

## ¿Es *Calanus chilensis* un indicador de la Corriente de Humboldt en el Pacífico ecuatoriano?

### Is *Calanus chilensis* an indicator of the Humboldt Current in the Ecuadorian Pacific?

Robert Bucheli<sup>1</sup>, Jackelines Cajas<sup>1</sup> & Pamela Hidalgo<sup>2</sup>

<sup>(1)</sup> Instituto Nacional de Pesca (INP)

<sup>(2)</sup> Departamento de Oceanografía, Instituto Milenio de Oceanografía, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción, Chile

E-mail: [rbucheli@institutopesca.gob.ec](mailto:rbucheli@institutopesca.gob.ec)

### Resumen

*Se analizó la distribución espacial y temporal del copépodo, Calanus chilensis como un indicador de la intrusión de la Corriente Oceánica de Humboldt y Corriente Costera de Humboldt en el Pacífico Ecuatoriano. Se llevó a cabo, utilizando datos recopilados de muestras de zooplancton y de parámetros físicos y químicos de cruceros oceanográficos ejecutados en el Pacífico Ecuatoriano en febrero y julio del 2012 y en marzo del 2013; y en dos estaciones situadas a 10 millas frente a la costa de Manta y La Libertad de Ecuador desde el año 2016 al 2018. Para determinar posibles diferencias significativas de las variables hidroquímicas a nivel espacial (entre localidades) y temporal (entre época húmeda y seca), se realizó a través de un análisis de varianza no paramétrico utilizando la prueba de significancia de Kruskal-Wallis ( $P < 0.05$ ). También se relacionó las variables físicas y química con la abundancia mediante coeficiente de correlación de Spearman. La mayores densidades y frecuencias de *C. chilensis*, se observó en la columna de agua entre los 10 y 50 metros de profundidad, principalmente cuando la termoclina fue más superficial, siendo más habitual la especie durante la época húmeda, lo que sugiere que la periodicidad de la especie, en el Pacífico Ecuatoriano, está relacionada con aguas menos saladas ( $< 35$  ups), de temperaturas entre 20 y 21 °C y termoclinas más superficial entre 10 y 30 metros. Se considera a la especie como un posible indicador biológico de la presencia del Sistema de Corriente del Perú en el Pacífico Ecuatoriano, cuyo límite más septentrional podría ser 01° 07' 52", de latitud norte.*

**Palabras claves:** *Calanus chilensis, copéodos, Sistema de Corriente del Perú, Pacífico ecuatorial*

### **Abstract**

*The spatial and temporal distribution of the copepod, Calanus chilensis, was analyzed as an indicator of the intrusion of the Humboldt Oceanic Current and Humboldt Coastal Current in the Ecuadorian Pacific. It was carried out using data collected from zooplankton samples and physical and chemical parameters of oceanographic cruises executed in the Ecuadorian Pacific in February and July 2012 and in March 2013; and in two stations located 10 miles off the coast of Manta and La Libertad in Ecuador from 2016 to 2018. To determine possible significant differences of hydrochemical variables at spatial (between localities) and temporal (between wet and dry seasons) levels, a non-parametric variance analysis was performed using the Kruskal-Wallis significance test ( $P < 0.05$ ). Physical and chemical variables were also related to abundance by Spearman correlation coefficient. The higher densities and frequencies of *C. chilensis* were observed in the water column between 10 and 50 meters deep, mainly when the thermocline was more superficial, being more habitual the species during the humid epoch, which suggests that the periodicity of the species, in the Ecuadorian Pacific, is related to less salty waters (<35 ups), of temperatures between 20 and 21 °C and more superficial thermoclines between 10 and 30 meters. The species is considered as a possible biological indicator of the presence of the Peruvian Current System in the Ecuadorian Pacific, whose northernmost limit could be 01° 07' 52", north latitude.*

