

EFFECTOS DE CAMBIOS AMBIENTALES SOBRE TRES ESPECIES DE COPÉPODOS EN LA ISLA GORGONA (SUR DEL PACÍFICO COLOMBIANO), ENTRE LOS AÑOS 2013 A 2022

Manuela Gutiérrez Ospina

Universidad del Valle sede Cali, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Programa académico de Biología, Calle 13 # 100-00, Cali, Colombia.

manuela.gutierrez@correounivalle.edu.co

Mauricio Jerez Guerrero

Universidad del Valle sede Cali, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Departamento de Biología, Grupo de Investigación en Ciencias Oceanográficas, Calle 13 # 100-00, Cali, Colombia.

mauricio.jerez@correounivalle.edu.co

Alan Giraldo López

Universidad del Valle sede Cali, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Departamento de Biología, Grupo de Investigación en Ciencias Oceanográficas, Calle 13 # 100-00, Cali, Colombia.

alan.giraldo@correounivalle.edu.co

RESUMEN

Los organismos marinos se ven influenciados por diversos cambios en las condiciones climáticas y oceanográficas, así mismo el efecto del calentamiento global asociado a un incremento en la frecuencia de la fase cálida del ENOS sobre estos organismos podría influir en la variación de su tamaño corporal. En este estudio se evaluó el efecto de la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto tomadas a profundidades estándar sobre el largo total de tres especies de copépodos *Ditrichocorycaeus andrewsi*, *Subeucalanus pileatus*, y *Centropages furcatus* en el ambiente pelágico de isla Gorgona en un periodo de nueve años. Se describió la variabilidad vertical de la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto durante el periodo de estudio y se utilizó un modelo lineal mixto con estructura factorial, para evaluar el efecto independiente sobre el sexo, la especie y el año, complementado con un análisis de correlación de pares de Spearman para verificar la asociación con las variables. Finalmente, se utilizó un análisis de varianza Anova con una prueba de comparación múltiple de Tukey para determinar la presencia de diferencias significativas de la longitud total entre los años de estudio para cada una de las especies. Se identificaron variaciones significativas en el largo total de las tres especies seleccionadas para este estudio, asociado a la interacción entre especie, sexo y año. Aunque se detectaron correlaciones fuertes entre las variables ambientales estudiadas y el largo de las tres especies de copépodos, solamente se estableció una correlación significativa entre el oxígeno disuelto y el tamaño de *S. pileatus*. Es posible que otros parámetros no evaluados como la Chl-a o la disponibilidad de alimento estén modulando la variación del tamaño de los copépodos estudiados. Este trabajo podría servir como línea base para futuros estudios en una escala temporal mayor sobre el efecto del cambio climático en el tamaño corporal de copépodos en el Pacífico colombiano

Palabras clave:

ENOS, calentamiento global, tamaño corporal, zooplancton.

ABSTRACT

Marine organisms are influenced by various changes in climatic and oceanographic conditions, likewise the effect of global warming associated with an increase in the frequency of the warm phase of ENSO on these organisms could influence the variation in their body size. In this study, was evaluated the effect of dissolved oxygen, salinity and temperature taken at standard depths on the total length of three species of copepods *Ditrichocorycaeus andrewsi*, *Subeucalanus pileatus*, and *Centropages furcatus* in the pelagic environment of Gorgona Island, over a period of nine

years. The vertical variability of temperature, salinity and dissolved oxygen was described during the study period and a mixed linear model with factorial structure was used to evaluate the independent effect on sex, species and year, complemented with a Spearman's correlation analysis by pairs to verify the association with the variables. Finally, an analysis of variance (Anova) with a Tukey's multiple comparison test was used to determine the presence of significant differences in total length between the study years for each one species. Significant variations in total length of the three species selected for this study were identified, associated with the interaction between species, sex and year. Although strong correlations were detected between the environmental variables studied and the sizes of copepods species, a significant correlation was only established between dissolved oxygen and the size of *S. pileatus*. It is possible that another not evaluated parameter such as chlorophyll-a or the availability of food could be affecting the total length variation in the studied copepods. This work could contribute as baseline for future studies on a larger time scale on the effect of climate change on the body size of copepods in the Colombian Pacific

Key words:

Body size, ENSO, global warming, zooplankton

INTRODUCCION

La reducción del tamaño corporal es una respuesta universal de las especies inducida por el calentamiento global, se basa en la regla de Bergmann (1847), que establece que las especies de un clado taxonómico tienden a ser más pequeñas en climas cálidos y más grandes en climas fríos (Gardner *et al.* 2011). Este patrón se ha confirmado en varios taxa, incluyendo insectos, crustáceos, peces, anfibios, aves y mamíferos (Reading, 2007; Daufresne *et al.* 2009; Sheridan y Bickford, 2011; Garzke *et al.* 2015; Campbell *et al.* 2021). Específicamente, las especies acuáticas tienden a reducir su masa corporal diez veces más en respuesta al calentamiento en comparación con las terrestres, posiblemente impulsado por cambios en los niveles de oxígeno (Forster *et al.* 2011; Garzke *et al.* 2016).

Además del calentamiento global, los organismos acuáticos enfrentan influencias temporales debido a las condiciones climáticas y oceanográficas. En el Pacífico Oriental Tropical, en donde se encuentra el Pacífico colombiano (PC), influye la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) generando dos temporadas hidroclimatológicas: una de menor precipitación de diciembre a abril en la que predominan aguas frías y salinas en la columna de agua y una de mayor precipitación de mayo a noviembre en la que predominan aguas cálidas y de baja salinidad en la columna de

agua (Valencia *et al.* 2013; Jerez-Guerrero *et al.* 2022). Sin embargo, esta variabilidad intra anual de las características físicas del PC se ve afectada por la fase cálida del ENOS (El Niño Oscilación del Sur), la cual exhibe anomalías positivas de la temperatura superficial del mar (TSM) y se denomina El Niño mientras que la fase fría exhibe anomalías negativas de la temperatura superficial del mar y se denomina La Niña (Wang y Fiedler, 2006; Valencia *et al.* 2013).

Esta variación en las condiciones oceanográficas en el ambiente pelágico influye significativamente en el zooplancton, especialmente en la comunidad de copépodos, ya que puede llegar a alterar su distribución, abundancia y fenología como respuesta a cambios en su hábitat termal óptimo (Edwards y Richardson, 2004; Poloczanska *et al.*, 2013; McGinty *et al.*, 2021). Los copépodos son crustáceos holoplanctónicos, representando entre el 50% y el 90% del zooplancton, y actualmente comprenden 10 ordenes de los cuales se ha registrado que Calanoida, Cyclopoida y Harpacticoida son los que presentan un mayor número de familias y especies en el ambiente tropical nerítico del PC, siendo Calanoida el más común y diverso (Jerez-Guerrero *et al.* 2020; Walter y Boxshall, 2023). Estos organismos desempeñan un papel fundamental en la transferencia de energía en los ecosistemas marinos y son esenciales en las redes tróficas marinas (Richardson, 2008).

En el PC, la comunidad de copépodos ha sido objeto de estudio en el área marina protegida de isla Gorgona relacionándola con variables ambientales (Giraldo *et al.* 2014; Jerez-Guerrero *et al.* 2020 y 2022). Sin embargo, debido a su importancia en las redes tróficas, es crucial evaluar si han ocurrido cambios en su tamaño corporal debido a factores ambientales, lo que podría afectar la disponibilidad de alimento y, en última instancia, la acumulación de biomasa en niveles tróficos primarios y superiores (Hoegh-Guldberg y Bruno, 2010; Garzke *et al.* 2015). En esta

investigación se evaluó el efecto de los cambios de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en el ambiente pelágico del sur del PC a partir del análisis de la variabilidad morfométrica de tres especies de copépodos recolectados durante un periodo de nueve años en el área marina protegida de la isla Gorgona. Para este propósito se plantearon las siguientes preguntas de investigación: (1) ¿La variación temporal de la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto tiene un efecto sobre el tamaño corporal de tres especies de copépodos representativos del ambiente pelágico de la isla Gorgona? (2) ¿Es válida la regla de Bergmann para estas especies de copépodos que habitan en esta región? y (3) ¿La talla de machos y hembras de las especies de copépodos seleccionadas para la zona de estudio responden de manera diferencial a las variaciones en las condiciones oceanográficas asociadas al efecto del ENOS? Se estableció como hipótesis de investigación que los cambios en las condiciones oceanográficas ocurridos en el PC, generados por la influencia del efecto del ENOS, trae como consecuencia una reducción en la talla de los machos y las hembras de los copépodos más abundantes del ambiente pelágico de isla Gorgona, de tal manera que cuando se desarrollan bajo la influencia de condiciones más cálidas los individuos tenderán a tener un menor tamaño corporal en comparación a cuando las condiciones son más frías.

MÉTODOS

Área de estudio

Isla Gorgona, ubicada al sur de la plataforma continental del PC, ha sido parte del sistema nacional de áreas protegidas desde 1984, incluyendo su área insular y un área marítima de 617 Km², debido a su alta diversidad biológica (Giraldo *et al.* 2014; Sampson y Giraldo, 2014; Jerez-Guerrero *et al.* 2022;). Esta isla se encuentra influenciada por procesos que alteran las condiciones climáticas y oceanográficas como es el desplazamiento de la ZCIT a una escala

intranual, que comprende una fase de menor precipitación y otra de mayor precipitación (Jerez-Guerrero *et al.* 2022), mientras que a una escala interanual podría verse afectada por procesos como el ENOS, en donde se presenta una fase caliente (El Niño) y una fase fría (La Niña) (Valencia *et al.* 2013; Brainard, *et al.* 2018)

Recolección de muestras

Desde el 2005 el ambiente pelágico de la isla Gorgona ha sido muestreado dos veces al año como parte del programa de monitoreo oceanográfico del área protegida, el cual consiste en el muestreo de una malla de 24 estaciones separadas equidistantemente alrededor de la isla (Jerez-Guerrero *et al.* 2020). A partir de estas se trabajó con las muestras recolectadas desde el año 2013 hasta el 2022, abarcando solo la temporada de menor precipitación seleccionando las estaciones 14, 15, 17, 18, 20 y 21 correspondientes a las estaciones más externas y medias del lado oeste de la isla, esto para evitar la influencia de escorrentía insular y continental (Fig.1).

