciembre (Día 335).

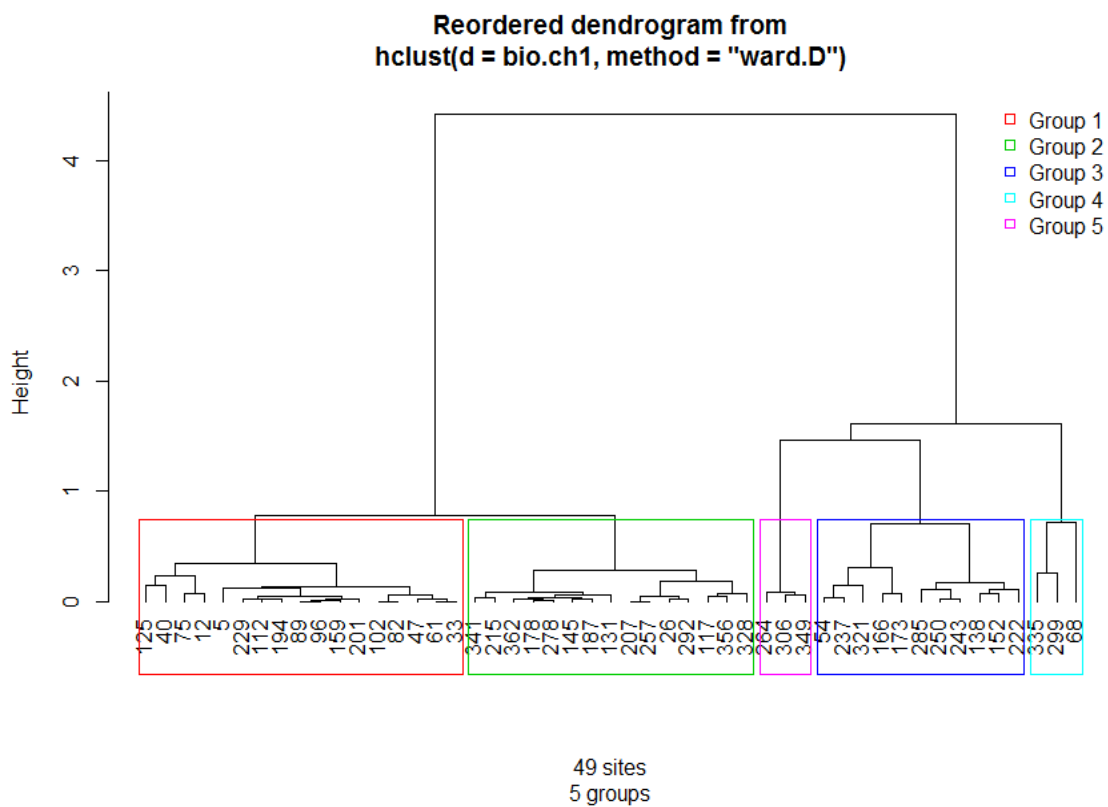
La gráfica triplot de las variables dependientes, las variables independientes según el Phylum y los días de muestreo (Fig. 18C) muestran una relación entre los artrópodos, el grupo 1 y 2 y la temperatura, clorofila y nitratos. La abundancia de los Artrópodos muestra una correlación con una concentración de temperatura entre 14,7 y 21,3 °C durante la mayoría de los días de muestreo y con los nitratos en los meses de enero (Día 26), agosto (Día 222 y 229) y setiembre (Día 257). El grupo 4 presenta mayor correlación con los fosfatos, en el día 68 se muestra una mayor abundancia de los anélidos y en los días 299 y 335 una mayor abundancia de los moluscos. Por último, el grupo 3 presenta una correlación con el oxígeno y los nitritos y una abundancia de cordados entre el 8% a 54% (Tabla 7), y el grupo 5 también muestra una correlación con la

salinidad y el oxígeno con las proporciones más altas de abundancia de los cordados entre el 78% a 85%.

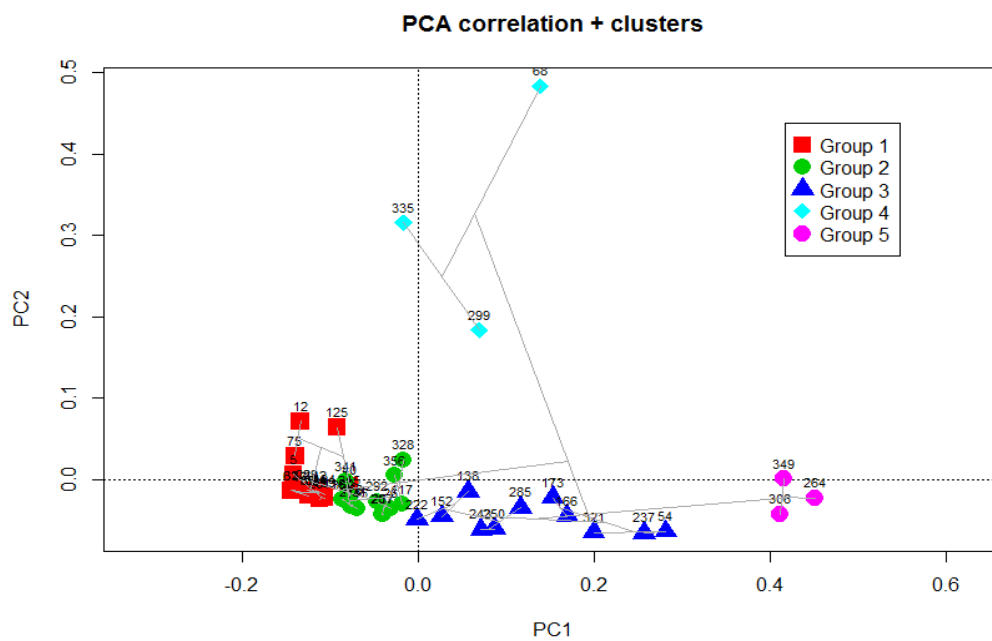
A)



B)



C)



D)

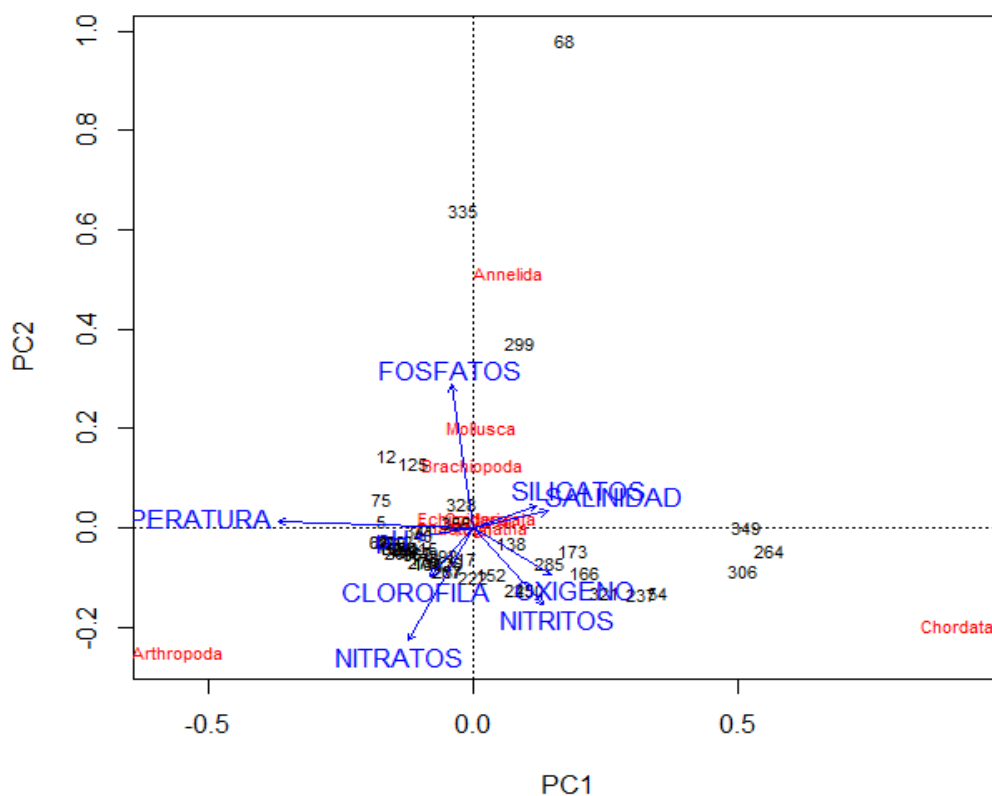


Figura 18. A) Escalamiento 1 y 2 del PCA de las variables dependientes según el Phylum en relación a los días de muestreo, B) Dendrograma, C) PCA + Cluster y D) Triplot.

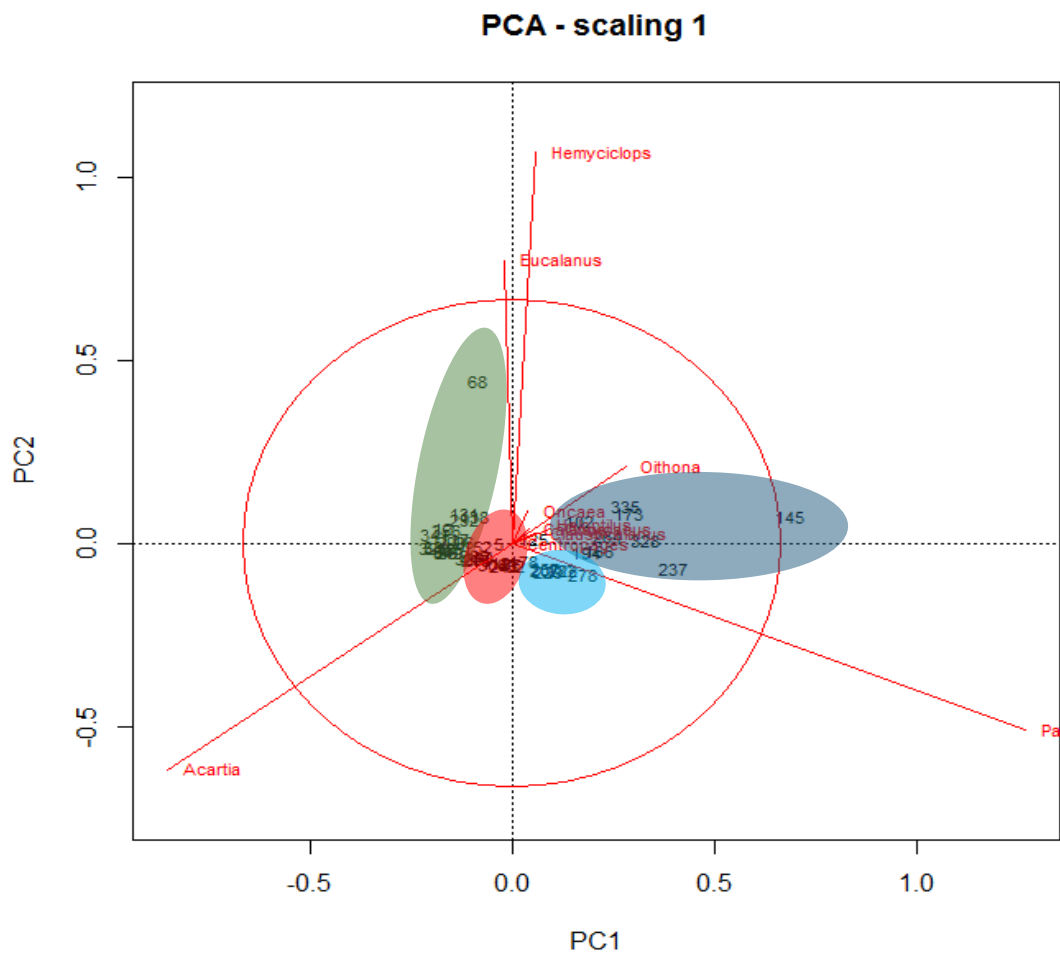
Según la abundancia de los copépodos en relación a los días de muestreo (Fig. 19), mediante los criterios de Kaiser-Guttman y la vara partida se determinó que los dos primeros componentes principales son significativos y explican el 81,24% de la varianza total (Tabla 14). El componente uno (PC1) explica el 68,32% de variabilidad para las variables: *Paracalanus* ($r=0,97$), *Oithona* ($r=0,48$), *Corycaeus* ($r=0,43$), *Calanus* ($r=0,41$), *Clausocalanus* ($r=0,41$) y *Acartia* ($r=-0,91$), mientras que el componente dos (PC2) explica el 12,92% de variabilidad para las variables: *Hemicyclops* ($r=0,88$) y *Eucalanus* ($r=0,83$) (Tabla 15).