**Key words:** *Calanus chilensis, copepods, Peru's Current System, Equatorial Pacific*

## INTRODUCCIÓN

En el Pacífico oriental, frente a las costas ecuatorianas, se presenta un complejo sistema oceánico en el cual convergen varias corrientes (Conde *et al.*, 2018): la Corriente El Niño que transporta aguas cálidas proveniente de las costas de Panamá, la Corriente submarina de Cromwell con aguas de surgencias de alta salinidad y ricas en nutrientes; la Corriente Ecuatorial del Sur con agua fría y la Corriente de Humboldt (Cucalón, 1989). Esta última se caracteriza por baja temperatura, alta salinidad y alta concentración de nutrientes, corre paralela a las costas de Chile y Perú hasta el Golfo de Guayaquil y las Islas Galápagos al Norte, en el Pacífico Ecuatorial Oriental (Shermann, 1995; Alexander, 1993; UNEP, 2006; Thiel *et al.*, 2007) y se intensifica de julio a noviembre (Cucalón, 1989).

La estacionalidad climática de la costa ecuatoriana se caracteriza por una estación húmeda (diciembre-mayo), con un pico unimodal de temperaturas cálidas (marzo-abril) y una estación seca (junio-noviembre) caracterizada por la ausencia de lluvias y temperaturas más bajas que los experimentados durante la estación húmeda y por la intensificación de la Corriente de Humboldt (Cucalón, 1989; Bendix *et al.*, 2011).

La frecuencia de ocurrencia del plancton en los ecosistemas marinos, reflejan los cambios hidrográficos que ocurren en el ambiente marino, debido a que, su abundancia y distribución está restringida por las condiciones hidrográficas en los ecosistemas. Lo que lo convierten en excelente indicadores de corrientes marinas y masas de aguas (Beaugrand, 2005; Lavaniegos, 2014). Sin embargo, es poco el conocimiento que se tiene de las comunidades planctónicas como indicadores, a pesar de que este conocimiento es esencial para discernir la intensificación de

una determinada masa de agua o corrientes marina.

*Calanus chilensis* Brodsky, 1959, es un copépodo endémico de la Corriente de Humboldt (Escribano y Rodríguez, 1994; Giraldo *et al.*, 2002), cuya distribución también alcanza las costas de Perú (Brodsky, 1959; Heinrich, 1971; Criales *et al.* 2008; Ayón *et al.* 2008) y Ecuador (Arcos & Fleminger, 1986). Es uno de los copépodos más abundante de la corriente de Humboldt, su abundancia es asociada con centros de afloramiento, reproduciendo continuamente en todo el año (Escribano 1998; Gonzalez & Marin, 1998, Hidalgo & Escribano, 2007, Hidalgo *et al.* 2010, Hidalgo *et al.* 2012, Pini-Pinuer *et al.* 2014). Constituyéndose en un vínculo clave entre la producción primaria y los peces pelágicos pequeños (anchoa y sardina) (Giraldo *et al.*, 2002).

En el pacífico oriental, principalmente, en el pacífico ecuatoriano, hay poco estudio sobre la distribución y abundancia de *C. chilensis*. Chen (1986), investigó la distribución vertical de algunos copépodos pelágicos en el pacífico tropical oriental. Arcos & Fleminger (1986), realizaron el seguimiento de especies de copépodos asociados a las diferentes masas de aguas en el Pacífico Ecuatorial Oriental. Tutasi *et al.* (2011), investigaron la distribución de copépodos epipelágicos en el Pacífico ecuatorial oriental durante el débil evento de La Niña de 2001. Marcial (2019), que estudio la comunidad de copépodos epipelágicos en el mar ecuatoriano, observo una alta densidad de *C. chilensis* al sur de Ecuador.

En el pacífico ecuatoriano son pocas las publicaciones sobre especies del plancton indicadoras de masas de agua y eventos oceanográficos entre las más recientes se tiene: Cruz (2012), que relacionó a varios terópodos con masas de aguas, observo a *Creseis acicula* asociada a masas de aguas mayores a 23.0°C,

que incluyen las Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES) y Aguas Tropicales Superficiales (ATS). Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES); Luzuriaga (2015), consideró al foraminífero *Globigerinoides sacculifer*, indicadora del Evento "El Niño" 1997 -1998, en su etapa madura; Prado *et al.* (2015), detectaron que las especies de fitoplancton: *Skeletonema costatum*, *Paralia sulcata* y *Pleurosigma normanii* son indicadoras de condiciones netamente estuarinas.