En cada estación se obtuvo un registro continuo de temperatura y salinidad utilizando una sonda multiparamétrica tipo CTD CastAway®. Así mismo las muestras de agua fueron obtenidas en cuatro profundidades estándar (1m, 10m, 30m, 50m) usando una botella Niskin de 5L para luego cuantificar el oxígeno disuelto, la temperatura y la salinidad usando la sonda multiparamétrica tipo YSI85. Las muestras de zooplankton fueron colectadas al realizar arrastres oblicuos desde aproximadamente 40 m de profundidad hasta la superficie con una red Bongo de 30-cm de ancho con un tamaño de poro de 300 μ m. Las muestras fueron fijadas en una solución de formalina-agua de mar al 4% para posteriormente ser transportadas al laboratorio de ciencias oceanográficas de la Universidad del Valle, Cali - Colombia

Trabajo de laboratorio

Se utilizaron los trabajos publicados por Jerez-Guerrero *et al.* (2017, 2020, 2022) para identificar las especies con mayor abundancia en los periodos de interés. A partir de esta información se seleccionaron 3 especies objetivo para el desarrollo de esta investigación considerando que: a.- estuvieran presentes en todas las muestras seleccionadas, b.- que fueran abundantes y c.- que hubiera presencia de machos y hembras adultos en buen estado.

Se utilizó una cámara Bogorov para realizar el conteo de los organismos a partir del análisis de alícuotas obtenidas de la muestra total utilizando un fraccionador Folsom, siguiendo la metodología propuesta por Jerez-Guerrero *et al.* (2020). La identidad taxonómica se confirmó siguiendo a Boltovskoy (1981, 1999), Bradford-Grieve (1994), Palomares *et al.* (1998), Boxshall y Halsey (2004), y la base de datos de Razouls *et al.* (2019). Posteriormente, se separaron hasta 25 hembras y 25 machos adultos de la muestra total en buenas condiciones, para realizar la medición del largo total del cuerpo (Fig. 2) (Hidalgo *et al.* 2012; Garzke, *et al.* 2015; Jerez-Guerrero *et al.* 2020). Para ello se tomaron fotografías utilizando un estereoscopio NIKON SMZ-1500 equipado con una cámara NIKON DS-Ri1 U3, realizando las mediciones con el software NIS-Elements Br.

Análisis de datos

Se realizaron perfiles verticales de temperatura y la salinidad para los años de estudio utilizando los datos de la sonda multiparamétrica tipo CTD CastAway®. Así mismo se realizaron graficas descriptivas para la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto tomadas a profundidades estándar, al igual que para las mediciones del largo total de las tres especies objetivo

Se realizaron pruebas de Shapiro-Wilk con los datos biológicos y ambientales para determinar si se utilizaban análisis paramétricos o no paramétricos. Con base en esto, para describir la variación de temperatura, salinidad y oxígeno a profundidades estándar se realizaron análisis de varianza (ANOVA, $\alpha = 0.05$) para posteriormente llevar a cabo una prueba de comparación múltiple de Tukey.

Para describir la variación de la longitud total de las tres especies durante los años de estudio se realizaron modelos lineares mixtos con estructura factorial, los cuales evaluaron el efecto independiente de factores como el sexo, la especie y el año, así como los pares de estos factores y el efecto conjunto de los tres factores sobre la longitud total de las especies como variable respuesta. Dependiendo del modelo, se asumió una varianza homogénea o heterogénea para los diferentes factores.

Para la selección del modelo que más se ajustó se utilizaron tres criterios, el criterio de información de Akaike, el criterio de información bayesiano y el logaritmo de verosimilitud. Posteriormente, para determinar la presencia de diferencias significativas de la longitud total entre los años de estudio para cada una de las especies, a este modelo se le realizó un ANOVA junto con una prueba de comparación múltiple Tukey.

Para relacionar las variables ambientales con la longitud total se utilizó una correlación de pares de Spearman “pairwise.complete.obs” en donde la correlación entre cada par de variables se calculó utilizando todos los pares completos de esas variables particulares, luego se usó la función “corrplot.mixed” para visualizar la matriz de correlación. Se realizó un ajuste de modelo completo con todas las variables a excepción de oxígeno a 50 m ya que para esta profundidad se presentaron pocos datos, este ajuste se realizó mediante la función lme en R, la cual es utilizada para ajustar modelos lineares mixtos para posteriormente seleccionar las variables según el

criterio de información de Akaike usando “stepAIC”. Posteriormente se realizó la verificación de correlación con las variables seleccionadas usando de nuevo la correlación de pares y la visualización de la correlación con la función “corrplot.mixed” Finalmente se realizó un ANOVA para saber cuál de las variables seleccionadas evidencia un efecto significativo sobre el largo total de las especies.

RESULTADOS

Condiciones oceanográficas

La temperatura de la columna de agua de la isla Gorgona, evidenció diferencias en los años de muestreo aun cuando los datos se registraron durante el periodo de menor precipitación. Estas diferencias se observaron principalmente al revisar los perfiles verticales de temperatura. En marzo de 2017 la formación de la termoclina no es muy clara, observándose un descenso en la temperatura entre los 5 m y 10 m de profundidad (Fig. 3). Durante marzo del 2013, 2020 y 2022 la termoclina se encontró alrededor de los 10m y 20 m de profundidad, y de manera similar, para marzo del 2019 se observó una disminución de la temperatura alrededor de los 20 m de profundidad (Fig. 3). Mientras que en abril del 2014 y febrero del 2015 la termoclina se encontró más profunda, aproximadamente a los 30 m de profundidad (Fig. 3). Para marzo del 2016 y 2021 se presentan los datos de temperatura a profundidades estándar, en donde se puede apreciar que en marzo de 2016 el cambio de temperatura con la profundidad no fue tan abrupto, en cambio, en marzo de 2021 se observa un cambio entre la profundidad de 10 m y 30 m, lo que podría indicar la presencia de la termoclina entre estas dos profundidades (Fig. 3).

Con respecto a los perfiles verticales de salinidad, se observó que la haloclina siguió un patrón similar a lo observado con la termoclina en los periodos de estudio. No es muy clara la formación

de la haloclina para marzo del 2017, pero hay un aumento en la salinidad entre los 5 m y 10 m de profundidad (Fig. 4). Durante marzo del 2013, 2020 y 2022 la haloclina se encontró alrededor de los 10 m y 20m, así mismo para marzo del 2019 se observó un aumento en la salinidad alrededor de los 20 m de profundidad (Fig. 4). Por el contrario, la haloclina más profunda ocurrió para abril del 2014 y febrero del 2015 con una profundidad de 30m (Fig. 4) De manera general, se evidencia también que, durante febrero de 2015, marzo de 2016 y 2022, los valores de salinidad presentaron valores más bajos en la zona superficial, por encima de los 5 m de profundidad (Fig. 4).

Así como se evidenció cambios en los perfiles verticales de temperatura y salinidad en la columna de agua alrededor de isla Gorgona en los años de muestreo, también se registraron variaciones en todos los parámetros evaluados en las profundidades estándar (Tabla 1). Para la temperatura se encontró que la TSM en marzo del 2019 fue la que presentó mayor variación al ser significativamente diferente a todos los otros años de estudio (Tukey, $p < 0,05$, Fig.5). A 10 m de profundidad se encontró que abril 2014 fue el que presentó mayor variación al ser significativamente diferente a marzo del 2016, 2017, 2019, 2020 y 2022 (Tukey, $p < 0,05$, Fig.5). Igualmente, a 30 m de profundidad la temperatura con mayor variación tuvo lugar en abril del 2014 y febrero del 2015 al ser significativamente diferentes a marzo del 2013, 2017, 2019, 2020, 2021 y 2022 (Tukey, $p < 0,05$, Fig.5). Finalmente, a 50 m se encontró que marzo del 2013 fue el que presento una mayor variación al ser significativamente diferente a abril del 2014, febrero del 2015, marzo del 2016, 2017, 2019, 2020 y 2021 (Tukey, $p < 0,05$, Fig.5).

En el caso de la salinidad, la SSM en febrero del 2015 presentó mayor variación al ser significativamente diferente a todos los otros años de estudio (Tukey, $p < 0,05$, Fig.5). A 10 m de profundidad marzo del 2019 fue el que presentó mayor variación al ser significativamente

diferente a abril 2014, febrero 2015, marzo del 2013, 2016, 2017, 2021 y 2022 (Tukey, $p < 0,05$, Fig.5). Mientras que a 30 m, febrero del 2015 fue el que presentó mayor variación al ser significativamente diferente a abril del 2014, marzo del 2013, 2017, 2019, 2020, 2021 y 2022 (Tukey, $p < 0,05$, Fig.5). Finalmente, a 50 m marzo del 2016 fue el que presentó mayor variación al ser significativamente diferente a marzo del 2013, 2017, 2019, 2020, 2021, 2022 (Tukey, $p < 0,05$, Fig.5).