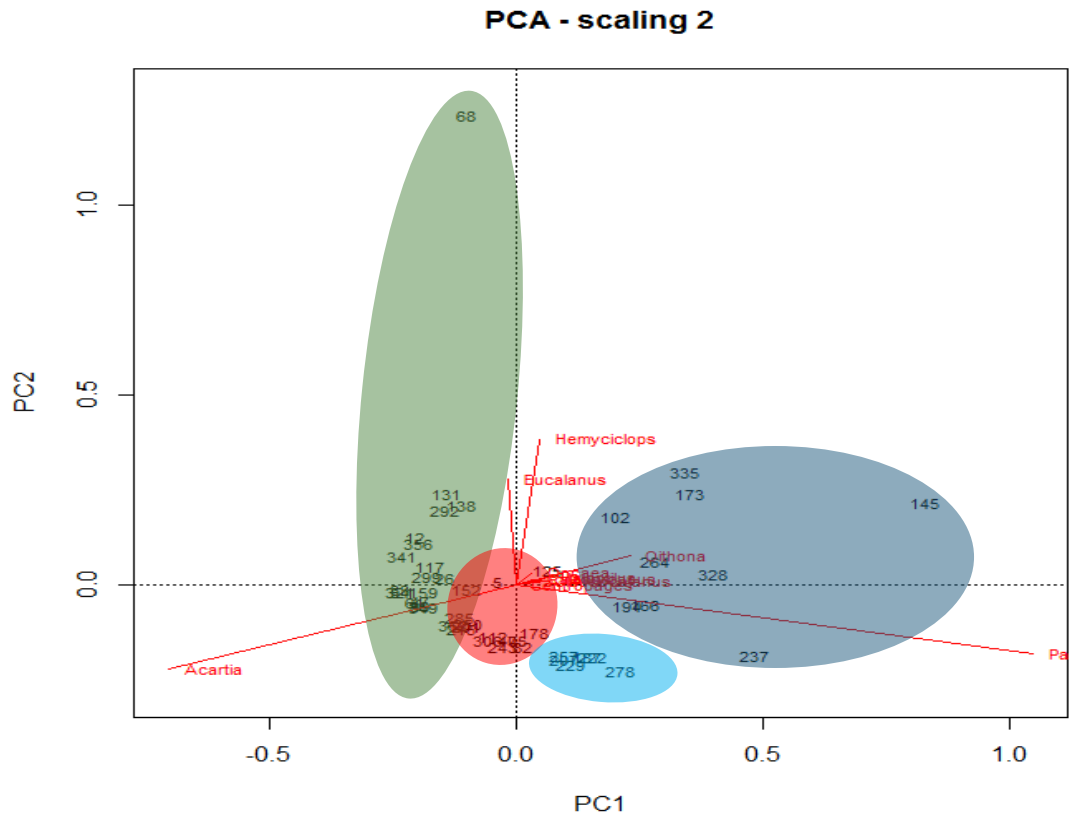
El dendrograma (cluster) (Fig. 19B) mostró cuatro grupos utilizando el método Ward a partir de la distancia euclidiana y se graficó superponiendo los cluster en un PCA (Fig. 19C). *Paracalanus* presenta una relación positiva con el PC1 sobre el grupo 3 en mayo (Día 145) con el 86,1% en relación al día de muestreo (Tabla 8), agosto (Día 237) con el 30% del total y noviembre (Día 328) con el 42%. *Oithona* presenta una menor correlación sobre el grupo 3 en mayo (Día 145) con el 4%, junio (Día 166 y 173) con 5% y el 10%, y julio (Día 194) con el 13,4%. *Acartia* presenta una relación negativa con el PC1 sobre el grupo 1 desde enero hasta diciembre (19,3 % al 95%) y el grupo 2 (16,6 al 99,9%). El PC2 presentan una relación positiva en la segunda semana de marzo (Día 68) sobre el grupo 2 con *Hemicyclops* y *Eucalanus* (ambos con el 1,56%), y sobre el grupo 3 en diciembre (Día 335) con *Hemicyclops* (4,8%) y abril (Día 102) con *Eucalanus* (2,2%).

La gráfica triplot de las variables dependientes, las variables independientes según los copépodos y los días de muestreo (Fig. 19D) muestra que el grupo 1 presenta mayor correlación con la temperatura y fosfatos, el grupo 2 con la clorofila, silicatos, oxígeno, nitritos y pH, el grupo 3 presenta mayor correlación con la salinidad y el grupo 4 con los nitratos. En el mes de agosto (Día 237) se dieron los valores más bajos de abundancia del zooplancton y dentro del grupo de los artrópodos que representa el 50,5% en relación al día de muestreo (Tabla 7), la presencia de *Paracalanus* fue de 4,46 ind.m⁻³ (30,1%) (Tabla 8) y se dio ante un ligero aumento de la concentración de nitratos a 13,55 μM. Una mayor abundancia de *Oithona* presenta una correlación con una salinidad entre 34,96 – 35,13 ups en los meses de abril (Día 102) con una abundancia de 37,21 ind.m⁻³ (4,6%), junio (Día 166 y 173) con 59,97 ind.m⁻³ (5,2%) y con 133,46 ind.m⁻³

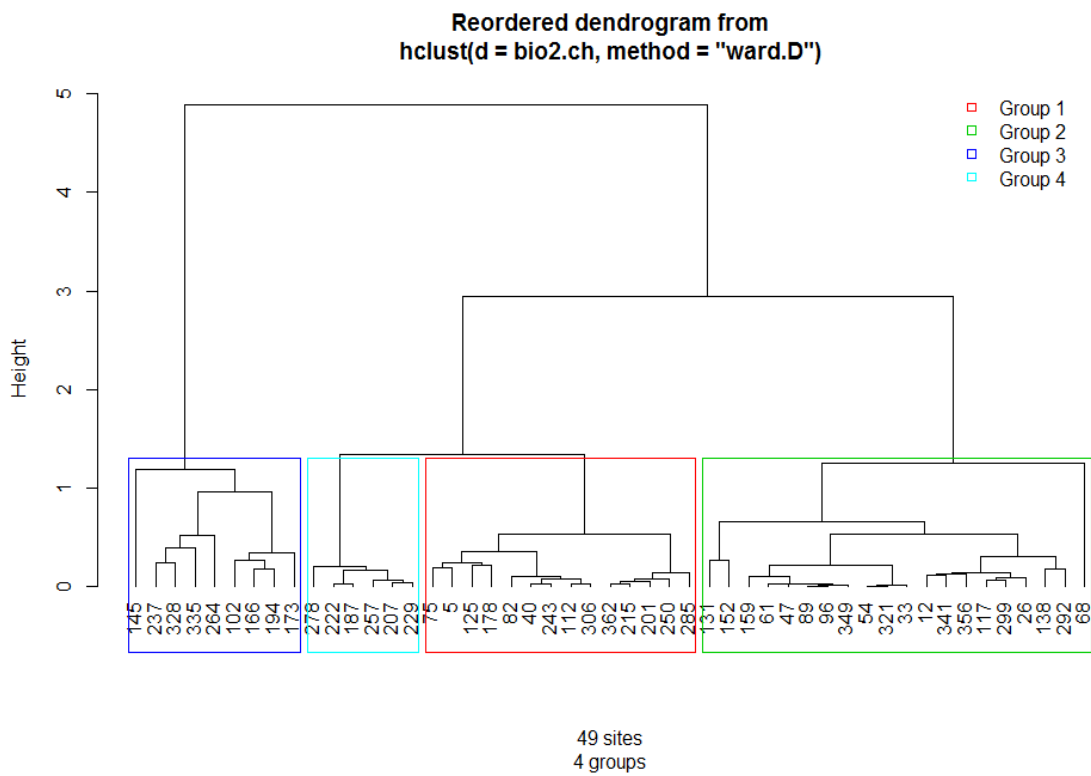
(10%), julio (Día 194) con 678,82 ind.m⁻³ (13,3%). La presencia de *Acartia* se dio durante la mayoría de los días de estudio y presenta una correlación con los silicatos, clorofila, oxígeno y nitritos. *Eucalanus* y *Hemicyclops* presentan una ligera correlación con los fosfatos.

A)

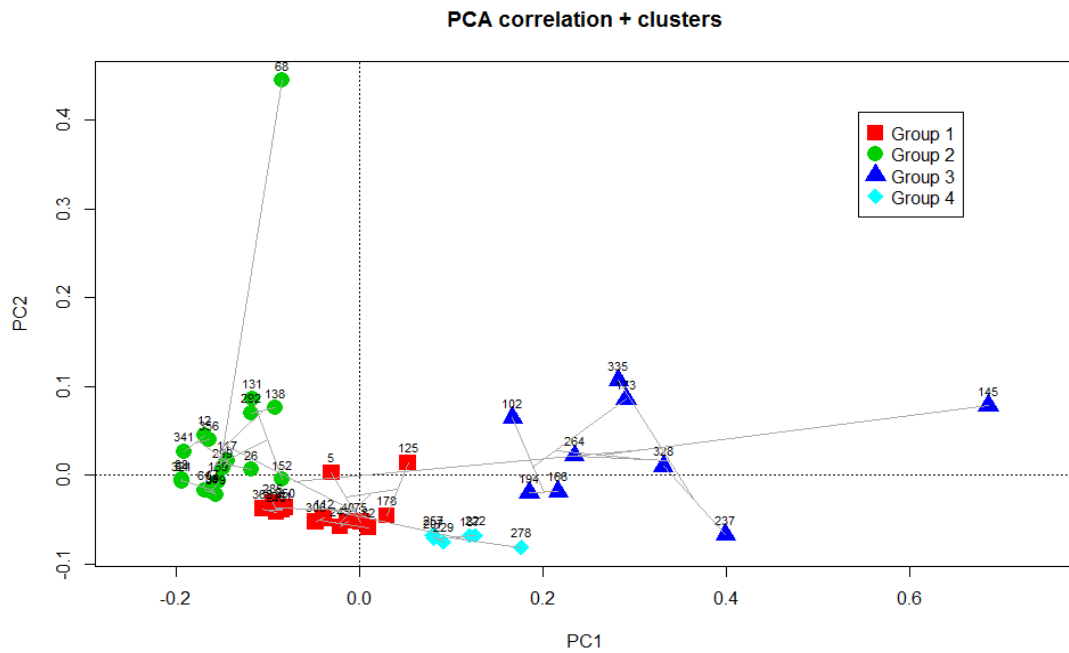




B)



C)



D)

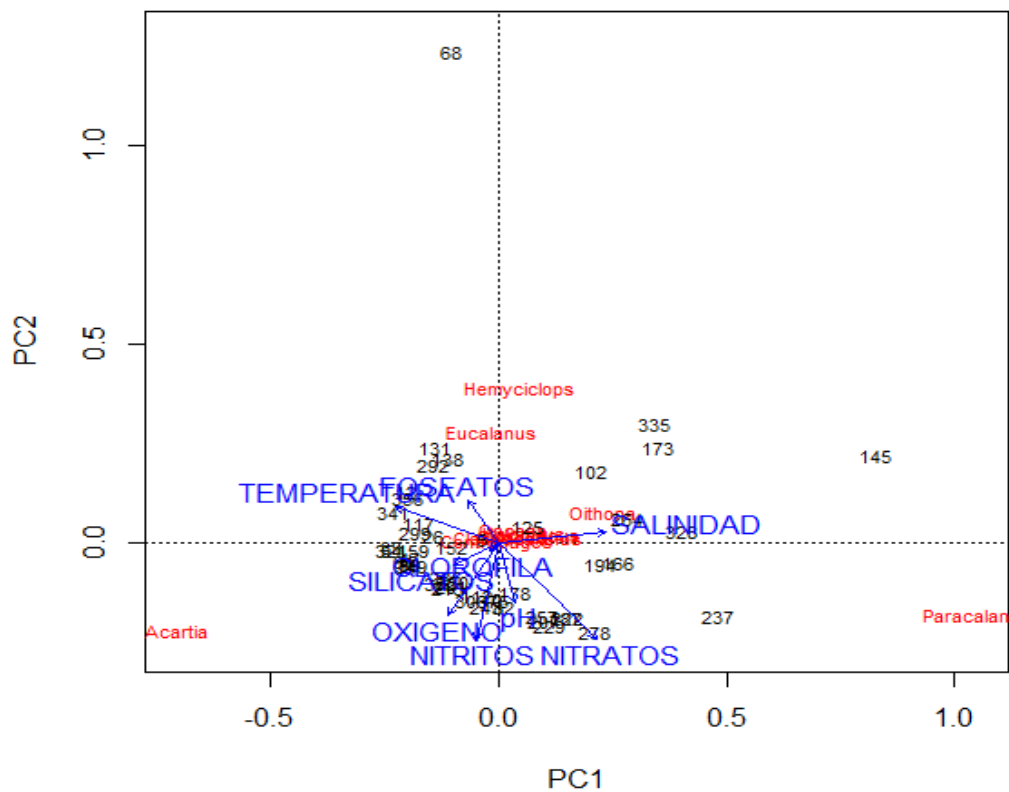


Figura 19. A) Escalamiento 1 y 2 del PCA de las variables dependientes según los copépodos en relación a los días de muestreo, B) Dendrograma, C) PCA + Cluster y D) Triplot.