En esta investigación se hace un análisis de la de distribución espacial y estacional del copépodo *C. chilensis*, como un indicador de la corriente de Humboldt y su límite más norte en el pacífico ecuatoriano.

## METODOLOGÍA

El área de estudio fue situada y entre el Ecuador continental y las islas Galápagos a lo largo la costa ecuatoriana (Figura 1B, 1C, 1D y 1E). En dicha área se recolectaron muestras de zooplancton en cruceros oceanográficos y demersal en julio y marzo del 2012, (Figura 1C y 1D) y en el crucero acústico de febrero del 2013 (Figura 1E), y a 10 millas de la costa, (Figura 1B), desde el año 2016 al 2018, mediante arrastres verticales y superficiales, con una red estándar de 30 cm de diámetro de boca y 200  $\mu\text{m}$  de luz de malla. Las muestras de zooplancton fueron preservadas con formaldehído al 2 %, y depositadas en frascos de plástico de 250 mL previamente rotulados y trasladado al laboratorio para su análisis.

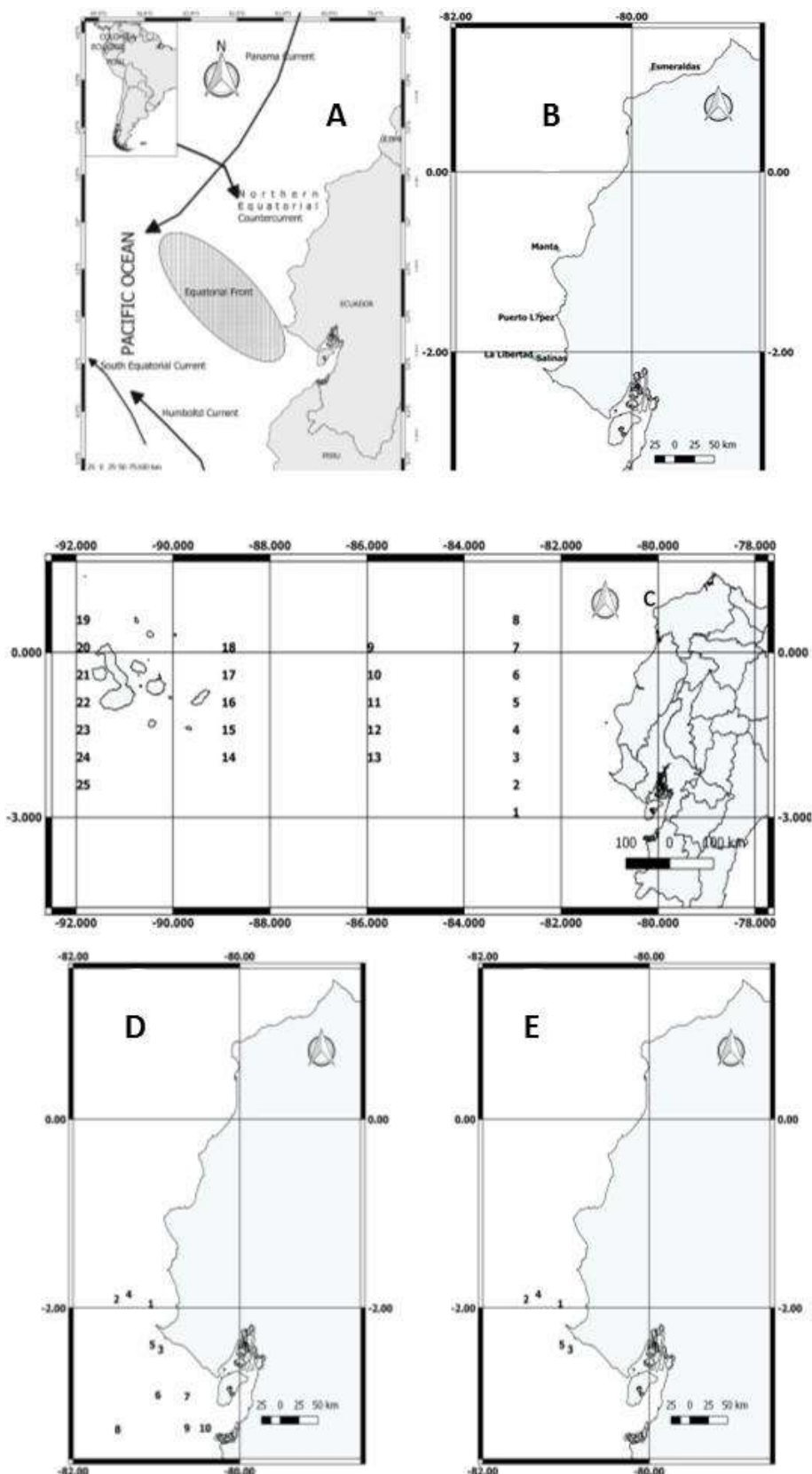
Los datos de temperatura y de salinidad fueron obtenidos usando un CTD (Sea Bird 19), tanto en las estaciones costeras como de los cruceros realizados. Así mismo, se obtuvieron muestras de aguas de las estaciones costeras (Figura 1b) y guardadas