En el caso del oxígeno disuelto se decidió no utilizar los datos obtenidos para el 2016 ya que muestra valores sobre estimados en comparación con los otros periodos de estudio, presumiblemente a un fallo en el equipo. El oxígeno disuelto superficial y a 10 m de marzo del 2021 fue el que presentó mayor variación al ser significativamente diferente a febrero del 2015, marzo del 2013, 2017, 2020 y 2022 (Tukey, $p < 0,05$, Fig.5). A 30 m de profundidad, abril del 2014 y febrero del 2015 presentaron mayor variación al ser significativamente diferentes a marzo del 2013, 2017, 2020 y 2022 (Tukey, $p < 0,05$, Fig.5). Finalmente a 50m, abril del 2014 y marzo del 2019 presentaron mayor variación al ser significativamente diferentes a febrero del 2015, marzo del 2017, 2020 y 2022 (Tukey, $p < 0,05$, Fig.5).

Mediciones de las especies de copépodos

Luego de una revisión a las muestras de los diferentes periodos se determinó que las especies más representativas en los periodos de estudio fueron *Ditrichocorycaeus andrewsi* (Farran,1911), *Subeucalanus pileatus* (Giesbrecht,1888) y *Centropages furcatus* (Dana,1849).

El largo total de las tres especies alrededor de la Isla Gorgona durante el periodo de menor precipitación presentó variaciones a lo largo de los años de estudio (Tabla 2, Fig.6). Esto se evidenció a través del modelo linear mixto escogido, que según los criterios usados fue el que

evaluó el efecto conjunto de especie, sexo y año sobre el largo total de los individuos. El ANOVA indicó que hay un efecto significativo de todos los factores presentes en el modelo con un valor p de 0,0001 (valor $p < 0,05$), lo que sugiere que hay un efecto de interacción entre especie, sexo y año que influyen en el largo total.

Al revisar las comparaciones de la longitud total entre los años de estudio, se encontró que para las hembras de *D. andrewsi* marzo del 2022 presentó la mayor variación al ser significativamente diferente a abril del 2014, febrero del 2015, marzo del 2013, 2016, 2017, 2019 y 2021 (Tukey, $p < 0,05$, Fig.6). En el caso de los machos de esta especie febrero del 2015 fue el que presentó mayor variación al ser significativamente diferente a marzo del 2013, 2016, 2017, 2019, 2020, 2021 y 2022 (Tukey, $p < 0,05$, Fig.6). Por su parte, se encontró para las hembras de *S. pileatus* que febrero del 2015 y marzo del 2021 presentaron la mayor variación al ser significativamente diferentes a los demás años de estudio (Tukey, $p < 0,05$, Fig.6). En el caso de los machos de esta especie marzo del 2019 y 2020 presentaron mayor variación al ser significativamente diferentes a los demás años de estudio (Tukey, $p < 0,05$, Fig.6). Finalmente, se encontró que para las hembras de *C. furcatus* abril del 2014 fue el que presentó mayor variación al ser significativamente diferente a todos los otros años de estudio (Tukey, $p < 0,05$, Fig.6). En el caso de los machos de esta especie marzo del 2019 fue el que presentó mayor variación al ser significativamente diferente a abril del 2014, febrero del 2015, marzo del 2013, 2016, 2017, 2021 y 2022 (Tukey, $p < 0,05$, Fig.6).

Relación entre las variables ambientales y el largo total de las especies de copépodos

Según los resultados de los ANOVAS y las diferencias significativas se escogieron los siguientes modelos en los cuales se representan las variables que más se correlacionaron con el largo total de cada especie. Para *D. andrewsi* el modelo utilizado evaluó las variables ambientales de

temperatura a 30m y 50m con un coeficiente de correlación de Spearman (ρ_s) de 0,09 y 0,11 respectivamente, de oxígeno disuelto a 30m con una correlación positiva de 0,10 y de salinidad a 30m con una correlación negativa de -0,04, sin embargo, se determinó que no hay un efecto significativo de estas variables sobre el largo total (p . valor $> 0,05$, Figura 7).

Por su parte, para *S. pileatus* el modelo utilizado fue el que evaluó las variables ambientales de temperatura a 1m con una correlación positiva de 0,30, de oxígeno disuelto a 30m con una correlación positiva de 0,48, de salinidad a 1m y a 50m con una correlación negativa de -0,16 y -0,20 respectivamente. Para esta especie se determinó que solo la variable de oxígeno disuelto a 30m tiene un efecto significativo sobre el largo total (p .valor $< 0,05$, Figura 7).

Finalmente, para *C. furcatus* el modelo utilizado fue el que evaluó las variables ambientales de temperatura a 1m y a 30m con una correlación positiva de 0,16 y 0,23 respectivamente, de oxígeno a 10m con una correlación de positiva 0,23 y de salinidad a 1 m la cual no presentó correlación, sin embargo, se determinó que no hay un efecto significativo de estas variables sobre el largo total (p . valor $> 0,05$, Figura 7).

DISCUSIÓN

Condiciones oceanográficas

En el sector del Pacífico Oriental Tropical (POT), en donde se localiza la isla Gorgona, las condiciones oceanográficas son muy dinámicas durante el año (Giraldo *et al.* 2008; Rivera-Gómez *et al.* 2019). La variación estacional que ocurre a nivel regional es modulada principalmente por el desplazamiento de la ZCIT, que para este estudio se trabajó con el periodo correspondiente al primer trimestre del año el cual es referido como el invierno boreal (Lavín *et al.* 2006; Giraldo *et al.* 2008; Giraldo *et al.* 2014; Rodríguez Rubio y Giraldo, 2016). En este

periodo la ZCIT se encuentra en su posición más al sur por lo cual se intensifica el chorro de viento de Panamá que causa una surgencia y por lo tanto la entrada de aguas frías y salinas a la cuenca del PC, por lo cual diferentes autores han registrado una termoclina a nivel subsuperficial para este periodo que va hasta los 7.5 metros de profundidad (Lavín *et al.* 2006; Giraldo *et al.* 2008; Giraldo *et al.* 2014; Rodríguez Rubio y Giraldo, 2016) sin embargo durante los nueve años evaluados en este estudio se registró que la termoclina oscilaba entre un rango de 5m a 30m de profundidad.

Teniendo en cuenta que cuando ocurren anomalías cálidas del ENSO (El Niño) la termoclina se profundiza y por el contrario, cuando ocurren anomalías frías del ENSO (La Niña) la termoclina asciende (Brainard *et al.* 2018; Iwakiri y Watanabe, 2021), en este estudio se identificó que la variabilidad presentada a una escala interanual en las características físicas de la columna de agua fue debido al ENOS. Considerando los índices oceánicos de los boletines de diagnóstico climático de la NOAA (NOAA, 2023) y los resultados de los perfiles verticales de temperatura del presente estudio, se determinó que abril del 2014, febrero del 2015, marzo del 2013, 2020, 2021 y 2022 presentaron condiciones neutrales, mientras que, los periodos de marzo de 2016, 2017 y 2019 presentaron condiciones de El Niño en las aguas alrededor de isla Gorgona. Al revisar los registros de la NOAA, también identifican los periodos de febrero de 2015 y marzo de 2020 con anomalías cálidas débiles de El Niño y a marzo de 2022 con anomalía fría de La Niña, sin embargo, nuestros resultados indican que estos periodos fueron de condiciones neutras, probablemente debido a la variación espacial. Los registros históricos de la NOAA se basan en el Oceanic Niño Index (ONI) (región 3.4) (NOAA, 2023) mientras que en este estudio se trabajó con datos mucho más cercanos a la región continental por lo que podría haber un desfase de estas

anomalías llegando con retrasos o sin repercusiones notables en las condiciones oceanográficas de las aguas alrededor de isla Gorgona.

Tamaño de los copépodos y las variables oceanográficas

Las tres especies de copépodos identificadas en la isla Gorgona durante los años de estudio se encuentran registradas para ambientes epipelágicos de aguas tropicales y subtropicales, así mismo, para la Isla Gorgona se ha registrado a *S. pileatus*, *C. furcatus* y *D. andrewsi* con una abundancia promedio significativa en comparación con otras especies para el periodo estudiado, por lo cual nos indica que estas especies son representativas para la comunidad de copépodos en el periodo de menor precipitación (Jerez-Guerrero *et al.* 2017; Jerez-Guerrero *et al.* 2020 y 2022). El tamaño promedio para las hembras de *D. andrewsi*, descrita como una especie pequeña de copépodo por Jerez-Guerrero *et al.* (2020), durante todos los años de estudio se estableció dentro del rango registrado por este autor para la isla Gorgona al igual que para la base de datos mundial de copépodos marinos de Razaoult *et al.* (2023), mientras que los machos de esta especie durante abril del 2014 y febrero del 2015 tuvieron un tamaño mayor al rango registrado para la Isla Gorgona. Las hembras de *S. pileatus*, descrita como una especie grande de copépodo por Jerez-Guerrero *et al.* (2020), presentaron un tamaño promedio mayor durante el periodo de marzo del 2021 para lo registrado por ambos autores, mientras que los machos presentaron un tamaño mayor durante abril del 2014, febrero del 2015 y marzo del 2021 (Jerez-Guerrero *et al.* 2020; Razaoult *et al.* 2022). El tamaño promedio de las hembras de *C. furcatus*, descrita como una especie mediana de copépodo por Jerez-Guerrero *et al.* (2020), para abril del 2014 fue mayor que el rango establecido para la isla Gorgona, mientras que el tamaño de los machos fue mayor durante todos los años al rango establecido para la isla Gorgona, excepto por marzo del 2019 (Jerez-Guerrero *et al.* 2020; Razaoult *et al.* 2022).