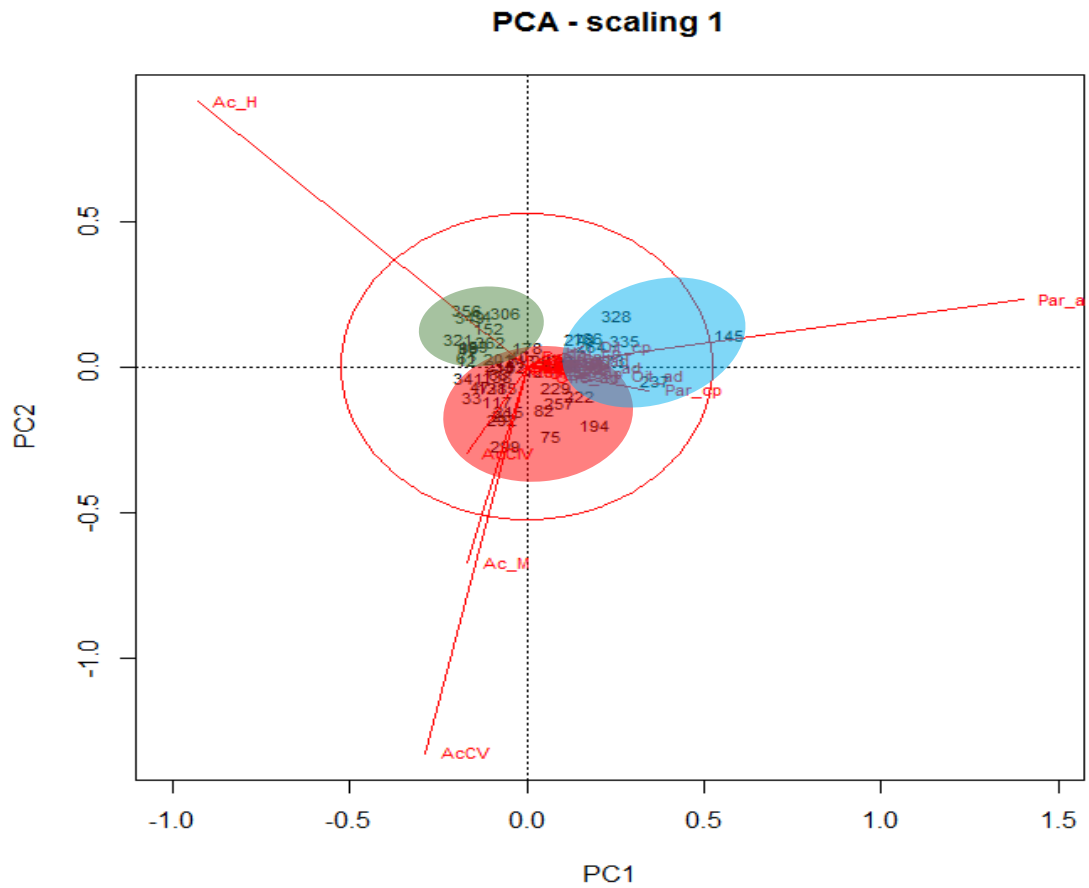
Según los estadios de los copépodos en relación a los días de muestreo (Fig. 20), mediante los criterios de Kaiser-Guttman y la vara partida se determinó que los cuatro primeros componentes principales son significativos y explican el 80,6% de la varianza total (Tabla 16). El componente uno (PC1) explica el 39,21% de variabilidad para las variables: *Paracalanus* adulto ($r=0,96$) y copepodito ($r=0,60$), y *Acartia* hembra ($r=-0,77$). El componente dos (PC2) explica el 19,18% de variabilidad para la variable de *Acartia* copepodito V ($r=-0,86$). El componente tres (PC3) explica el 12,72% de variabilidad para las variables: *Acartia* macho ($r=0,82$), *Hemycyclops* copepodito ($r=-0,58$). El componente 4 (PC4) explica el 9,48% de variabilidad para la variable de *Acartia* copepodito IV ($r=-0,87$) (Tabla 17).

El dendrograma (cluster) (Fig. 20B) mostró cuatro grupos y se graficó superponiendo los cluster en el PCA (Fig. 19C). *Paracalanus* adulto presenta una relación positiva con el PC1 sobre el grupo 4 en mayo (Día 145), junio (Día 173), agosto (Día 237), setiembre (Día 264), octubre (Día 278), noviembre (328) y diciembre (Día 335), mientras que los copepoditos de *Paracalanus* presentan una relación positiva en octubre (Día 278). Las hembras de *Acartia* presentan una relación negativa con el PC1 sobre el grupo 2 y 3. Los adultos y copepoditos de *Calanus*, *Oithona*, *Clausocalanus* y *Haloptilus* presentan una menor correlación con el PC1 sobre el grupo 1. El estadio copepodito V de *Acartia* presenta una correlación negativa con el PC2 sobre el grupo 1. Los machos de *Acartia* presentan una correlación positiva con el PC3 sobre el grupo 1. Los copepoditos de *Hemycyclops* presentaron una correlación negativa con el PC3 sobre el grupo 3 en marzo (Día 68). Los copepoditos IV de *Acartia* presentaron una correlación negativa con el PC4 sobre el grupo 1.

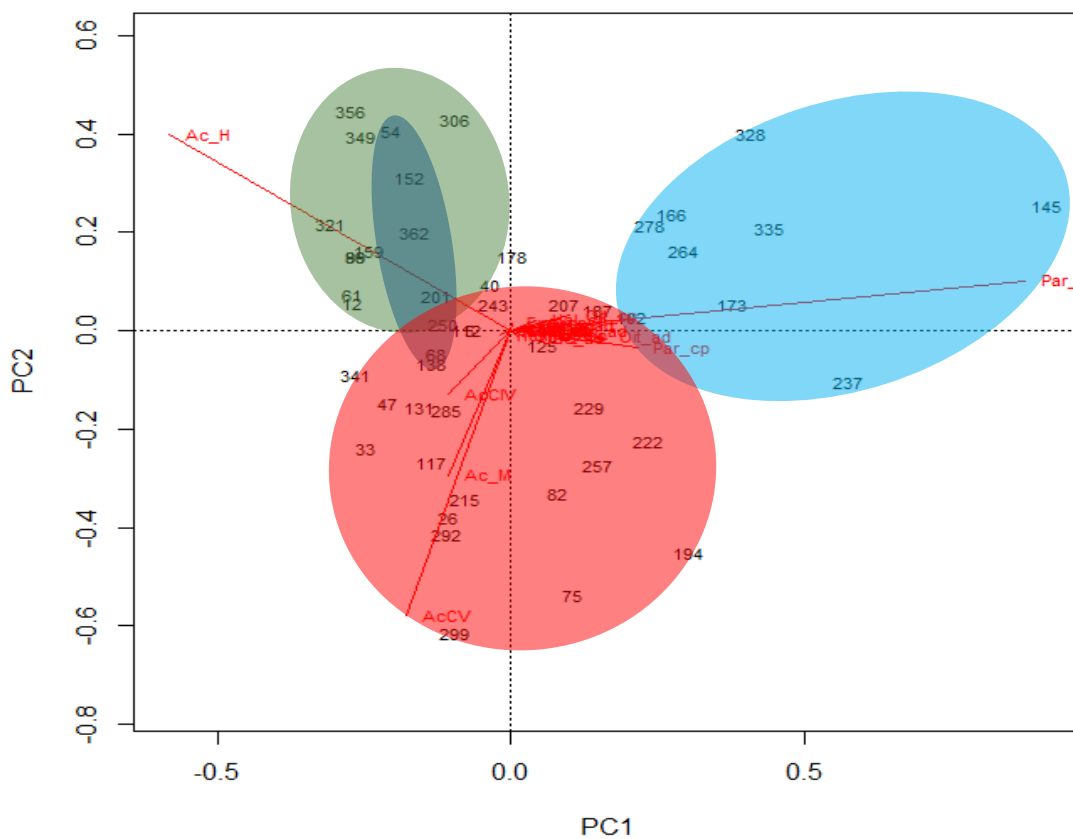
La gráfica triplot de las variables dependientes, las variables independientes según los estadios de copépodos y los días de muestreo (Fig. 20D) muestra que el grupo 1 presenta una relación con la temperatura, silicatos, fosfatos y nitratos, el grupo 2 y 3 presenta una relación con los nitritos, oxígeno y clorofila y el grupo 4 con la salinidad y el pH. Los adultos de *Paracalanus* presentaron una mayor relación con la salinidad y menor con el pH con los valores más altos de abundancia en mayo (Día 145) con 4 558,64 ind.m⁻³ (85,1%) y el octubre (Día 278) con 9 088,67 ind.m⁻³ (20,3%), mientras que los copepoditos de *Paracalanus* presentan una mayor abundancia el día 278 con 5849,60 ind.m⁻³ (13,1%) (Tabla 10). Las hembras de *Acartia* presentaron una mayor abundancia durante junio (Día 159) con 6 973,74 ind.m⁻³ (70,1%) y setiembre (Día 250) con 5 935,05 ind.m⁻³ (42,9%) con valores bajos de clorofila (0,23 – 0,58 µg/L), nitritos (0,96 – 1,63 µM) y oxígeno (3,65 – 3,91 mL/L). El grupo 3 conformado por los días 54 y 68 representan los valores más bajos de las hembras de *Acartia* 4,04 y 2,10 ind.m⁻³ con valores mucho más bajos de nitritos (0,99 – 2,11 µM) y oxígeno (1,08 – 3,75 mL/L) y valores más altos de clorofila (0,39 – 6,03 µg/L). El estadio copepodito V de *Acartia* presenta una relación sobre el grupo 1 con los valores más altos de abundancia durante enero (Día 26) con 3 364,78 ind.m⁻³ (23,7%) con valores altos de silicatos (26,81 µM), temperatura (20,3 °C) y fosfatos (3,87 µM), y durante octubre (Día 292 y 299) con 2 946,3 ind.m⁻³ y 3 126,57 ind.m⁻³ (41% y 27%) con valores de silicatos (14,04 - 22.65 µM), temperatura (14,5 – 14,7 °C) y fosfatos (1,99 – 2,13 µM). Los machos de *Acartia* presentan una relación sobre el grupo 1 en febrero (Día 26) con una abundancia de 4 226,69 ind.m⁻³ (29,7%) ante valores altos de silicatos (26,81 µM) y en agosto (Día 215) con 85,50 ind.m⁻³ (38%) ante valores intermedios de silicatos

(18,81 μM). Los copepoditos IV de *Acartia* presentaron una relación sobre el grupo 1 en enero (Día 26) con 2 022,18 ind. m^{-3} (14,25%) y en febrero (Día 47) con 469,20 ind. m^{-3} (5,7%) con valores bajos de fosfato entre 3,87 – 4,83 μM .