en frascos de 250 ml, para analizar oxígeno, nitrito, nitrato, fósforo y silicato, cuyas concentraciones se determinaron en el laboratorio por medio de técnicas espectrofotométricas estándar descritas por Parsons *et al.* (1984).

En el laboratorio de plancton, de cada muestra de zooplancton, se tomaron submuestras de 25 ml en una cámara Dolphus. Organismos de *C. chilensis* (Figura 2), fueron determinados tomando en cuenta el trabajo de Arcos de 1974 y Arcos de 1975 y a la vez, contados con la ayuda de un estereoscópio microscopio marca Leica con cámara fotográfica integrada (modelo M 125). Luego de los conteos, se estimó las abundancias, las mismas que fueron estandarizadas a 1,0 m<sup>3</sup> de agua filtrada. Finalmente se tomó fotografías del individuo completo y partes morfológicas que evidencia su determinación, (Figura 2).

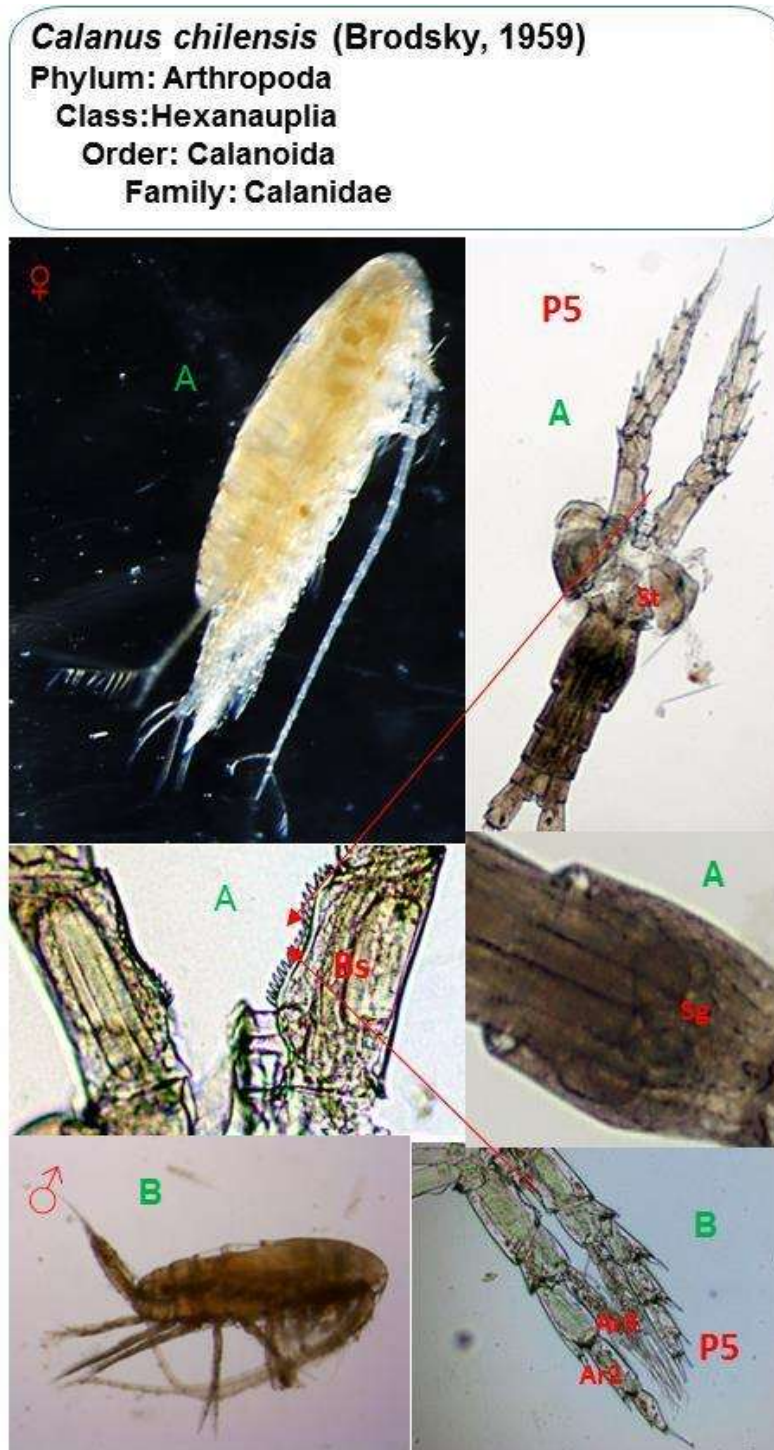
Los especímenes fueron medidos y diseccionados bajo la lupa del estereoscópio microscopio, luego se observó los rasgos morfológicos del último somito torácico y de la P5 de hembras y machos, caracteres morfológicos más útiles para una rápida y precisa identificación de la especie, (Figura 2).