De acuerdo con el estudio realizado por Campbell *et al.* (2021), los copépodos marinos localizados en zonas polares y templadas cumplen con la regla de Bergmann la cual indica que los organismos del mismo clado son más grandes en temperaturas frías y viceversa. Por otro lado, el presente estudio sugiere que los copépodos evaluados ubicados al sur del PC presentan una correlación positiva débil con la temperatura, pero en el presente estudio no se registró un efecto significativo de esta variable sobre el tamaño corporal y por lo tanto estos copépodos no se ven afectados por esta regla. Una de las razones por la cual podría suceder esto es porque en relación con las zonas templadas el cambio de temperatura que puede haber en aguas tropicales es muy pequeño (Chew y Chong, 2016), el rango de la TSM para el estudio realizado por Campbell *et al.* (2021) fue de entre -1.7 a 30°C, mientras que en el presente estudio el rango de la TSM fue de 24,39 a 27,75°C evidenciando que el tamaño corporal de estas tres especies de copépodos podría estar relacionado con otras variables ambientales como el oxígeno disuelto, la clorofila-a y la disponibilidad de alimento.

Con respecto a la salinidad, no se encontró bibliografía que relacionara este factor con la variabilidad en el tamaño corporal de copépodos marinos para zonas tropicales, no obstante de acuerdo con un estudio realizado en el mar Báltico por Karlsson, *et al.* (2018) el cual indica que para un copépodo adulto es más significativo valores altos de salinidad que una alta temperatura, en consecuencia, se disminuye en gran medida el tiempo de desarrollo de los organismos lo cual podría llevar a adultos de un tamaño corporal más pequeño, sin embargo, esta postura solo se cumple si no se tiene en cuenta la variable alimenticia o de productividad primaria (Kvile *et al.* 2020). Así mismo, según Roman y Pierson, (2022) la salinidad se relaciona positivamente con la viscosidad y una mayor viscosidad en el agua de mar va a disminuir la capacidad de toma de oxígeno de copépodos de gran tamaño como *S. pileatus*. Sin embargo, de acuerdo con los

resultados obtenidos para *D. andrewsi* y *S. pileatus* el largo total presentó una correlación negativa débil con la salinidad además no se encontró un efecto significativo y en el caso de *C. furcatus* no se encontró ninguna correlación entre esta variable por lo tanto no se puede concluir que la salinidad haya sido un factor que influya en los organismos estudiados para el periodo de menor precipitación en las aguas alrededor de la isla Gorgona.

Siguiendo con el oxígeno disuelto, para marzo del 2016 se presume que el sensor utilizado durante la campaña tuvo un funcionamiento defectuoso, ya que muestra unos valores sobre estimados para este periodo en particular el cual se caracteriza por la presencia de bajo oxígeno disuelto en comparación con el periodo de mayor precipitación caracterizado por valores mayores de esta variable (Jerez-Guerrero *et al.* 2022). De acuerdo con Roman y Pierson, (2022) la solubilidad del oxígeno en el mar disminuye al aumentar la temperatura, sin embargo, la tasa máxima de difusión de oxígeno aumenta de manera lineal al aumentar la temperatura, así mismo el aumento en la temperatura hace que el agua sea menos viscosa lo cual permite una mayor difusión a través del tegumento de la superficie de los copépodos. Ya que la absorción de oxígeno se da de esta manera, los copépodos más pequeños con una mayor relación superficie-volumen se verán favorecidas en aguas cálidas donde la demanda respiratoria es alta, por el contrario, los copépodos de mayor tamaño en aguas cálidas tendrán una mayor demanda metabólica y por lo tanto una toma menos eficiente del oxígeno (Roman y Pierson, 2022). Por lo tanto, según los resultados obtenidos para *S. pileatus*, el agua más oxigenada favoreció individuos con una longitud total mayor para esta especie grande de copépodo, siendo corroborado por la correlación positiva significativa entre esta variable a 30m de profundidad con el largo total de esta especie.

Así mismo, para *S. pileatus* se obtuvo que los periodos en los que se presentó un tamaño promedio mayor fue abril del 2014, febrero del 2015 y marzo del 2021, los cuales coinciden con

los valores más altos de oxígeno a 30m para esta temporada en particular, sin embargo el periodo de marzo del 2019 también presentó valores de oxígeno disuelto altos pero no se dio una respuesta en el tamaño para estas especies. Esto posiblemente es debido a que en este año se presentaron condiciones de El Niño, por lo cual es posible que la temperatura sea otro factor determinante en el tamaño de esta especie. Aun así, se debe considerar que los valores de temperatura obtenidos para la profundidad a 30m para los periodos de Abril del 2014 y Febrero del 2015 fueron mucho más altos en comparación de marzo del 2019 y marzo 2021, por lo que es posible que otros factores estén influenciando el cambio en el tamaño corporal de este copépodo. Para el periodo de menor precipitación el chorro de viento de Panamá produce una surgencia de aguas subsuperficiales más ricas en nutrientes, incrementando la productividad primaria y a su vez la disponibilidad de alimento, por el contrario, al producirse la fase cálida del ENSO este chorro de viento se debilita dejando entrar aguas más cálidas y con pocos nutrientes (Ledesma *et al.* 2022). De acuerdo con esto, podemos sugerir que los nutrientes son otro posible factor importante a la hora de evaluar los cambios en los tamaños corporales de los copépodos en esta región del PC.

Se debe tener en cuenta para otros estudios los valores de clorofila a, los cuales representan una fuente importante de alimentación para los organismos estudiados que de acuerdo con Lin *et al.* (2013), a mayor disponibilidad de alimento los organismos tendrán un crecimiento más rápido y tamaños más grandes. Campbell *et al.* (2021) sugiere que la presencia de especies grandes de copépodo como *S. pileatus* podría tener una correlación negativa con la concentración de clorofila a debido a la relación entre la migración vertical extensa que estos organismos grandes tienen y la saciedad en momentos de una alta producción de clorofila esto hace que los organismos más grandes puedan aprovechar mejores fuentes de alimento disponible en la

superficie y reducir la presión de depredación al migrar verticalmente (Zaret, 1976; Sha, *et al.* 2021; Campbell *et al.* 2021)

Este es el primer estudio realizado alrededor de la isla Gorgona que ha buscado relacionar diferentes variables ambientales con el largo total de tres especies de copépodos epipelágicos. Aunque no se encontró un efecto significativo de la temperatura o de la salinidad sobre la longitud total de las tres especies evaluadas, si se encontró una relación significativa del oxígeno disuelto sobre el tamaño corporal de *S. pileatus*. Es posible que la variación de la longitud total de los tres copépodos evaluados se encuentre influenciada por otros parámetros ambientales que no fueron tomados en este estudio, como la concentración de clorofila-a o la disponibilidad de alimento. También es necesario que este tipo de estudios se realicen en una escala de tiempo mayor para así evidenciar si los cambios en el tamaño de estos organismos responden a causa del calentamiento global o de fenómenos como el ENSO. Es importante involucrar a futuro variables poco reconocidas en estudios de zooplancton como la incidencia de organismos planctívoros en el área de estudio como sugieren Liu, *et al.* (2020) en donde enfatizan la necesidad de coleccionar datos cuantitativos en paralelo con cualquier tipo de monitoreo de zooplancton, así como también la incidencia de actividad humana o contaminación en el área de estudio como lo sugieren Chew y Chong (2016), en donde se demuestra la reducción de especies de copépodos de mayor tamaño corporal debido al impacto en su hábitat. De igual manera, hacer un seguimiento de la comunidad de copépodos con respecto a su tamaño corporal es fundamental a largo plazo ya que cambios significativos podrían traer consecuencias en el ecosistema si se da una reducción en el tamaño de estos organismos, una de ellas es el debilitamiento de la bomba biológica, ya que no van a tener la misma capacidad que otros de mayor tamaño para realizar migración vertical, disminuyendo la velocidad con la que el carbono orgánico es exportado hacia el mar profundo (Cavan *et al.* 2019).

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a mis padres que sin su apoyo y comprensión no hubiera podido llegar hasta donde me encuentro ahora, a mi abuelita que todas las tardes en pandemia me preparaba un café para seguir viendo clases virtuales, a mi compañero de vida Daniel Calero que siempre ha estado ahí para apoyarme, a mis compañeros de estudio Diana Uribe y Nicolas Girón por acompañarme muchas veces en el laboratorio y por su amistad incondicional todos estos años, a María Elena Cuellar que sin su guía nunca habría entrado a esta hermosa carrera, a mi director Mauricio Jerez y codirector Alan Giraldo que me acompañaron durante el desarrollo de este trabajo de grado, al grupo de investigación en ciencias oceanográficas de la universidad del valle por brindarme el espacio y las muestras para la realización de este proyecto, al profesor Wilmar Torres por tomarse el tiempo para resolver mis dudas y finalmente al laboratorio de imágenes de postgrado en Ciencias-Biología de la Universidad del Valle

LITERATURA CITADA

- Blake, A. y Marshall, D. J. (2023) “Copepod life history evolution under high- and low-food regimes”, *Evolutionary applications*, 16(7), pp. 1274–1283. doi: 10.1111/eva.13563.
- Boltovskoy, D. (1981) “Atlas Del Zooplancton Del Atlántico Sudoccidental Y Métodos de Trabajo Con El Zooplancton Marino”. Editado por Atlas Del Zooplancton Del Atlántico Sudoccidental Y Métodos de Trabajo Con El Zooplancton Marino. Publicación Especial del INIDEP.
- Boltovskoy, D. (1999) “South Atlantic Zooplankton”, 1–2.
- Boxshall, G. y Halsey, S. (2004) *An Introduction to Copepod Diversity*. London: The Ray Society.
- Bradford-Grieve, J. M. (1994) *The Marine Fauna of New Zealand: Pelagic Calanoid Copepoda: Megacalanidae, Calanidae, Paracalanidae, Mecynoceridae, Eucalanidae, Spinocalanidae, Clausocalanidae*; Wellington.
- Brainard, R. E. et al. (2018) “Ecological impacts of the 2015/16 El Niño in the central equatorial pacific”, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 99(1), pp. S21–S26