A)

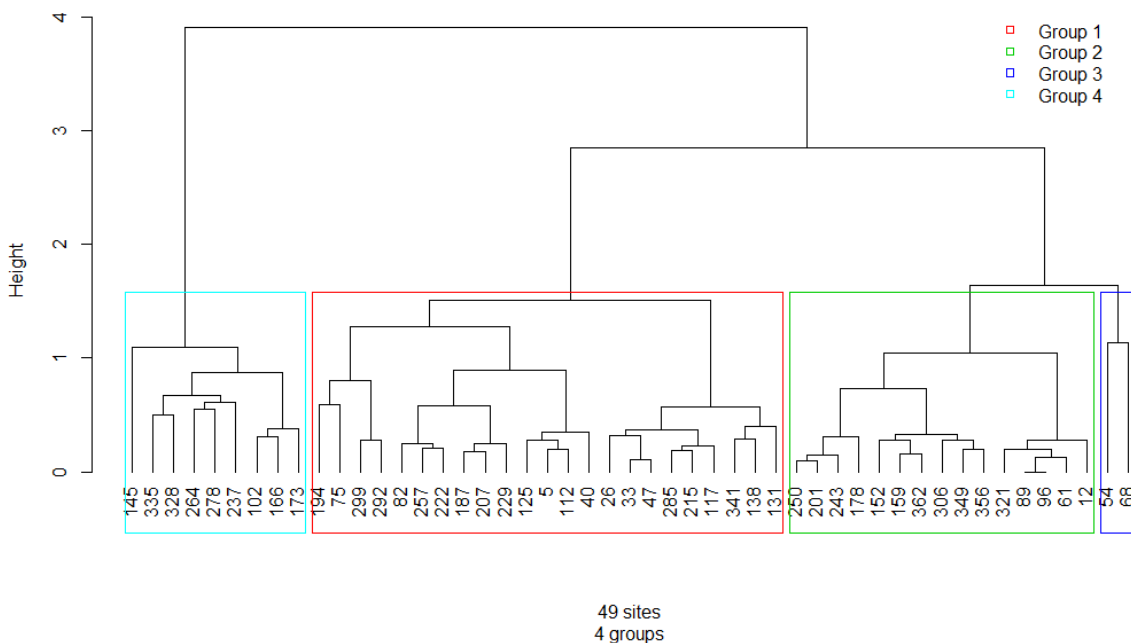


PCA - scaling 2



B)

Reordered dendrogram from hclust(d = bio3.ch, method = "ward.D")



X. DISCUSIÓN

La comunidad del zooplancton presenta una alta variabilidad en composición y en abundancia, asociada a la estacionalidad y a periodos semanales impulsados por cambios en las condiciones oceanográficas. En la bahía Cantolao, la composición del zooplancton estuvo compuesta por 116 especies, una menor cantidad a la descrita por Criales (179 especies), no obstante, ese estudio contempló una mayor área de muestreo hasta 20 mn. de distancia de costa a la altura de Callao y hasta una profundidad de 146 m. (Criales, 2009). La comunidad más cerca de la costa (3mn y 50m. de profundidad) descrita por Criales se caracterizó por una mayor presencia copépodos de *Acartia* sp., *Paracalanus parvus*, *Centropages brachiatus* y por meroplancton como larvas y huevos de *Engraulis ringens*, zoeas de porcelánidos y brachyura, nauplios y larvas de cirrípedos y larvas de braquiópodos, similar a lo observado en la bahía Cantolao, pero resaltando una mayor presencia de especies de menor tamaño. Desde enero hasta abril, la abundancia de zooplancton aumentó (media= 9 207,19 ind.m⁻³, máx.= 62 526,46 ind.m⁻³), en condiciones neutrales entre junio y setiembre la abundancia del zooplancton disminuyó (promedio = 3 741,38 ind.m⁻³, máx.= 13 804,41 ind.m⁻³) y en condiciones frías desde octubre hasta diciembre la abundancia aumentó (promedio = 8 797,2 ind.m⁻³, máx.= 44 614,8 ind.m⁻³), estos cambios de abundancia del zooplancton se asocian a una variabilidad de tipo estacional. Según lo registrado por Criales (2009) la abundancia de zooplancton durante febrero de 2005 presentó valores máximos de 4 500 ind.m⁻³, durante agosto de 2006 (evento EN) valores máximos de 5 000 ind.m⁻³ y durante agosto de 2007 (evento LN) de 7 500 ind.m⁻³. Los valores en la bahía Cantolao no coinciden por lo registrado por Criales donde la abundancia máxima se registra durante la primavera, los datos en este estudio mostraron una mayor abundancia del zooplancton durante el verano ya que tipos específicos del zooplancton estarían prosperando durante

las condiciones de EN cómo lo observado en un estudio en Chile donde no hubo una disminución sistemática del zooplancton durante EN debido a que la biomasa del fitoplancton del que se alimentan los copépodos son lo suficientemente altos y no se desarrolla una dependencia de la temperatura (Ulloa et al., 2001). En la bahía Cantolao se registraron altas abundancias de especies que a pesar de tener una distribución vertical no suelen hacer una migración vertical cuando las oscilaciones de temperatura y oxígeno son mínimas (Criales, 2009). La temperatura superficial del mar (TSM) en la bahía Cantolao durante el periodo de estudio tuvo un rango entre 14,5 y 21,5 °C, este rango de la variabilidad de la TSM es similar a los valores registrados en el Punto fijo Callao en años anteriores, encontrándose entre los 15 y 21 °C (IMARPE, 2016), una zona que se encuentra a 8 mn. frente a Callao y donde se observa una alta variabilidad debido a una mayor influencia de las corrientes. Por otro lado, durante el verano del 2017, en un ambiente más estable como la estación fija frente a la playa Carpayo al otro lado de la península del Callao la temperatura varió entre 17 y 22°C (IMARPE, 2017; Delgado et al., 2019), representando también un valor similar a lo observado en la bahía Cantolao. En este periodo y lugar, a pesar de haberse presentado un evento EN Costero, se observa que el patrón de la TSM presenta valores normales para esta área asociado a los cambios estacionales. El análisis cruzado de wavelet reveló los períodos donde la serie de la TSM co-varía con la abundancia del zooplancton, lo cual se evidencia en diferentes períodos a lo largo de todo el año. Desde enero hasta abril se mostró una alta variabilidad, un período en antifase de 4 y 6 semanas la primera semana de febrero cuando se dio el valor más alto registrado de abundancia y cuando se registró el valor más alto de la TSM, respectivamente.

La abundancia del zooplancton parece presentar una fuerte correlación con la concentración de nitritos en la superficie durante el verano porque mostró un fuerte

período en fase entre 5 y 8 semanas durante la primera semana de febrero. Mientras que en una condición cálida débil y neutral hay una mayor correlación de la abundancia con la TSM, y en condiciones frías débiles hay una fuerte correlación con los nutrientes. Los nutrientes presentan una tendencia mayor en verano y en primavera, con concentraciones más altas entre enero y marzo, a diferencia de los valores registrados en la estación fija Callao (IMARPE, 2017). La presencia de nutrientes desencadena una alta producción primaria con valores máximos en verano y primavera, fuera de fase con el momento de máximo afloramiento en invierno (Echevin et al., 2008; Chávez & Messié, 2009) y en aguas superficiales las bajas concentraciones de clorofila como las registradas en condiciones cálidas se suelen asociar a bajas concentraciones de nutrientes ya que se encuentran aguas muy ventiladas cerca de la costa (Graco et al., 2007), sin embargo, las concentraciones más altas de clorofila-a en la bahía Cantolao solo coincide con los valores registrados durante el verano. A pesar que los fosfatos y silicatos presentan una correlación significativa ($r = 0,43$), el Análisis de componentes principales (ACP) correlaciona a los fosfatos con la temperatura durante algunas semanas desde enero hasta abril, mientras que entre los nitratos y silicatos hay una correlación no tan significativa ($r = 0,36$), que se confirma en el ACP al observar una mayor relación en torno a los meses de marzo y abril. Durante el verano 2017 se dieron altos aportes de materia orgánica generados por una mayor descarga de ríos adyacentes a la bahía, debido a intensas lluvias como los reportados en la costa norte y central del Perú (SENAMHI, 2017), siendo así que desde febrero hasta abril las concentraciones bajas de salinidad y las concentraciones altas de nutrientes en la bahía Cantolao, se explican más por la señal de la descarga de ríos generada por esta precipitación anormal. Las concentraciones de clorofila-a se encontraron entre $0,1 \mu\text{g/L}$ y $10,07\mu\text{g/L}$, y se registraron las concentraciones más altas durante la segunda y tercera semana de febrero.

En condiciones normales la clorofila superficial alcanza su punto máximo en verano ($\sim 4 \mu\text{g/L}$) y primavera ($\sim 2 \mu\text{g/L}$) (Echevin et al., 2008). En la bahía Cantolao durante verano se registraron los puntos máximos de clorofila-a, sin embargo, también fueron registrados otros tres picos de clorofila-a durante mayo, julio (invierno) y octubre (primavera), aunque estos valores se encontraron debajo de $5 \mu\text{g/L}$. En condiciones EN extremo (1982 – 1983 y 1997 – 1998) se han observado anomalías negativas en la concentración de Clorofila (Gutiérrez et al., 2016) y se han registrado valores entre $0,5 \mu\text{g/L}$ y $1 \mu\text{g/L}$ a lo largo de la costa del Perú durante EN 97/98 (Carr et al., 2002). Datos promediados entre 1965 y 2008 (6°S - 16°S) en condiciones EN muestran valores $\sim 0,7 \mu\text{g/L}$, mientras que en condiciones normales valores de $3,5 \mu\text{g/L}$ (Espinoza et al., 2017). Este estudio registró en la bahía Cantolao valores superiores de clorofila-a de $10,07 \mu\text{g/L}$ a los reportados años anteriores en la capa superficial. En una zona de bahía, la irradiancia solar y una mayor disponibilidad de los nutrientes como el hierro en la capa superficial son factores que intervienen en el aumento de la producción de clorofila-a (Echevin et al., 2008; Messié & Chavez, 2015; Espinoza et al., 2017). Las condiciones físico-químicas en la bahía Cantolao presentan una alta variabilidad que estarían relacionados con procesos de escala local, como la irradiancia solar y una mayor disponibilidad de los nutrientes, y no al proceso de afloramiento como generalmente se describen (Criales, 2009). Una posible explicación para el aumento de la abundancia del zooplancton ante altas concentraciones de nutrientes y bajas concentraciones de clorofila-a, es el consumo de grandes cantidades de fitoplancton por parte del microzooplancton. El zooplancton juega un papel fundamental en el ciclo del nitrógeno del océano, consumiendo nitrógeno orgánico y ejerciendo control sobre la producción primaria, además de mantener el crecimiento del fitoplancton a través de la excreción de N y favorecer el crecimiento bacteriano heterotrófico (Miller & Landry, 1984), de

igual forma se considera muy importante el papel del microzooplancton como mediador de la transferencia de nutrientes del fitoplancton al zooplancton superior a 200 mm (Steinberg & Saba, 2008). Entonces, el consumo de fitoplancton y bacterias por parte del microzooplancton son procesos clave en las transformaciones de N en el océano y el microzooplancton es un componente importante de la dieta de muchos mesozooplancton (Steinberg & Saba, 2008). En la bahía Cantolao, el micro y mesozooplancton estarían presentando un intenso pastoreo sobre el fitoplancton, por ello los valores bajos de clorofila-a; esto también explicaría la relación entre el aumento de la abundancia del zooplancton y los nutrientes. En general, las condiciones oceanográficas están generando cambios en la comunidad del zooplancton.