- Campbell, M. D. et al. (2021) “Testing Bergmann’s rule in marine copepods”, *Ecography*, 44(9), pp. 1283–1295. doi: 10.1111/ecog.05545.
- Cavan, E. L. et al. (2019) “Exploring the ecology of the mesopelagic biological pump”, *Progress in oceanography*, 176(102125), p. 102125. doi: 10.1016/j.pocean.2019.102125.
- Chew, L. L. y Chong, V. C. (2016) “Response of marine copepods to a changing tropical environment: winners, losers and implications”, *PeerJ*, 4(e2052), p. e2052. doi: 10.7717/peerj.2052.
- Daufresne, M., Lengfellner, K. y Sommer, U. (2009) “Global warming benefits the small in aquatic ecosystems”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(31), pp. 12788–12793. doi: 10.1073/pnas.0902080106.
- Edwards, M. y Richardson, A. J. (2004) “Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch”, *Nature*, 430(7002), pp. 881–884. doi: 10.1038/nature02808.
- Forster, J., Hirst, A. G. y Atkinson, D. (2011) “How do organisms change size with changing temperature? The importance of reproductive method and ontogenetic timing: Reproductive method and ontogenetic timing”, *Functional ecology*, 25(5), pp. 1024–1031. doi: 10.1111/j.1365-2435.2011.01852.x.
- Gardner, J. L. et al. (2011) “Declining body size: a third universal response to warming?”, *Trends in ecology & evolution*, 26(6), pp. 285–291. doi: 10.1016/j.tree.2011.03.005.
- Garzke, J. et al. (2016) “Combined effects of ocean warming and acidification on copepod abundance, body size and fatty acid content”, *PloS one*, 11(5), p. e0155952. doi: 10.1371/journal.pone.0155952.
- Garzke, J., Ismar, S. M. H. y Sommer, U. (2015) “Climate change affects low trophic level marine consumers: warming decreases copepod size and abundance”, *Oecologia*, 177(3), pp. 849–860. doi: 10.1007/s00442-014-3130-4.
- Giraldo, A., Rodríguez-Rubio, E. y Zapata, F. (2008) “Condiciones oceanográficas en isla Gorgona, Pacífico oriental tropical de Colombia”, *Latin american journal of aquatic research*, 36(1), pp. 121–128. doi: 10.3856/vol36-issue1-fulltext-12.
- Giraldo, A. et al. (2014) “Fitoplancton y zooplancton en el área marina protegida de Isla Gorgona, Colombia, y su relación con variables oceanográficas en estaciones lluviosa y seca”, *Revista de biología tropical*, 62, p. 117. doi: 10.15517/rbt.v62i0.15982.
- Giraldo, A., Diazgranados, M. C. y Gutiérrez-Landázuri, C. F. (2014) “Isla Gorgona, enclave estratégico para los esfuerzos de conservación en el Pacífico Oriental Tropical”, *Revista de biología tropical*, 62(S1), p. 1. doi: 10.15517/rbt.v62i0.15975.
- Grether, G. F. (2005) “Environmental change, phenotypic plasticity, and genetic compensation”, *The American naturalist*, 166(4), pp. E115–E123. doi: 10.1086/432023.

- Hidalgo, P. et al. (2012) “How coastal upwelling influences spatial patterns of size-structured diversity of copepods off central-southern Chile (summer 2009)”, *Progress in oceanography*, 92–95, pp. 134–145. doi: 10.1016/j.pocean.2011.07.012.
- Hoegh-Guldberg, O. y Bruno, J. F. (2010) “The impact of climate change on the world’s marine ecosystems”, *Science* (New York, N.Y.), 328(5985), pp. 1523–1528. doi: 10.1126/science.1189930.
- Iwakiri, T. y Watanabe, M. (2021) “Mechanisms linking multi-year La Niña with preceding strong El Niño”, *Scientific reports*, 11(1). doi: 10.1038/s41598-021-96056-6.
- Jerez-Guerrero, M., Criales-Hernández, M. I. y Giraldo, A. (2017) “Copépodos epipelágicos en Bahía Cupica, Pacífico colombiano: composición de especies, distribución y variación temporal”, *Revista de biología tropical*, 65(3), p. 1046. doi: 10.15517/rbt.v65i3.29449.
- Jerez-Guerrero, M., Giraldo, A. y Criales-Hernández, M. I. (2020) “Epipelagic copepods of Gorgona Island, Tropical Eastern Pacific: Taxonomy, size range, and sexual proportion”, *Regional studies in marine science*, 34(101015), p. 101015. doi: 10.1016/j.rsma.2019.101015.
- Jerez-Guerrero, M., Giraldo, A. y Criales-Hernández, M. I. (2022) “Temporal changes in the epipelagic copepod assemblage at Gorgona Island, Colombian Eastern Tropical Pacific ocean”, *Regional studies in marine science*, 52(102280), p. 102280. doi: 10.1016/j.rsma.2022.102280.
- Karlsson, K., Puic, S. y Winder, M. (2018) “Life-history responses to changing temperature and salinity of the Baltic Sea copepod *Eurytemora affinis*”, *Marine biology*, 165(2). doi: 10.1007/s00227-017-3279-6.
- Kvile, K. Ø. et al. (2021) “Predation risk alters life history strategies in an oceanic copepod”, *Ecology*, 102(1). doi: 10.1002/ecy.3214.
- Lavín, M. F. et al. (2006) “A review of eastern tropical Pacific oceanography: Summary”, *Progress in oceanography*, 69(2–4), pp. 391–398. doi: 10.1016/j.pocean.2006.03.005.
- Ledesma, J. et al. (2022) “Efectos de El Niño Costero 2017 sobre la oxigenación, fertilidad y productividad del mar frente a las costas del Perú”, *Boletín Instituto del Mar del Perú*, 36(2), pp. 409–427. doi: 10.53554/boletin.v36i2.345.
- Liu, X. et al. (2020) “Planktivorous fish predation masks anthropogenic disturbances on decadal trends in zooplankton biomass and body size structure in Lake Biwa, Japan”, *Limnology and oceanography*, 65(3), pp. 667–682. doi: 10.1002/lno.11336.
- McGinty, N. et al. (2021) “Anthropogenic climate change impacts on copepod trait biogeography”, *Global change biology*, 27(7), pp. 1431–1442. doi: 10.1111/gcb.15499.
- NOAA (2023) ENSO Cycle: Recent Evolution, Current Status and Predictions, Noaa.gov. Disponible en:

https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/CDB/CDB_Archive_html/CDB_archive.shtml
(Consultado: el 20 de septiembre de 2023).

- Palomares, R., Suárez-Morales, E. y Hernández-Trujillo, S. (1998) Catálogo de Los Copépodos (Crustacea) Pelágicos Del Pacífico Mexicano. CICIMAR/ECOSUR. México.
- Poloczanska, E. S. et al. (2013) “Global imprint of climate change on marine life”, *Nature climate change*, 3(10), pp. 919–925. doi: 10.1038/nclimate1958.
- Razouls, C. et al. (2022) Marine Planktonic Copepods : Home Page, Obs-banyuls.fr. Disponible en: (Consultado: el 5 de agosto de 2022).
- Reading, C. J. (2007) “Linking global warming to amphibian declines through its effects on female body condition and survivorship”, *Oecologia*, 151(1), pp. 125–131. doi: 10.1007/s00442-006-0558-1.
- Richardson, A. J. (2008) “In hot water: zooplankton and climate change”, *ICES journal of marine science: journal du conseil*, 65(3), pp. 279–295. doi: 10.1093/icesjms/fsn028.
- Rivera-Gómez, M., Giraldo, A. y Lavaniegos, B. E. (2019) “Structure of euphausiid assemblages in the Eastern Tropical Pacific off Colombia during El Niño, La Niña and Neutral conditions”, *Journal of experimental marine biology and ecology*, 516, pp. 1–15. doi: 10.1016/j.jembe.2019.04.002.
- Roman, M. R. y Pierson, J. J. (2022) “Interactive effects of increasing temperature and decreasing oxygen on coastal copepods”, *The biological bulletin*, 243(2), pp. 171–183. doi: 10.1086/722111.
- Rydbeck, A. V., Jensen, T. G. y Flatau, M. (2019) “Characterization of intraseasonal Kelvin waves in the equatorial Pacific Ocean”, *Journal of geophysical research. Oceans*, 124(3), pp. 2028–2053. doi: 10.1029/2018jc014838.
- Sampson, L. y Giraldo, A. (2014) “Annual abundance of salps and doliolids (Tunicata) around Gorgona Island (Colombian Pacific), and their importance as potential food for green sea turtles”, *Revista de biología tropical*, 62, p. 149. doi: 10.15517/rbt.v62i0.15984
- Sha, Y. et al. (2021) “Diel vertical migration of copepods and its environmental drivers in subtropical Bahamian blue holes”, *Aquatic ecology*, 55(4), pp. 1157–1169. doi: 10.1007/s10452-020-09807-4.
- Sheridan, J. A. y Bickford, D. (2011) “Shrinking body size as an ecological response to climate change”, *Nature climate change*, 1(8), pp. 401–406. doi: 10.1038/nclimate1259.
- Srichandan, S. et al. (2018) “Zooplankton research in Indian seas: A review”, *Journal of Ocean University of China*, 17(5), pp. 1149–1158. doi: 10.1007/s11802-018-3463-4.
- Valencia, B. et al. (2013) “Temporal and spatial variation of hyperiid amphipod assemblages in response to hydrographic processes in the Panama Bight, eastern tropical Pacific”, *Deep-*

sea research. Part I, Oceanographic research papers, 73, pp. 46–61. doi: 10.1016/j.dsr.2012.11.009.

Walter, T.C y Boxshall, G. (2023). World of Copepods Database. Disponible en : <https://www.marinespecies.org/copepoda> on 2023-11-21. doi:10.14284/356 (Consultado el 21 de Noviembre 2023)

Wang, C. y Fiedler, P. C. (2006) “ENSO variability and the eastern tropical Pacific: A review”, *Progress in oceanography*, 69(2–4), pp. 239–266. doi: 10.1016/j.pocean.2006.03.004.

Zaret, T. M. y Suffern, J. S. (1976) “Vertical migration in zooplankton as a predator avoidance mechanism1: Vertical migration”, *Limnology and oceanography*, 21(6), pp. 804–813. doi: 10.4319/lo.1976.21.6.0804

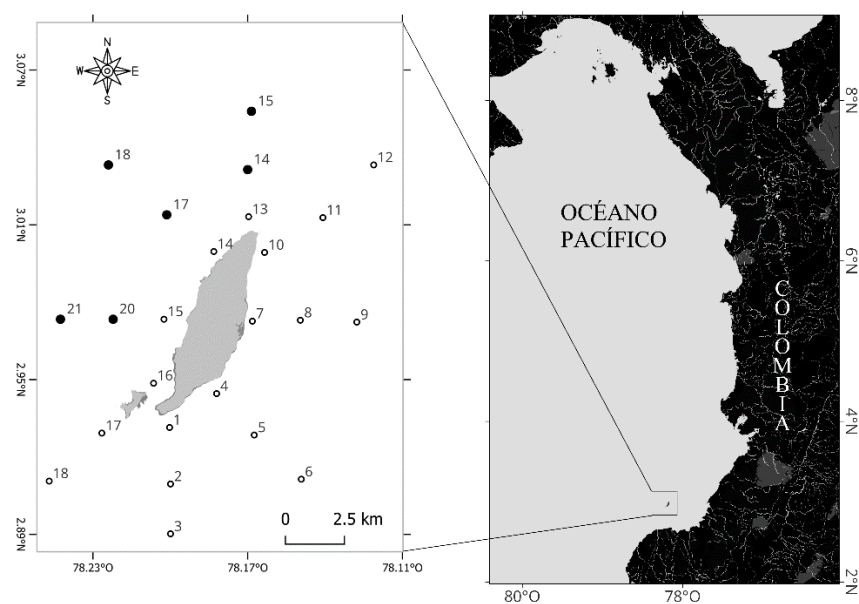
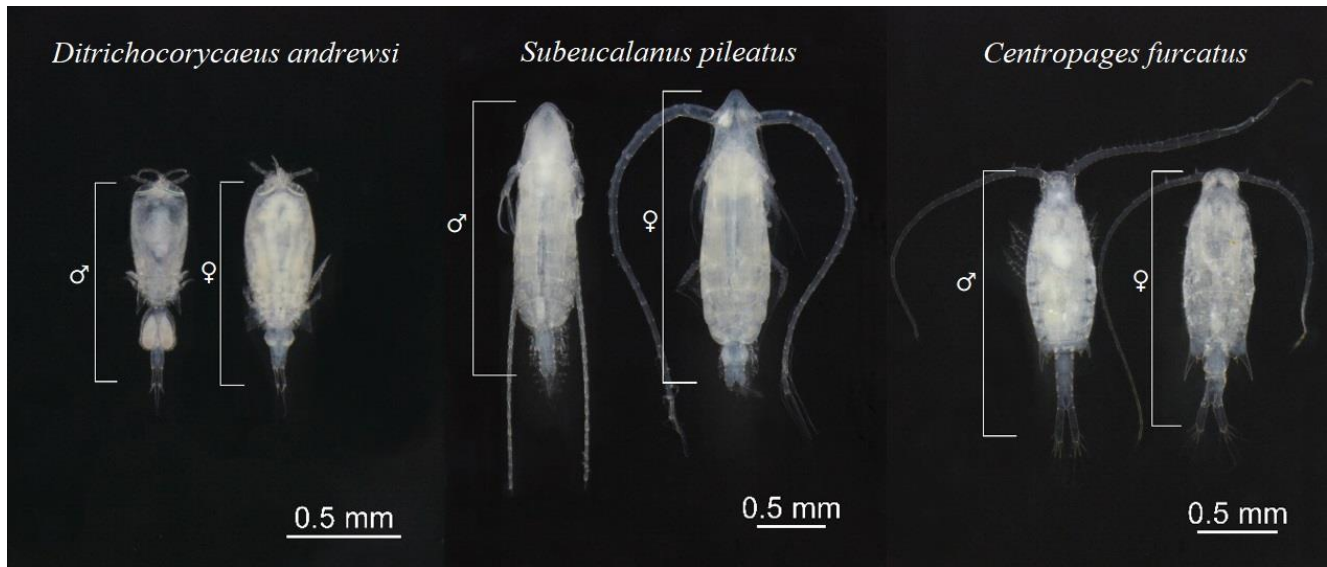


Figura 1. Ubicación geográfica de la grilla de estaciones ubicadas alrededor de la Isla Gorgona ($2^{\circ}58'N-78^{\circ}11'W$). Los puntos negros muestran las seis estaciones usadas en el presente estudio.



©Laboratorio Imágenes Postgrado en Ciencias Biología Univalle-Ortega, Gutierrez

Figura 2. Observación al estereoscopio de las tres especies escogidas. Las líneas blancas representan el largo total, los individuos para cada especie ubicados a la izquierda son machos y los de la derecha hembras.

Temperatura (°C)

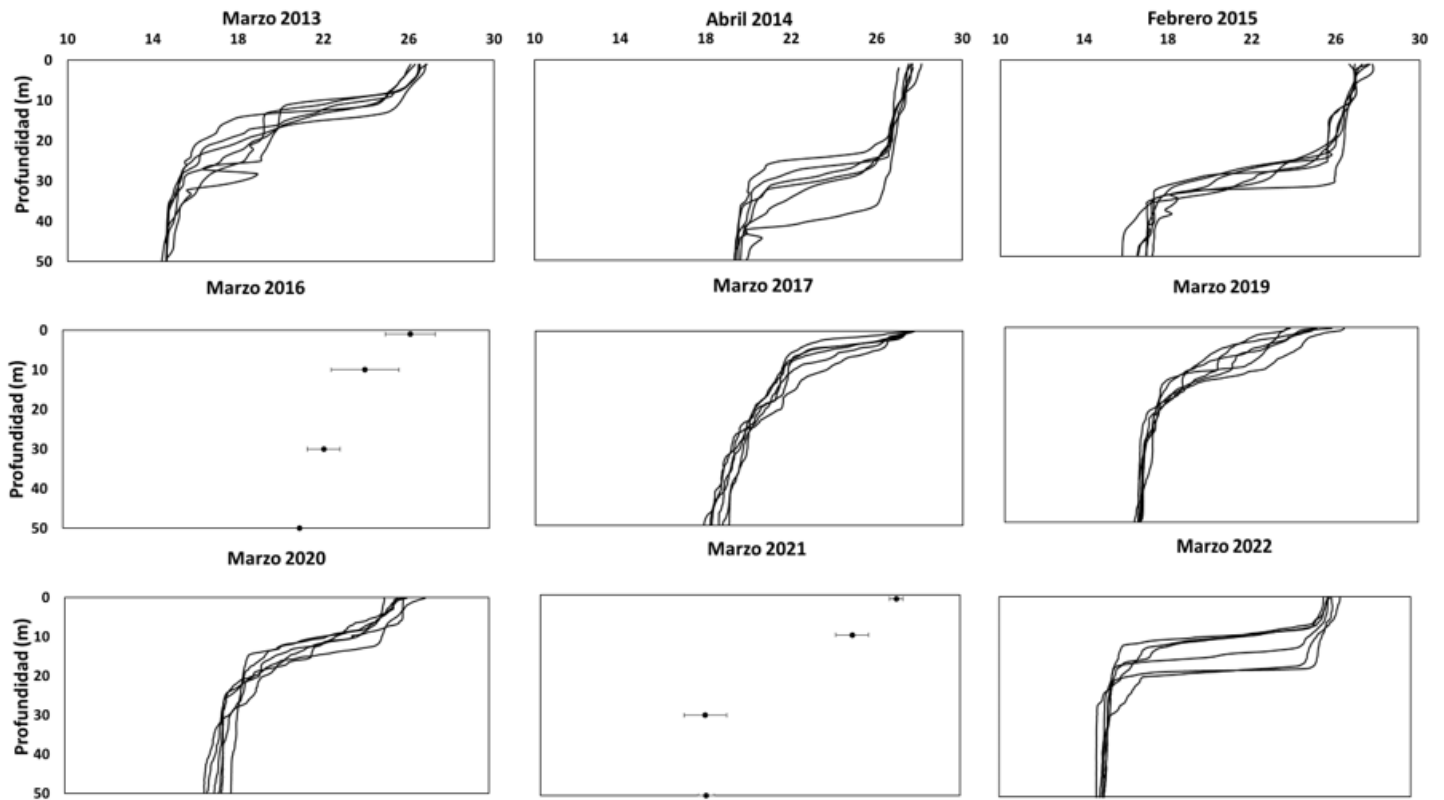


Figura 3. Variación vertical de temperatura durante los periodos de menor precipitación para los años de 2013 a 2022 alrededor de la isla Gorgona. Para marzo de 2016 y 2021 los puntos negros representan la media y las líneas la desviación estándar

Salinidad (PSU)