El Análisis de Componentes Principales (ACP) muestra que los cordados presentan una correlación significativa con el oxígeno y los nitritos, donde hay mayor abundancia. El ACP según la abundancia de los copépodos y sus estadios, muestran una correlación de adultos y copepoditos de *Paracalanus* sp. con los nitratos y una correlación menos significativa con la salinidad. Por otro lado, los decápodos y los cirrípedos estuvieron presentes durante la mayor parte del año (~90%) y presentaron una mayor abundancia en junio y diciembre, mientras que los braquiópodos y poliquetos tuvieron una menor presencia (<50%) y presentaron una mayor abundancia en noviembre y diciembre, respectivamente. Todos estos grupos presentan una relación con la salinidad, donde su abundancia y presencia en algunos casos estuvieron disminuidos durante el verano. La salinidad superficial del mar durante el año de estudio presentó una variabilidad que oscila entre 33,013 y 35,131 ups, encontrándose dentro de los valores propios de las Aguas Costeras Frías (34,8 y 35,1 ups), sin embargo, se pudo observar fluctuaciones en las concentraciones de la salinidad en la bahía Cantolao desde enero hasta abril asociadas a una mayor descarga de ríos (Morón, 2011). El efecto del evento EN costero

generó que las estaciones de la parte media y baja de la cuenca del río Rímac excedieron los valores normales de precipitaciones (SENAMHI, 2017), generando el ingreso de mayores volúmenes de agua dulce al área de bahía que causaron una disminución en la salinidad. El comportamiento de la SSM donde presenta valores extremos se ha observado en eventos EN de gran magnitud, observándose una baja concentración en la zona norte del Perú por la proyección de ATS (aguas tropicales superficiales) y AES (aguas ecuatoriales superficiales), o concentraciones muy altas en la zona sur por la aproximación a la costa de las ASS (aguas subtropicales superficiales) como en bahía independencia (Pisco) durante el Niño del verano de 1998 (Quispe et al, 2010). Las concentraciones de oxígeno disuelto durante el periodo de estudio fueron muy variables y con valores superficiales entre 0,97 mL/L y 6,52 mL/L, se registraron semanas donde las concentraciones de oxígeno fueron más bajas a comparación de las concentraciones superiores a 3,0 mL/L que dominaron el punto fijo Callao durante los años 2014 y 2015, y superiores a 2,0 mL/L durante el 2016 (Graco et al., 2016; ENFEN, 2016), aunque estos datos fueron tomados cada dos meses. En la bahía Cantolao, los picos más bajos de oxígeno disuelto se dieron durante verano debido al incremento de temperatura y la salinidad debido al aporte de la descarga del río Rímac, mientras que los picos más altos se dieron durante primavera. Aunque la alta variabilidad de oxígeno desde setiembre no se explica por la temperatura y la salinidad debido a los valores más constantes, y según el ACP el oxígeno presentaría una mayor correlación con los nitratos, nitritos y silicatos. Los factores que regulan las variaciones del oxígeno disuelto se ven afectados por procesos bioquímicos como la respiración y la oxidación de materia orgánica (por ejemplo, bomba biológica), y por procesos físicos causados por el intercambio de flujo de aire y el mar, la solubilidad del oxígeno y la mezcla de agua (donde la superficie se encuentra con la atmósfera) (Garcia et al., 2019). Entonces, la solubilidad del oxígeno

en el agua que disminuye a temperaturas y salinidades más altas genera zonas de hipoxia (bajo nivel de oxígeno), que explica el traslado del hábitat de ciertas especies de peces que no pueden sobrevivir en estas condiciones (Bertrand et al., 2011). Un hábitat con poco oxígeno no es adecuado para la sobrevivencia de las larvas de peces, viéndose reflejado en una baja abundancia del grupo actinopterygii (5% del total del zooplancton) en el área de la bahía Cantolao, aunque un hábitat con poco oxígeno es ideal para la anchoveta permitiéndole acceder a altas concentraciones de macrozooplancton (Bertrand et al., 2011), las zonas de bajo oxígeno presenta efectos biológicos y ecológicos en el zooplancton y peces costeros que son responsables en parte de ciertos efectos adversos como la reducción del crecimiento y el aumento de la mortalidad (Roman et al., 2019). En el presente estudio los huevos y larvas de *Engraulis ringens* (anchoveta) estuvieron presentes casi todo el año (~85%) y presentaron una mayor relación con el oxígeno, sin embargo, no se registró la presencia de anchoveta desde la tercera semana hasta la quinta semana de agosto. La ausencia de anchoveta en esta temporada coincide con la época de mayor desove a finales de agosto (IMARPE, 2017), siendo así la zona de la bahía de Cantolao una posible zona de alerta temprana indicador del máximo desove para esta especie.

La comunidad de zooplancton se caracterizó por presentar una dominancia de *Acartia* sp. del 75% del total. Durante el verano se registró un promedio de 8 640,24 ind.m⁻³ (máx. = 62 536,92 ind.m⁻³) ante valores de temperatura de 19,7 °C (máx. = 21,5) y aguas costeras frías. Durante los eventos de EN 82/83 y 97/98 se registraron abruptas disminuciones en la comunidad de zooplancton (Ayón et al., 2008) y según Criales (2009) la abundancia de *Acartia* disminuyó significativamente durante el evento moderado El Niño (EN) 2006 (promedio = 250 ind.m⁻³, 30% del zooplancton total), mientras que durante un fuerte evento de La Niña (LN) 2007 la abundancia de *Acartia*

aumentó (promedio = 874 ind.m⁻³, 44% del zooplancton Total), estos datos corresponden estaciones más alejadas de la costa (>3 millas náuticas). Según el ACP, las hembras de *Acartia* sp. presentaron una mayor correlación con la clorofila, oxígeno y nitritos, mientras los machos, Copepodito IV y V de *Acartia* presentaron mayor correlación con los fosfatos y silicatos y una menor correlación con la temperatura. Debido a que el zooplancton está formado por organismos de vida corta que pueden variar en semanas están expuestos a reaccionar rápidamente a los cambios físicos y químicos en su entorno (Pepin et al., 2012). El estadio de copepodito III de *Acartia* se presentó en 3 periodos durante febrero (Día 40 y 47), abril (Día 112) y julio (Día 207), y podría indicar la presencia de 3 generaciones en el año. En otros sistemas costeros, especies como *Calanus* sp. muestran un ciclo anual multigeneracional y estacional, con tres o menos generaciones por año (Escribano y McLaren, 1999, Ulloa et al. 2001). *Acartia* presenta un ciclo de vida muy flexible que le permite resistir las fuertes perturbaciones ambientales que suceden durante el EN. Las observaciones *in situ* y en condiciones de laboratorio en varias especies de *Acartia* han establecido que la eclosión se ve afectada por la temperatura (entre 15 a 25 ° C) y se da desde el segundo al sexto día, es decir, que hay un aumento de la fecundidad en temperaturas más altas (Castro, 2003). Durante el día 40 y 47 hubo una presencia de copepodito III ante una temperatura entre 18,8 y 19,8 °C, valores de clorofila entre 1,20 y 10,07 µg/L y una mayor abundancia durante el día 40 de 349,09 ind.m⁻³ y una menor durante el día 47 de 16,17 ind.m⁻³. En general, se podría considerar que la temperatura es el factor principal que influye en la eclosión y no el alimento. Sin embargo, con respecto a las generaciones observadas, el estadio de CIII se estaría presentado simultáneamente a los estadios de adultos y copepoditos CIV y CV, revelando que el tiempo de vida de *Acartia* sp. se estaría dando en el menor tiempo de una semana.

XI. CONCLUSIONES

La presente investigación permitió comprobar que existe una variabilidad estacional y semanal en la comunidad del zooplancton asociada a las condiciones oceanográficas, notándose los mayores niveles de abundancia durante el verano asociados a EN costero. Mientras que la presencia simultánea de los estadios CIII y adultos de *Acartia* sp. nos indica una variabilidad en periodos semanales.

El zooplancton estuvo compuesto por 116 especies, donde el grupo más frecuente y abundante fue el de los copépodos representando el 87,02% de la abundancia del zooplancton total y la especie más representativa y dominante durante todo el año fue *Acartia* sp., seguido de *Paracalanus parvus*, *Oithona* sp., *Hemicyclops* sp., *Corycaeus* sp. y *Oncaea* sp.

Las condiciones físico-químicas en la bahía Cantolao presentan una alta variabilidad desde enero hasta abril que están relacionados con procesos de escala local como la irradiancia solar, una mayor disponibilidad de nutrientes y por factores biológicos que permiten que el zooplancton prospere durante las condiciones cálidas. El análisis wavelet muestra durante el inicio del evento EN costero una fuerte correlación entre la abundancia del zooplancton y los nitritos, en condiciones normales una mayor coherencia con la TSM, y en condiciones frías una fuerte coherencia con los nutrientes. Por otro lado, el ACP muestra una correlación de la abundancia de los artrópodos con la temperatura, una correlación entre los machos y los estadios copepodito IV y V de la especie *Acartia* sp. con la temperatura y una correlación entre los adultos y copepoditos de *Paracalanus* sp. con los nitratos.

XII. RECOMENDACIONES

Este estudio aporta nuevos conocimientos de los cambios a una escala de tiempo de alta frecuencia en la comunidad de zooplancton en un área de bahía, con cambios observados durante un evento EN moderado, en condiciones normales y condiciones frías. Sin embargo, quedan preguntas pendientes por responder con respecto a que factores presentan mayor importancia en la regulación de la productividad en esta área. Se recomienda en futuras investigaciones establecer un programa de monitoreo continuo que genere mayor información para poder entender la dinámica del zooplancton en años con condiciones normales y con eventos La Niña. También la posibilidad de realizar muestreos a diferentes profundidades donde la estimación de la abundancia es afectada por la variación de las concentraciones de oxígeno en la columna de agua.

XIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arcos, F., & Bonilla, M. (1989). Variación temporal del zooplancton de una estación fija en bahía Academia (Galapagos) periodo 1986-1988: su relación con la temperatura superficial. *Acta Oceanográfica del Pacífico, INOCAR*, 5(1), 14-23.
- Aronés, K., Ayón, P., Hirche, H., & Schwamborn, R. (2009). Hydrographic structure and zooplankton abundance and diversity off Paita, northern Peru (1994 to 2004) — ENSO effects, trends and changes. *Journal of Marine Systems*, 78(4), 582-598.
- Ayón, P., Purca, S., & Guevara-Carrasco, R. (2004). Zooplankton volume trends off Peru between 1964 and 2001. *ICES Journal of Marine Science*, 61(4), 478-484.
- Ayón, P., Swartzman, G., Bertrand, A., Gutiérrez, M., & Bertrand, S. (2008). Zooplankton and forage fish species off Peru: Large-scale bottom-up forcing and local-scale depletion. *Progress in Oceanography*, 79(2), 208–214.
- Bakun, A., Black, B., Bograd, S., Garcia-Reyes, M., Miller, A., Rykaczewski, R., & Sydeman, W. (2015). Anticipated effects of climate change on coastal upwelling ecosystems. *Current Climate Change Reports*, 1(2), 85-93.
- Banase, K. (1964). On the vertical distribution of zooplankton in the sea. *Progress in Oceanography*, 2, 53-125.
- Banase, K. (1995). Zooplankton: Pivotal role in the control of ocean production I. Biomass and production. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*, 52(3-4), 265-277.

- Barquero, S.; Cabal, J.; Anadón, R.; Fernández, E.; Varela, M.; & Bode, A. (1998). Ingestion rates of phytoplankton by copepod size fractions on a bloom associated with an off-shelf front of NW Spain. *Journal of Plankton Research*, 20(5), 957–972.
- Beaugrand, G., Reid, P., Ibanez, F., Lindley, J., & Edwards, M. (2002). Reorganization of North Atlantic marine copepod biodiversity and climate. *Science*, 296(5573), 1692-1694.
- Beaugrand, G., & Reid, P. (2003). Long-term changes in phytoplankton, zooplankton and salmon related to climate. *Global Change Biology*, 9(6), 801-817. doi:10.1046/j.1365-2486.2003.00632.x
- Boltovskoy, D. (1999). South Atlantic Zooplankton. *Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands*
- Bonilla, M. (1990). Variación mensual del plancton en una estación fija La Libertad (Salinas), Ecuador. Periodo 1988-1989. *Acta Oceanográfica del Pacífico, INOCAR*, 6(1), 58-67.
- Bouchon, M., Ayón, P., Mori, J., Peña, C., Espinoza, P., Hutchings, L., Buitron, B., Perea, A., Goicochea, C. & Messié, M. (2010). Biología de la anchoveta peruana (*Engraulis ringens* Jenyns). *Bol Inst Mar Perú*, 25(1-2), 23-30.
- Carr, M.E., Strub, P. T., Thomas, A. C. & Blanco, J. L. (2002), Evolution of 1996–1999 La Niña and El Niño conditions off the western coast of South America: A remote sensing perspective, *Journal of Geophysical Research*, 107(C12), 3236.
- Castro-Longoria E. (2003) Egg Production and Hatching Success of Four *Acartia* Species under Different Temperature and Salinity Regimes. *Journal of Crustacean Biology*, 23(2): 289–299.