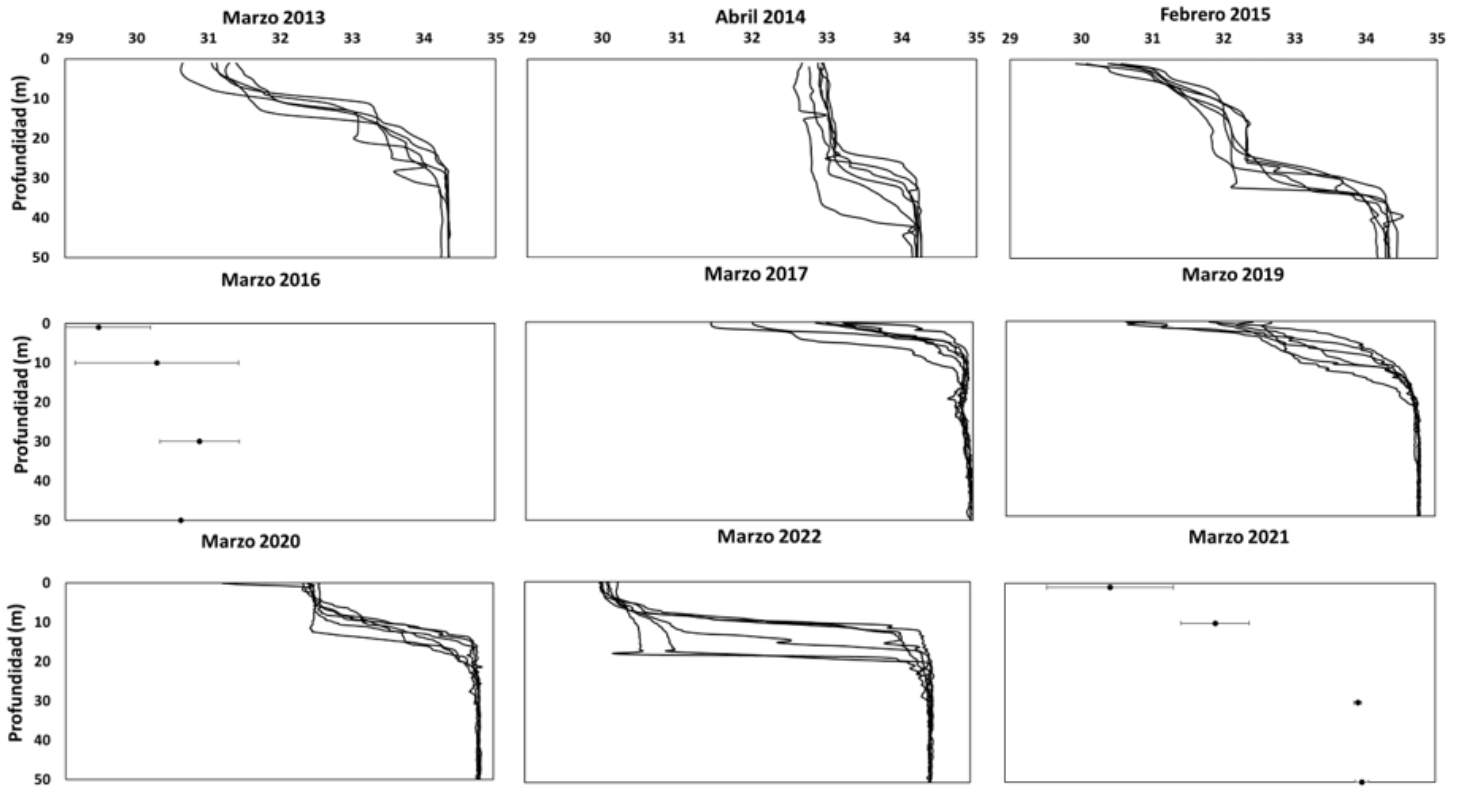


Figura 4. Variación vertical de salinidad durante los periodos de menor precipitación para los años de 2013 a 2022 de alrededor de la isla Gorgona. Para marzo de 2016 y 2021 los puntos negros representan la media y las líneas la desviación estándar.

Tabla 1. Valores promedio de los parámetros oceanográficos obtenidos a profundidades estándar durante los periodos de estudio alrededor de la Isla Gorgona. M.: media, D.E.: desviación estándar, Temp: temperatura, Sal: salinidad, O.D.: oxígeno disuelto

Parametros	Periodos de muestreo																	
	Marzo 2013		Abril 2014		Febrero 2015		Marzo 2016		Marzo 2017		Marzo 2019		Marzo 2020		Marzo 2021		Marzo 2022	
	M.	D.E.	M.	D.E.	M.	D.E.	M.	D.E.	M.	D.E.	M.	D.E.	M.	D.E.	M.	D.E.	M.	D.E.
Temp °C 1m	26,63	0,30	27,75	0,31	27,50	0,47	26,30	1,17	27,57	0,25	24,39	0,44	25,82	0,38	27,03	0,31	26,00	0,29
Temp °C 10m	24,50	1,16	27,17	0,14	26,77	0,10	24,18	1,60	22,50	0,40	21,45	1,23	23,11	1,30	24,91	0,70	21,71	3,60
Temp °C 30m	16,53	1,36	23,77	2,67	24,17	1,43	22,25	0,77	20,10	0,37	19,01	1,62	18,76	0,32	17,84	0,91	15,74	0,57
Temp °C 50m	14,59	0,09	20,03	1,09	17,18	1,04	21,10	-	18,54	0,41	17,12	1,00	18,42	0,45	17,87	0,34	15,12	0,34
Sal PSU 1m	29,19	0,35	31,22	1,16	27,37	1,01	29,47	0,72	29,82	1,42	31,99	0,88	32,71	0,08	29,96	1,18	29,58	0,28
Sal PSU 10m	29,90	0,45	31,30	1,09	28,85	0,74	30,28	1,14	32,20	0,13	34,22	0,57	33,45	0,45	31,91	0,64	31,96	1,51
Sal PSU 30m	31,99	0,45	31,90	0,91	29,99	1,18	30,87	0,56	32,31	0,07	35,24	0,03	35,27	0,03	34,56	0,07	34,42	0,21
Sal PSU 50m	34,32	0,04	33,38	1,24	33,34	1,63	30,61	-	34,57	1,04	35,25	0,01	35,28	0,02	34,64	0,12	34,76	0,26
O.D. (mgL-1) 1m	5,65	0,21	6,95	0,83	5,78	0,71	-	-	5,64	0,11	6,63	0,24	5,22	0,21	7,11	0,12	6,29	0,19
O.D. (mgL-1) 10m	5,33	0,25	7,05	0,83	6,21	0,21	-	-	5,09	0,35	5,34	0,45	4,61	0,41	7,58	0,16	5,40	0,82
O.D. (mgL-1) 30m	2,49	1,37	6,18	1,20	5,42	0,86	-	-	3,17	0,28	4,93	0,98	3,86	0,42	4,79	0,34	3,42	0,49
O.D. (mgL-1) 50m	-	-	5,30	0,67	3,04	0,26	-	-	2,77	-	4,69	0,13	3,62	0,33	4,61	0,18	3,24	0,37

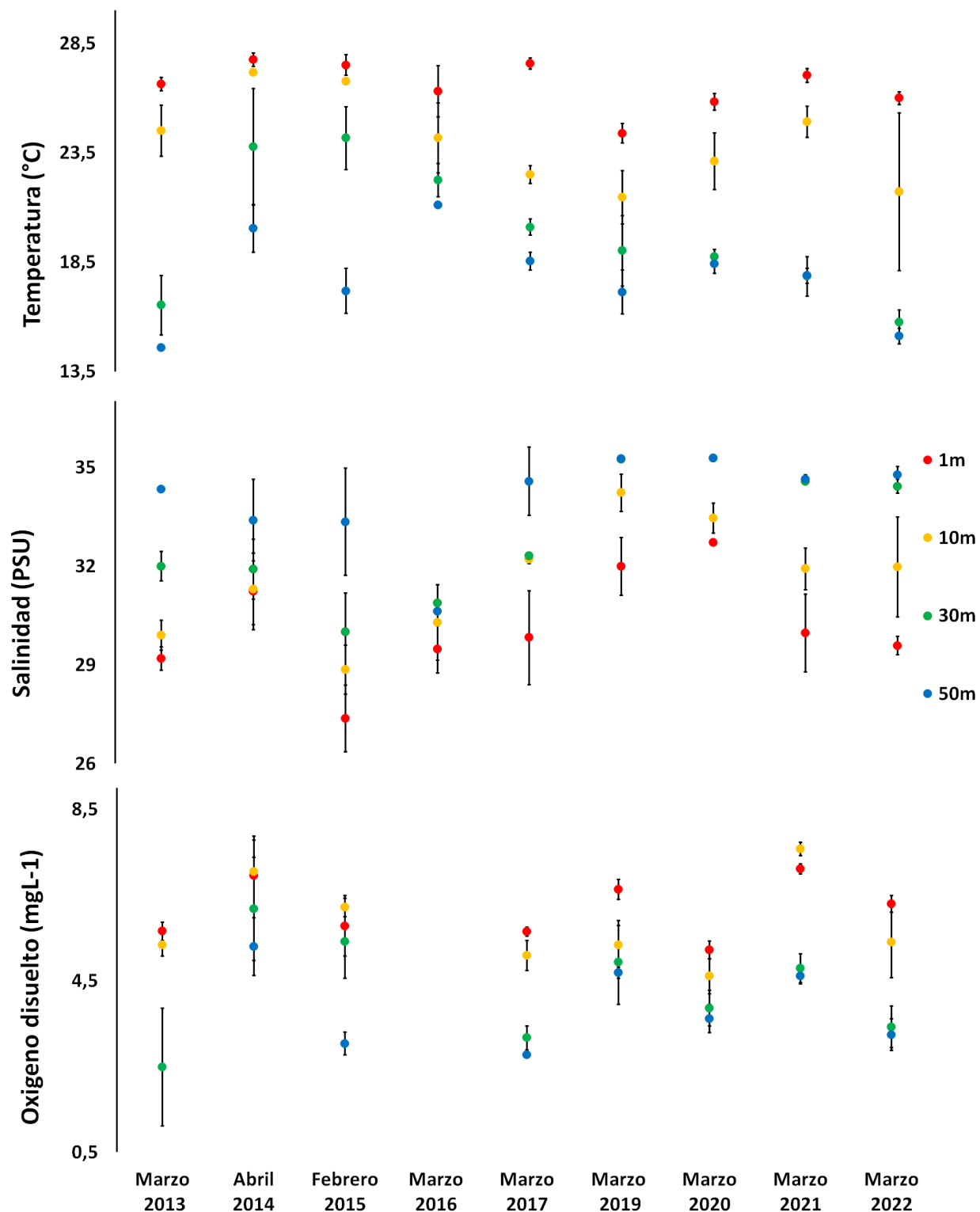


Figura 5. Comparación de los valores promedio de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto para las profundidades estándar de cada periodo. Los puntos rojos, amarillos, verdes y azules corresponden a las medias de las profundidades estándar a 1, 10, 30 y 50 metros respectivamente y las líneas a la desviación estándar