- Criales, M. I. (2009). *Spatio-temporal zooplankton community structure and trophic processes off central Peru*. (doctoral thesis). Bremen University, Bremen, Germany.
- Cury P, Shannon L & Shin Y. (2003). The functioning of marine ecosystems: a fisheries perspective. En M. Sinclair and G. Valdimarsson (Ed.), *Responsible fisheries in the marine ecosystem* (pp. 103-123). Nova Scotia, Canada.
- Delgado E., Sánchez S., Chang F., Bernales A. & Jacobo N. (2019) Cambios del fitoplancton en el mar peruano durante el verano 2017 Crucero 1703-04, BIC José Olaya y Luis Flores. *Bol. Inst. Mar. Perú*, 34 (1): 61-79.
- Di Mauro, R. (2011). *Variación interanual del mesozooplankton de la plataforma bonaerense en primavera: Introducción de las nuevas metodologías para su análisis*. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
- Dvoretzky, V., & Dvoretzky, A. (2010). Distribution of Zooplankton in the Barents Sea in August 2006. *Oceanology*, 50(6), 915-923.
- Echevin, V., O. Aumont, J. Ledesma & G. Flores (2008). The seasonal cycle of surface chlorophyll in the Peruvian upwelling system: A model study, *Progress in Oceanography*, 79, 167–176.
- ENFEN (2016). Informe Técnico ENFEN. Año 2, N° 12, diciembre de 2016, 52 p.
- Escribano, R. & I. A. McLaren (1999). Production of *Calanus chilensis* in the upwelling area of Antofagasta, Mar. Ecol. Prog. Ser., 177, 147-156.
- Escribano, R. (2006). Zooplankton interactions with the oxygen minimum zone in the eastern south pacific. *Gayana (Concepción)*, 70(Suppl. 1), 19-21.

- Escribano, R., Bustos-Ríos, E., Hidalgo, P., & Morales, C. (2015). Growth and production of the copepod community in the southern area of the Humboldt Current System. *Biogeosciences Discussions*, 12(3), 3057-3099.
- Espinoza, P., & Bertrand, A. (2008). Revisiting Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) trophodynamics provides a new vision of the Humboldt Current system. *Progress in Oceanography*, 79(2), 215-227.
- Espinoza-Morriberón, D., V. Echevin, F. Colas, J. Tam, J. Ledesma, L. Vásquez & Graco, M. (2017), Impacts of El Niño events on the Peruvian upwelling system productivity. *Journal of Geophysical Research. Oceans*, 122, 5423-5444.
- Franco-Gordo C., I. Ambriz-Arreola, E. Rose Kozak, J. Gómez-Gutierrez, V. Plascencia-Palomera, E. Godínez-Domínguez & A. Hinojosa-Larios. 2015. Seasonal succession of zooplankton taxonomic group assemblages in surface waters of bahía de Navidad, Mexico (November 2010 - December 2011). *Hidrobiológica* 25 (3): 335-345.
- Folt, C. L. & Burns, C. W. (1999) Biological drivers of zooplankton patchiness. *Trends Ecol. Evol.*, 14, 300–305.
- Graco, M., Ledesma, J., Flores, G. & Girón, M. (2007). Nutrientes, oxígeno y procesos biogeoquímicos en el sistema de surgencias de la corriente de Humboldt frente a Perú. *Rev. Per. Biol.* 14, 117–128.
- Graco M., Correa D., García W. y Sarmiento M. (2016). Impactos del ENSO en la biogeoquímica del sistema de afloramiento frente a Perú central, febrero 2013 - diciembre 2015. *Boletín Trimestral Oceanográfico* 2 (1), p. 2-6.

- Graco, M.I., Purca, S., Dewitte, B., Castro, C.G., Morón, O., Ledesma, J., Flores, G.A., & Gutiérrez, D. (2017). The OMZ and nutrient features as a signature of interannual and low-frequency variability in the Peruvian upwelling system. *Biogeosciences*, *14*, 4601–4617.
- Grados, C., Chaigneau, A., Echevin, V. & Dominguez, N. (2018). Upper ocean hydrology of the Northern Humboldt Current System at seasonal, interannual and interdecadal scales. *Progress in Oceanography* *165*, 123-144.
- Gutiérrez, D., Bouloubassi, I., Sifeddine, A., Purca, S., Goubanova, K., Graco, M., ...Ortlieb, L. (2011). Coastal cooling and increased productivity in the main upwelling zone off peru since the mid-twentieth century. *Geophysical Research Letters*, *38*, L07603, p.1-6.
- Gutiérrez, D., Akester, M. & Naranjo, L. (2016). Productivity and Sustainable Management of the Humboldt Current Large Marine Ecosystem under climate change. *Environmental Development* *17*, 126–144.
- Guzmán, H., y Obando, V. (1988). Diversidad y abundancia diaria y estacional del zooplancton marino de la Isla del Caño, Costa Rica. *Revista de biología Tropical*, *36*(1), 139-150.
- Harris, R., Wiebe, P., Lenz, J., Skjoldal, H., & Huntley, M. (. (2000). ICES zooplankton methodology manual. *Academic Press*. 684 p.
- Haury, L., McGowan, J., & Wiebe, P. (1978). Patterns and Processes in the Time-Space Scales of Plankton Distributions. In *Spatial pattern in plankton communities*. (N. Y. Plenum Press, Ed.) *Springer US*, *3*, 277-327.

- Hays, G., Richardson, A., & Robinson, C. (2005). Climate change and marine plankton. *Trends in ecology & evolution*, 20(6), 337-344.
- Hernández-Ávila, I., & Gaspar, A. (2014). Patrones de abundancia y composición del zooplancton costero a varias escalas temporales en un ciclo de surgencia estacional en la Isla de Margarita, Venezuela. *Interciencia*, 39(2), 122.
- Hooff, R., & Peterson, W. (2006). Copepod biodiversity as an indicator of changes in ocean and climate conditions of the northern California current ecosystem. *Limnology and Oceanography*, 51(6), 2607-2620.
- Kozak ER, Franco-Gordo C, Suárez-Morales E & Palomares-García R (2014) Seasonal and interannual variability of the calanoid copepod community structure in shelf waters of the Eastern Tropical Pacific. *Mar Ecol Prog Ser* 507:95-110.
- Kozak, E. R., Olivos-Ortiz, A., Franco-Gordo, C. & Pelayo-Martínez, G. (2018). Seasonal variability of copepod community structure and abundance modified by the El Niño-La Niña transition (2010), Pacific, Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 66 (4), 1449-1468.
- Lalli, C. M. & Parsons, T. R. (1997). *Biological oceanography; an introduction*. Cap. 4. 2nd. Ed. Butterworth & Heinemann. 314 p.
- Lavaniegos, B., Gomez-Gutierrez, J., Lara-Lara, J., & Hernández-Vázquez, S. (1998). Long-term changes in zooplankton volumes in the California Current System—the Baja California region. *Marine Ecology Progress Series*, 169, 55-64.
- Longhurst, A.R. (1985). Relationship between diversity and the vertical structure of the upper ocean. *Deep Sea Research Part A, Oceanographic Research Papers*, 32 (12), 1535-1570.

- Lüdke, J., Dengler, M., Sommer, S., Clemens, D., Thomsen, S., Krahnemann, G., Dale, A. W., Achterberg, E. P. & Visbeck, M (2019). Influence of intraseasonal eastern boundary circulation variability on hydrography and biogeochemistry off Peru. *Ocean Science*, 16 (6), 1347–1366.
- Mackas DL & Beaugrand G. (2010). Comparison of zooplankton time series. *Journal of Marine Systems*, 79: 286–304.
- Mackas, D.L & Pepin, P. & Verheye, H. (2012). Interannual variability of marine zooplankton and their environment: Within- and between-region comparisons. *ProgressIn Oceanography*, (97-100): 1-14.
- Mackas D.L., Greve W., Edwards M., Chiba S., Tadokoro K., Eloire D., Mazzocchi M.G., Batten S., Richardson A.J., Johnson C., Head E., Conversi A. & Peluso T. (2012). Changing zooplankton seasonality in a changing ocean: Comparing time seriesof zooplankton phenology. *Progress in Oceanography*, 97: 31-62.
- Marzloff, M., Shin, Y., Tam, J., Travers, M., & Bertrand, A. (2009). Trophic structure of the Peruvian marine ecosystem in 2000–2006: Insights on the effects of management scenarios for the hake fishery using the IBM trophic model Osmose. *Journal of Marine Systems*, 75(1), 290-304. doi:10.1016/j.jmarsys.2008.10.009
- Mori, T. (1964). The pelagic Copepoda from the neighbouring waters of Japan. *Soyo Company, Tokio: 1 – 150*.
- Moriarty, R., Buitenhuis, E. T., Le Quéré, C. & Gosselin, M. P. (2012). Distribution of known macrozooplankton abundance and biomass in the global ocean. *Earth System Science*, 5 :187–220.

- Pinedo, E. (2014). *Estructura comunitaria del zooplancton de la costa peruana asociado a las masas de agua durante los veranos del 2000 y 2003* (tesis de pregrado). Lima, Perú.
- Pino, P. (2013). *Variabilidad estacional e interanual de la estructura comunitaria de copépodos y biomasa mesozooplancónica en la zona de surgencia de Chile Centro-Sur* (Tesis de doctorado). Universidad de Concepción, Chile.
- Rodríguez-Sáenz, K., y Morales-Ramírez, A. (2012). Composición y distribución del mesozooplankton en una zona de afloramiento costero (Bahía Culebra, Costa Rica) durante La Niña 1999 y el 2000. *Revista de Biología Tropical*, 60, 143-157.
- Rojas de Mendiola, B. y Gómez, O. (1981). Primera alimentación, sobrevivencia y tiempo de actividad de las larvas de anchoveta (*Engraulis ringens*). *Bol Ins. Mar Perú-Callao*. Volumen extraordinario. 288p.
- Santander. (1981). Catálogo de zooplancton en el Mar Peruano. *Bol Inst Mar Perú* 6: 7-75.
- Suárez-Morales, E., y Arriaga, E. (1998). Zooplancton e hidrodinámica en zonas litorales y arrecifales de Quintana Roo, México. *Hidrobiológica*, 8(1), 19-32.
- Tarazona, J., Gutiérrez, D., Paredes, C., & Indacochea, A. (2003). Overview and challenges of marine biodiversity research in Perú. *Gayana (Concepción)*, 67(2), 206-231.
- Ulloa, O., R. Escribano, S. Hormazabal, R. A. Quiñones, R. R. González, and M. Ramos (2001), Evolution and biological effects of the 1997–98 El Niño in the upwelling ecosystem off northern Chile, *Geophys. Res. Lett.*, 28(8), 1591–1594.

- Vereshchaka, A.L., Anokhina, L.L., Lukasheva, T.A. & Lunina, A.A. (2019). Long-term studies reveal major environmental factors driving zooplankton dynamics and periodicities in the Black Sea coastal zooplankton. *Peer J*, 7:e7588, pp. 1-24.
- Vidal, J. (1968). Copépodos calanoideos epipelágicos de la expedición Marchile II. Universidad de Concepción, Instituto Central de Biología.
- Villate, F., Uriarte, I., Irigoien, X., Beaugrand, G., y Cotano, U. (2004). Zooplankton communities. *Oceanography and Marine Environment of the Basque Country*, 395–423.
- Weikert, H. (1982). The Vertical Distribution of Zooplankton in Relation to Habitat Zones in the Area of the Atlantis II Deep, Central Red Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 8(2), 129-143.
- Wiafe G. & Frid C.L.J. (1996) Short-term temporal variation in coastal zooplankton communities: the relative importance of physical and biological mechanisms. *Journal of Plankton Research*, 18: 1485–1501.
- Zuta, S. y Guillén, O. (1970). Oceanografía de las aguas costeras del Perú. *Boletín del Instituto del Mar del Perú* 5, 157–324.