Tabla 2. Valores promedio de las mediciones del largo total para cada una de las especies estudiadas durante los periodos de estudio alrededor de la Isla Gorgona. n.: número de individuos medidos, M.: media, D.E.: desviación estándar

Especies	Periodos de muestreo								
	Marzo 2013			Abril 2014			Febrero 2015		
	n.	M.	D.E.	n.	M.	D.E.	n.	M.	D.E.
<i>D. andrewsi</i> ♀	114	0,98	0,04	158	1,01	0,04	74	0,99	0,06
<i>D. andrewsi</i> ♂	98	0,88	0,05	164	0,90	0,03	133	0,91	0,05
<i>S. pileatus</i> ♀	131	2,31	0,16	103	2,45	0,29	152	2,59	0,27
<i>S. pileatus</i> ♂	72	2,11	0,08	154	2,49	0,25	153	2,50	0,24
<i>C. furcatus</i> ♀	70	1,81	0,07	160	1,92	0,09	143	1,84	0,12
<i>C. furcatus</i> ♂	63	1,73	0,07	158	1,76	0,09	141	1,74	0,10
	Marzo 2016			Marzo 2017			Marzo 2019		
	n.	M.	D.E.	n.	M.	D.E.	n.	M.	D.E.
<i>D. andrewsi</i> ♀	73	0,99	0,05	128	1,00	0,04	162	1,00	0,04
<i>D. andrewsi</i> ♂	81	0,88	0,05	156	0,89	0,03	165	0,88	0,04
<i>S. pileatus</i> ♀	174	2,32	0,13	146	2,29	0,16	164	2,41	0,15
<i>S. pileatus</i> ♂	142	2,11	0,09	129	2,08	0,23	135	2,24	0,13
<i>C. furcatus</i> ♀	167	1,85	0,06	164	1,84	0,07	168	1,82	0,06
<i>C. furcatus</i> ♂	158	1,74	0,07	159	1,73	0,06	163	1,70	0,07
	Marzo 2020			Marzo 2021			Marzo 2022		
	n.	M.	D.E.	n.	M.	D.E.	n.	M.	D.E.
<i>D. andrewsi</i> ♀	164	0,97	0,04	172	0,99	0,04	123	0,96	0,04
<i>D. andrewsi</i> ♂	168	0,89	0,03	168	0,88	0,03	161	0,88	0,03
<i>S. pileatus</i> ♀	166	2,31	0,10	166	2,92	0,18	170	2,25	0,14
<i>S. pileatus</i> ♂	169	2,15	0,07	78	2,52	0,25	168	2,12	0,12
<i>C. furcatus</i> ♀	162	1,82	0,06	170	1,86	0,08	143	1,83	0,06
<i>C. furcatus</i> ♂	166	1,72	0,06	157	1,76	0,06	107	1,72	0,05

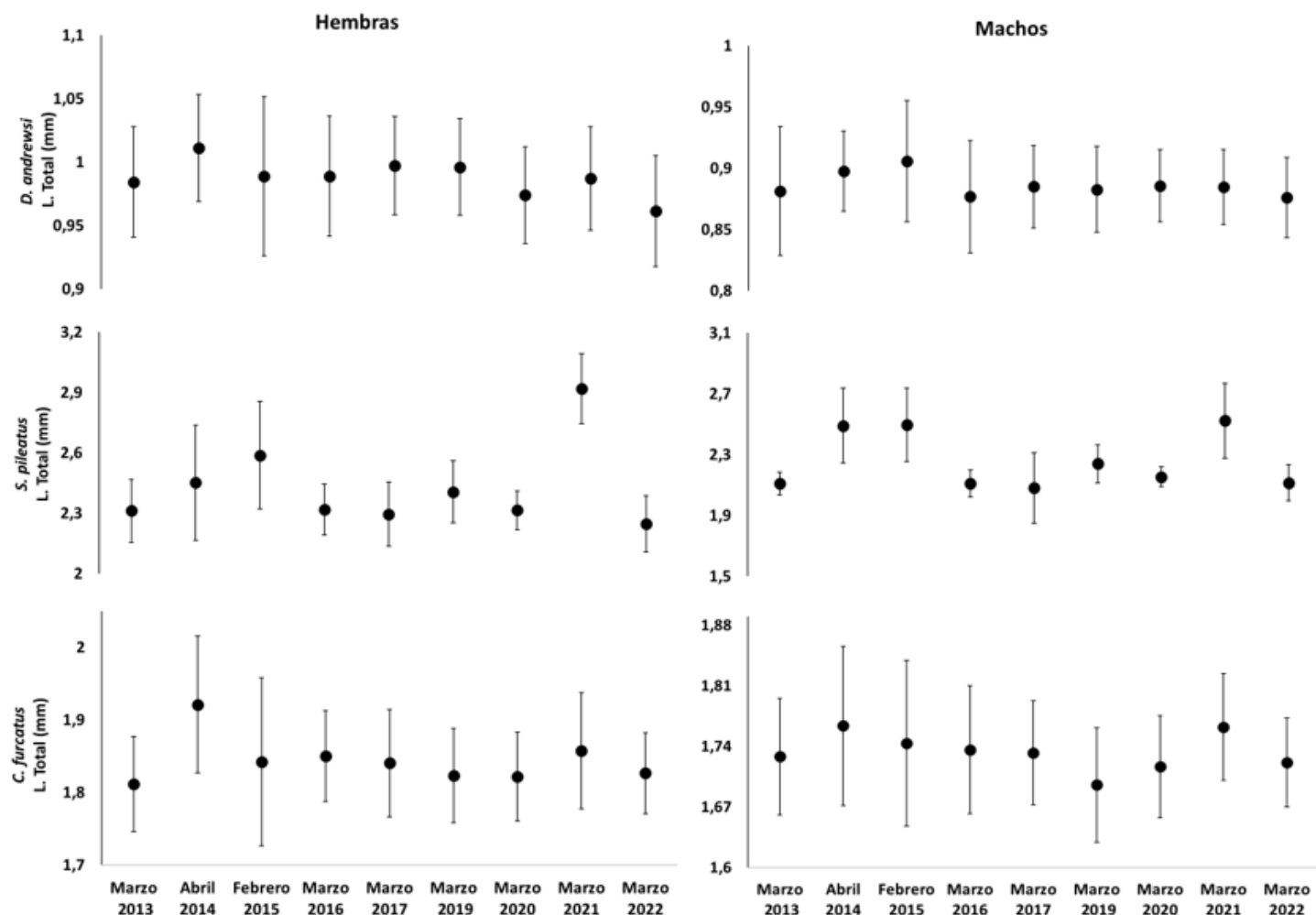


Figura 6. Comparación de largo total para hembras y machos de *D. andrewsi*, *S. pileatus* y *C. furcatus*. Los puntos negros corresponden a la media de longitud total y las líneas a la desviación estándar.

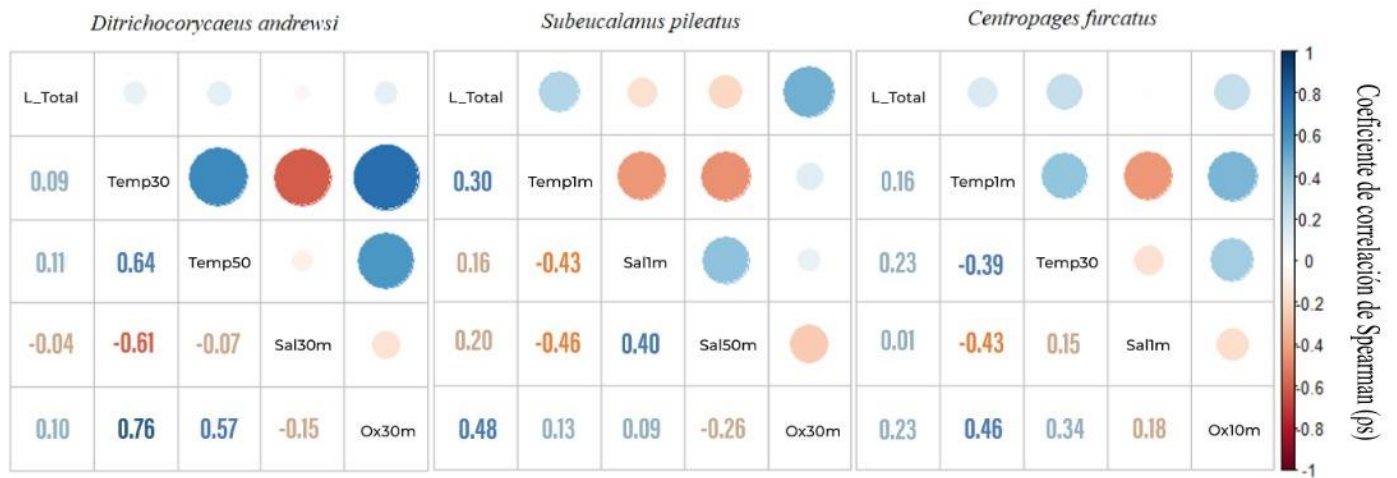


Figura 7. Matriz de correlación de pares de Spearman de las variables ambientales escogidas y el largo total para cada una de las especies.