ANEXOS

Tabla 5

Abundancia media, mínima y máxima, abundancia relativa (%) de los taxones más abundantes en la bahía Cantolao durante el 2017

Taxa	Ab relativa (ind.m⁻³)	Media (ind.m⁻³)	Mín.	Máx.	Abundancia (%)
Copepoda	282415.09	5763.57	6.38	62505.57	87.02
<i>Acartia</i> sp.	243942.46	4978.4	0	62499.6	75.17
<i>Paracalanus parvus</i>	34598.62	706.094	0	14938.282	10.66
<i>Oithona</i> sp.	1490.28	30.41	0	678.83	0.46
<i>Hemicyclops</i> sp.	1501.92	30.651	0	973.179	0.46
<i>Corycaeus</i> sp.	251.64	5.136	0	214.148	0.08
<i>Oncaea</i> sp	247.23	5.046	0	126.661	0.08
<i>Haloptilus</i> sp.	92.05	1.879	0	34.107	0.03
<i>Clausocalanus jobei</i>	43.37	0.8852	0	11.1441	0.01
<i>Eucalanus inermis</i>	42.88	0.8752	0	17.8637	0.01
<i>Calanus chilensis</i>	27.47	0.5608	0	10.6483	0.01
<i>Centropages brachiatus</i>	7.59	0.1551	0	4.4899	0.0023
Brachiopoda	842.77	17.2	0	523	0.26
Actinopterygii	16233.02	331.286	0	2764.766	5.00
<i>Engraulis ringens</i>	12706.43	259.315	0	2760.181	3.92
<i>Mugil cephalus</i>	345.13	7.044	0	233.795	0.11
<i>Merluccius gayi</i>	14.37	0.2935	0	8.8979	0.0044
Appendicularia	450.27	9.189	0	129.665	0.14
Gastropoda	8853.96	180.693	0	6821.351	2.73
Cirripedia	7464.52	152.337	0	2772.282	2.30
Polychaeta	4193.49	85.582	0	2767.195	1.29
Magelonidae	3965.61	80.93	0	2637.59	1.22
Malacostraca	3485.70	71.137	0	576.817	1.07
Decapoda	2926.48	59.724	0	572.726	0.90
Pinnotheridae	1010.52	20.623	0	264.545	0.31
Xanthidae	842.02	17.184	0	500.63	0.26
Abundancia Total	324540.02	6623.27	14.83	62526.47	100

Tabla 6

Lista de especies del zooplancton en la bahía Cantolao durante el 2017

<p><i>Annelida</i> <i>Pelagobia longicirrata</i> Magelonidae Polynoidae Spionidae Siboglinidae</p> <p><i>Chordata</i> Appendicularia Oikopleura sp. Thaliaceae Doliolum sp. Actinopterygii <i>Engraulis ringens</i> <i>Merluccius gayi</i> <i>Scomber japonicus</i> <i>Mugil cephalus</i> <i>Odontesthes regia regia</i> <i>Atherinella nepenthe</i> <i>Sciaena deliciosa</i> <i>Anisotremus scapularis</i></p> <p><i>Mollusca</i> Bivalvia Gastropoda</p> <p><i>Brachiopoda</i> <i>Discinisca lamellosa</i></p> <p><i>Chaetognatha</i> <i>Sagitta hexaptera</i> <i>Sagitta</i> sp.</p> <p><i>Echinodermata</i> Ophiuroidea Echinodermata no det.</p> <p><i>Cnidaria</i> <i>Muggiaeae atlantica</i> <i>Obelia</i> sp. <i>Sarsia</i> sp. Siphonophorae no det.</p> <p><i>Arthropoda</i> Branchiopoda <i>Pleopis polyphemoides</i></p>	<p><i>Pseudevadne tergestina</i></p> <p>Cirripedia <i>Notochthamalus scabrosus</i> <i>Austromegabalanus psittacus</i> Cirripedia (sp1) Cirripedia (sp2)</p> <p>Ostracoda no det.</p> <p>Malacostraca Decapoda Pinnotheridae no det. Varunidae no det. Ocypodidae no det. Paguridae no det. Porcellanidae no det. Grapsidae no det. Xanthidae no det. Calappidae no det. <i>Emerita analoga</i> Plathyxanthidae no det. Diogenidae no det. <i>Pleuroncodes monodon</i> Brachyura no det. <i>Synalpheus</i> sp. <i>Callinassa</i> sp. <i>Pachycheles</i> sp. <i>Pinnixa</i> sp. <i>Plathyxanthus orbignil</i> <i>Pagurus</i> sp. <i>Pagurus perlatus</i> <i>Cyrtograpsus</i> sp.</p> <p>Amphipoda <i>Ampelisca</i> sp. <i>Photis</i> sp.</p> <p>Euphausiacea <i>Euphausia</i> sp.</p> <p>Mysidae <i>Gibberythrops</i> sp.</p> <p>Stomatopoda no det</p> <p>Isopoda no det</p>
---	--

Copepoda

<i>Acartia</i> sp.	<i>Lucicutia gaussae</i>
<i>Acrocalanus</i> sp.	<i>Lucicutia clausi</i>
<i>Augaptilus</i> sp.	<i>Microsetella rosea</i>
<i>Aetideus bradyi</i>	<i>Mecynocera clausi</i>
<i>Aetideus</i> sp.	<i>Oithona</i> sp.
<i>Calanus chilensis</i>	<i>Oithona nana</i>
<i>Calocalanus pavo</i>	<i>Oithona atlantica</i>
<i>Centropages brachiatus</i>	<i>Oithona plumifera</i>
<i>Corycaeus</i> sp.	<i>Oithona pseudofrigida</i>
<i>Corycaeus dubius</i>	<i>Oithona setigera</i>
<i>Corycaeus lautus</i>	<i>Oithona similis</i>
<i>Clausocalanus jobei</i>	<i>Oncaea</i> sp.
<i>Eucalanus inermis</i>	<i>Oncaea venusta</i>
<i>Euterpina</i> sp.	<i>Oncaea conifera</i>
<i>Euterpina acutifrons</i>	<i>Oncaea media</i>
<i>Haloptilus</i> sp.	<i>Paracalanus parvus</i>
<i>Haloptilus austini</i>	<i>Paracalanus quasimodo</i>
<i>Haloptilus oxycephalus</i>	<i>Paraeucalanus attenuatus</i>
<i>Haloptilus chierchiae</i>	<i>Pontoeciella abyssicola</i>
<i>Haloptilus longicirrus</i>	<i>Rhincalanus cornutus</i>
<i>Hemicyclops</i> sp.	<i>Subeucalanus mucronatus</i>
<i>Hemicyclops</i> sp2	<i>Scolecithricella profunda</i>
<i>Lubbockia squillimana</i>	<i>Saphirina Opalina-darwini</i>
<i>Lucicutia flavicornis</i>	<i>Scolecithrix danae</i>

Tabla 7

Abundancia relativa (%) en relación a los días de muestreo según el Phylum

Día	Annelida	Chordata	Mollusca	Brachiopoda	Chaetognatha	Echinodermata	Cnidaria	Arthropoda
5	0.00	0.00	1.15	0.00	0.00	0.14	0.00	98.70
12	2.66	0.00	0.54	0.00	0.00	0.06	0.00	96.74
26	0.01	5.34	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	94.54
33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
40	0.03	1.72	0.00	2.24	0.00	0.00	0.00	96.01
47	0.00	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	99.95
54	0.00	54.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	45.83
61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
68	79.69	3.13	0.00	3.13	0.00	0.00	0.00	14.06
75	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.04
82	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.82
89	0.00	0.49	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	99.46
96	0.00	0.49	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	99.46
102	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.81
112	0.00	0.35	0.28	0.00	0.01	0.00	0.00	99.37
117	0.00	6.29	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	92.83
125	0.68	0.68	3.42	2.74	0.00	0.00	0.00	92.47
131	0.00	2.33	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00	97.39
138	0.54	14.73	0.54	0.00	0.00	0.00	0.00	84.19
145	0.00	2.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	97.53
152	0.00	11.38	0.27	0.00	0.00	0.00	0.13	88.22
159	0.00	0.64	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	99.33
166	0.00	32.59	1.51	0.00	0.00	0.00	0.00	65.90
173	0.00	28.51	5.10	0.00	0.00	0.00	0.00	66.39
178	0.00	2.08	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	97.86
187	0.02	1.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	98.48
194	0.00	0.63	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	99.21
201	0.00	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.52
207	0.00	4.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	95.51
215	0.00	1.84	0.61	0.00	0.00	0.00	0.00	97.55
222	0.00	8.18	0.00	0.00	0.00	0.51	0.00	91.30
229	0.00	0.15	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	99.71
237	0.00	49.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.54
243	0.00	17.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	82.56
250	0.00	19.58	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	80.39
257	0.00	4.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	95.42
264	0.00	85.49	0.22	0.00	0.00	0.15	0.00	14.14
278	0.00	1.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	98.01
285	0.10	23.64	0.44	0.16	0.00	0.41	0.00	75.25
292	0.03	3.95	0.11	0.03	0.00	0.00	0.00	95.88

299	10.04	9.93	15.27	0.18	0.00	0.58	0.21	63.80
306	0.00	79.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.99
321	0.00	38.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.89	60.83
328	1.28	5.87	0.89	0.13	0.00	0.06	0.00	91.77
335	13.87	0.31	34.19	2.62	0.00	0.28	0.72	48.01
341	0.14	1.55	0.35	0.09	0.00	0.01	0.01	97.85
349	0.72	78.80	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	20.35
356	0.37	5.18	1.66	0.00	0.00	0.00	0.00	92.79
362	0.00	1.55	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	98.29

Tabla 8

Abundancia relativa (%) en relación a los días de muestreo según la Clase

Día	Polychaeta	Actinopterygii	Appendicularia	Thaliaceae	Bivalvia	Gastropoda	Lingulata	Hydrozoa	Branchiopoda	Cirripedia	Copepoda	Malacostraca	Ostracoda
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.15	0.00	0.00	0.14	3.46	92.51	2.59	0.00
12	2.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.54	0.00	0.00	0.00	0.10	96.29	0.35	0.00
26	0.01	5.34	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.02	94.50	0.01	0.00
33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	99.97	0.01	0.00
40	0.03	1.72	0.00	0.00	0.00	0.00	2.24	0.00	0.11	3.40	87.75	4.75	0.00
47	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.11	99.84	0.00	0.00
54	0.00	54.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.67	29.17	0.00
61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.55	0.45	0.00
68	79.69	3.13	0.00	0.00	0.00	0.00	3.13	0.00	0.00	6.25	6.25	1.56	0.00
75	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.73	92.31	0.00	0.00
82	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	95.65	4.16	0.00
89	0.00	0.49	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.16	99.09	0.21	0.00
96	0.00	0.49	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.16	99.09	0.21	0.00
102	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	1.86	97.02	0.74	0.00
112	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00	0.00	0.23	0.57	97.15	1.41	0.00
117	0.00	6.29	0.00	0.00	0.00	0.87	0.00	0.00	0.00	1.92	65.91	25.00	0.00
125	0.68	0.00	0.68	0.00	0.00	3.42	2.74	0.00	0.00	5.48	80.14	6.85	0.00
131	0.00	2.26	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.77	89.41	6.21	0.00
138	0.54	14.73	0.00	0.00	0.22	0.32	0.00	0.00	0.00	0.32	83.44	0.43	0.00
145	0.00	2.28	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.22	95.01	2.30	0.00
152	0.00	8.43	2.95	0.00	0.00	0.27	0.00	0.13	0.00	0.40	83.94	3.88	0.00
159	0.00	0.64	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	99.01	0.29	0.01
166	0.00	27.71	4.88	0.00	0.00	1.51	0.00	0.00	0.00	3.82	58.53	3.46	0.09
173	0.00	28.32	0.18	0.00	0.91	4.19	0.00	0.00	0.00	16.21	50.09	0.09	0.00

178	0.00	2.03	0.05	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	10.09	70.69	17.08	0.00
187	0.02	1.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	1.68	92.44	4.36	0.00
194	0.00	0.63	0.00	0.00	0.04	0.12	0.00	0.00	0.00	3.94	94.25	1.02	0.00
201	0.00	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	98.75	0.57	0.00
207	0.00	4.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.18	93.03	0.30	0.00
215	0.00	1.84	0.00	0.00	0.00	0.61	0.00	0.00	0.00	6.13	88.96	2.45	0.00
222	0.00	7.93	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	87.60	3.45	0.00
229	0.00	0.15	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.56	0.15	0.00
237	0.00	49.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.38	43.01	2.15	0.00
243	0.00	17.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.43	82.00	0.13	0.00
250	0.00	19.58	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	79.43	0.76	0.00
257	0.00	4.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.51	94.24	0.68	0.00
264	0.00	85.34	0.15	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00	0.96	12.36	0.81	0.00
278	0.00	1.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	97.90	0.08	0.00
285	0.10	23.48	0.16	0.00	0.00	0.44	0.16	0.00	0.00	0.70	73.45	1.11	0.00
292	0.03	2.60	1.35	0.00	0.00	0.11	0.03	0.00	0.00	8.04	86.96	0.88	0.00
299	10.04	8.79	1.14	0.00	0.00	15.27	0.18	0.21	0.00	24.35	39.36	0.08	0.00
306	0.00	79.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.09	20.73	0.09	0.00
321	0.00	37.98	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.89	0.00	0.89	55.19	4.75	0.00
328	1.28	1.72	4.15	0.00	0.00	0.89	0.13	0.00	8.42	4.53	77.41	1.40	0.00
335	13.87	0.22	0.09	0.00	0.00	34.19	2.62	0.72	0.00	10.47	36.74	0.79	0.00
341	0.14	1.21	0.34	0.00	0.00	0.35	0.09	0.01	0.00	1.26	95.97	0.62	0.00
349	0.72	78.80	0.00	0.00	0.07	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	19.21	1.14	0.00
356	0.37	5.18	0.00	0.00	0.55	1.11	0.00	0.00	0.00	10.54	68.58	13.68	0.00
362	0.00	1.55	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.31	0.31	94.57	3.11	0.00

Tabla 9

Abundancia relativa (%) en relación a los días de muestreo según los copépodos

Día	<i>Acartia</i>	<i>Corycaeus</i>	<i>Hemicyclops</i>	<i>Oithona</i>	<i>Oncaea</i>	<i>Paracalanus</i>	<i>Eucalanus</i>
5	83.43	0.00	1.30	0.00	0.43	6.92	0.00
12	94.52	0.00	1.62	0.00	0.03	0.13	0.00
26	92.16	0.01	0.65	0.01	0.01	1.64	0.00
33	99.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40	79.07	0.00	0.02	0.00	0.02	8.63	0.00
47	99.43	0.00	0.01	0.00	0.00	0.39	0.00
54	16.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
61	99.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00
68	3.13	0.00	1.56	0.00	0.00	0.00	1.56
75	80.77	0.96	0.00	0.00	0.96	9.62	0.00
82	84.25	0.00	0.00	0.20	0.00	11.17	0.00
89	98.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.00
96	98.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.00
102	62.57	0.00	1.49	4.66	1.12	24.58	2.23
112	89.99	0.00	0.01	0.01	0.00	7.14	0.00
117	64.86	0.00	0.17	0.00	0.17	0.52	0.17
125	65.07	0.00	1.37	1.37	1.37	10.96	0.00
131	78.25	0.00	0.92	9.68	0.00	0.07	0.07
138	77.20	0.00	2.90	0.54	0.00	1.83	0.22
145	0.00	4.00	0.04	4.04	0.00	86.17	0.00
152	76.97	0.00	0.00	2.68	0.13	1.47	0.00
159	98.10	0.00	0.01	0.38	0.01	0.34	0.00
166	33.57	0.00	0.00	5.24	0.62	17.85	0.09
173	20.04	0.18	1.37	10.02	0.64	15.76	0.00
178	60.28	0.00	0.00	1.44	0.00	8.28	0.00
187	69.14	0.00	0.00	0.66	0.00	22.61	0.00
194	57.40	0.31	0.00	13.39	0.00	22.76	0.00
201	95.02	0.00	0.00	0.10	0.00	3.64	0.00
207	74.07	0.00	0.00	0.06	0.02	18.84	0.00
215	84.05	0.00	0.00	0.00	0.00	3.07	0.00
222	64.32	0.00	0.00	0.77	0.00	21.87	0.00
229	77.53	0.00	0.00	0.00	0.00	22.03	0.00
237	12.90	0.00	0.00	0.00	0.00	30.11	0.00
243	74.56	0.00	0.00	0.00	0.00	7.44	0.00
250	76.20	0.00	0.00	0.14	0.03	2.89	0.00
257	74.58	0.00	0.00	0.34	0.00	18.31	0.00
264	5.70	0.00	0.15	0.15	0.07	3.70	0.00
278	64.41	0.00	0.00	0.00	0.00	33.48	0.00
285	70.34	0.00	0.00	0.03	0.38	2.06	0.00
292	81.13	0.00	2.93	0.11	1.80	0.88	0.00

299	38.92	0.00	0.18	0.00	0.03	0.24	0.00
306	19.34	0.00	0.00	0.00	0.00	1.39	0.00
321	55.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
328	32.42	0.00	1.28	1.02	0.06	42.05	0.13
335	15.59	0.00	4.88	0.00	0.10	16.00	0.00
341	95.19	0.00	0.20	0.00	0.32	0.00	0.10
349	19.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00
356	67.47	0.00	0.18	0.00	0.00	0.18	0.74
362	92.08	0.00	0.00	0.00	0.00	2.48	0.00

Tabla 10

Autovalores e importancia de los componentes principales de las variables independientes

	PC1	PC2	PC3
Eigenvalue	2.0635	1.7127	1.1886
Proportion Explained	0.2293	0.1903	0.1321
Cumulative Proportion	0.2293	0.4196	0.5516

Tabla 11

Correlaciones entre los componentes y las variables independientes

	PC1	PC2	PC3
Temperatura	-0.582091	0.0863247	-0.356843
Salinidad	0.78069984	0.04129689	0.32410545
Oxígeno	0.04182824	0.46129395	-0.172172
pH	-0.1936081	0.15349931	-0.3712686
Fosfatos	-0.689689	-0.3203771	0.32393018
Silicatos	-0.310662	-0.694392	0.2805483
Nitratos	-0.02995	-0.716861	-0.3321061
Nitritos	0.29604823	-0.2851718	-0.7029675
Clorofila	-0.6443457	0.53588507	0.02590317

Tabla 12

Autovalores e importancia de los componentes principales según el Phylum

	PC1	PC2
Eigenvalue	0.04172	0.01547
Proportion Explained	0.65688	0.2436
Cumulative Proportion	0.65688	0.90048

Tabla 13

Correlaciones entre los componentes y las variables dependientes según el Phylum

	PC1	PC2
Annelida	0.121157	0.96450626
Chordata	0.97448873	-0.2077372
Mollusca	0.04130175	0.52332467
Brachiopoda	-0.0037249	0.7445427
Chaetognatha	-0.1093756	-0.0203418
Echinodermata	0.106002	0.26128859
Cnidaria	0.12099498	0.29414429
Arthropoda	-0.8868397	-0.4048441

Tabla 14

Autovalores e importancia de los componentes principales según los copépodos

	PC1	PC2
Eigenvalue	0.08465	0.01601
Proportion Explained	0.6832	0.12925
Cumulative Proportion	0.6832	0.81244

Tabla 15

Correlaciones entre los componentes y las variables dependientes según los copépodos

	PC1	PC2
<i>Acartia</i>	-0.9109093	-0.2858913
<i>Calanus</i>	0.4148401	0.19046962
<i>Centropages</i>	-0.0432859	0.00832305
<i>Clausocalanus</i>	0.41337089	0.09571568
<i>Eucalanus</i>	-0.0490929	0.8314047
<i>Corycaeus</i>	0.43803123	0.08430283
<i>Haloptilus</i>	0.23088207	0.07465139
<i>Hemycyclops</i>	0.10879965	0.88352719
<i>Oithona</i>	0.48144873	0.15887551
<i>Oncaea</i>	0.17833627	0.17644783
<i>Paracalanus</i>	0.97411872	-0.1692352

Tabla 16

Autovalores e importancia de los componentes principales según los estadios de copépodos

	PC1	PC2	PC3	PC4
Eigenvalue	0.08342	0.0408	0.02708	0.02017
Proportion Explained	0.39215	0.1918	0.12729	0.09483
Cumulative Proportion	0.39215	0.5839	0.71122	0.80605

Tabla 17

Correlaciones entre los componentes y las variables dependientes según los estadios de copépodos

	PC1	PC2	PC3	PC4
<i>Acartia</i> hembra	-0.7744986	0.52994404	0.19071956	0.06334255
<i>Acartia</i> macho	-0.169968	-0.4715576	0.82913195	-0.1018371
<i>Acartia</i> CV	-0.2673136	-0.8652346	-0.1737041	0.25113365
<i>Acartia</i> CIV	-0.1957047	-0.2375315	-0.3226003	-0.8763546
<i>Acartia</i> CIII	-0.051701	0.0332417	-0.0745603	-0.2909257
<i>Calanus</i> adulto	0.50853242	0.14087063	-0.1769137	-0.0183293
<i>Calanus</i> copepodito	0.31880617	0.10834298	-0.0920961	0.04587404
<i>Centropages</i> hembra	-0.0403688	0.00150995	-0.0772694	-0.1236797
<i>Centropages</i> copepodito	-0.0600688	-0.0764654	-0.0804424	-0.1999863
<i>Clausocalanus</i> copepodito	0.00164793	0.08513569	0.07106443	0.05341989
<i>Clausocalanus</i> adulto	0.40756481	0.10896503	-0.05765	0.09387265
<i>Eucalanus</i> adulto	-0.1491368	-0.0501611	0.04986726	0.14053202
<i>Eucalanus</i> copepodito	0.00148241	0.05029916	-0.5198799	0.44374604
<i>Haloptilus</i> copepodito	0.21272225	0.1069819	0.06435805	0.13832985
<i>Haloptilus</i> adulto	0.24542936	0.12321867	0.08703441	0.15063662
<i>Hemicyclops</i> copepodito	-0.0644738	-0.0294245	-0.5864988	0.43555193
<i>Hemicyclops</i> adulto	0.20967942	-0.0052439	0.00712132	0.01371366
<i>Oithona</i> adulto	0.41142703	-0.0358131	-0.096231	0.07072319
<i>Oithona</i> copepodito	0.46531997	0.14340546	-0.0664563	0.03758429
<i>Oncaea</i> copepodito	0.11936606	-0.1091818	-0.0686198	0.22454727
<i>Oncaea</i> adulto	0.16827671	-0.110009	-0.0378079	-0.1843439
<i>Paracalanus</i> adulto	0.96761263	0.11154032	0.10125298	-0.0201986
<i>Paracalanus</i> copepodito	0.6035887	-0.0982004	0.29011748	0.15127123

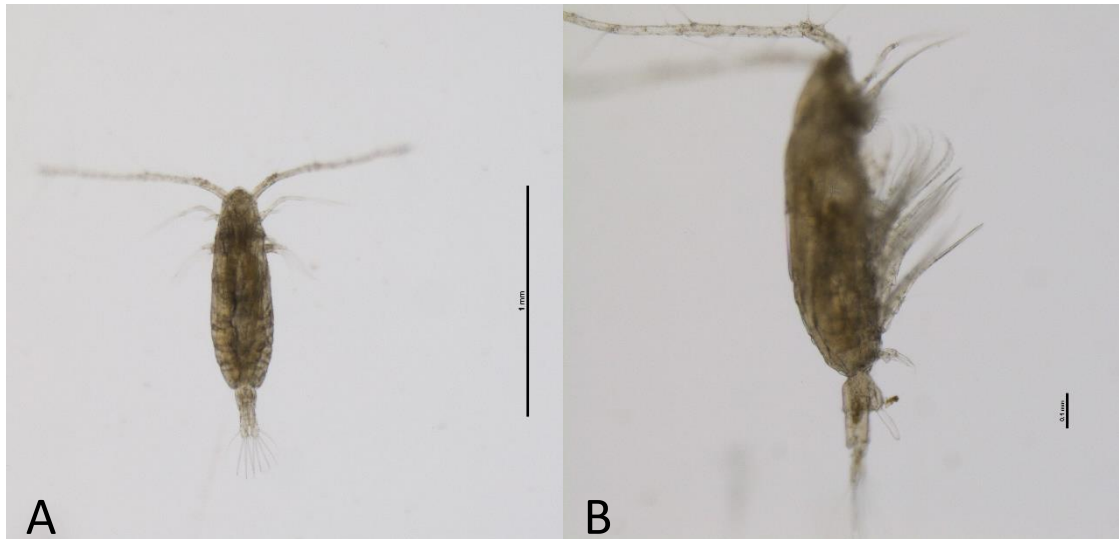


Figura 21. *Acartia* sp. zoom 3x (A) y zoom 6x (B). Tomadas con un Estéreomicroscopio Nikon SMZ18.



Figura 22. *Calanus chilensis* zoom 2x. Tomadas con un Estéreomicroscopio Nikon SMZ18.



Figura 23. *Centropages brachiatus* zoom 3x. Tomadas con un Estéreomicroscopio Nikon SMZ18.



Figura 24. *Clausocalanus jobei* zoom 3x. Tomadas con un Estéreomicroscopio Nikon SMZ18.