Para determinar posibles diferencias significativas de las variables hidroquímicas a nivel espacial (entre localidades) y temporal (entre época húmeda y seca), se realizó a través de un análisis de varianza no paramétrico utilizando la prueba de significancia de Kruskal-Wallis ( $P < 0.05$ ). También se relacionó las variables físicas y química con la abundancia mediante coeficiente de correlación de Spearman. Para el análisis estadístico se empleó el programa Rcomamder y Statgraphics plus y para la construcción de los mapas, el programa QGIS 2.18.



**Figura 1.** Circulación oceánica (A) y localización espacial de las estaciones a 10 millas de la costa (B), crucero oceanográfico (C), crucero demersal (D), crucero acústico (E), en el Pacífico ecuatoriano.

**Figure 1.** Ocean Circulation (A) and spatial location of the stations 10 miles from the coast (B), oceanographic cruise (C), demersal cruise (D), acoustic cruise (E) in the Pacific Ecuador.



**Figura. 2.** *Calanus chilensis* (Brodsky, 1959). (A=hembra, B=macho), con las estructuras que permite su identificación. Nomenclatura: Ar3=artejo tres, Ar2= artejo dos, Bs=basipodito, P5=pata quinta, Sg=segmento genital, St=segmento torácico. Hembra, primer basipodito de P5 tiene los bordes acerrados con 19 dientes triangulares como promedio, último segmento torácico presenta bordes distales divergentes. Macho, P5 izquierda el último artejo del endopodito alcanza la mitad del segundo artejo del exopodito.

**Figure. 2.** *Calanus chilensis* (Brodsky, 1959). (A = female, B = male) with structures allowing identification. Nomenclature: Ar3 = artejo three Ar2 = artejo two B = Basial, P5 = fifth leg, Sg = genital segment, St = thoracic segment. Female, first Basial P5 has the acerrados edges with triangular teeth 19 on average last thoracic segment presents distal edges diverging. Male, P5 left the last joint of the endopodite reaches half of the second joint of the exopod.

## RESULTADOS

### Variables físicas y químicas en las estaciones 10 millas de Manta y La Libertad

La temperatura superficial del mar (TSM) mostró un gradiente de descenso desde el 2016 hasta el 2018. Los valores oscilaron de 22.53 a 29.16°C, el valor menor fue detectado en junio del 2018 y el valor el mayor en marzo del 2017, ambas temperaturas observadas en La Libertad. A 50 metros a la superficie las temperaturas fluctuaron entre 14.32 y 20.43°C, condiciones térmicas registradas en febrero del 2018 y en abril del 2017 en la estación de Manta, (Figura 3A). Se pudo observar, en la columna de agua, que los meses donde ocurrieron la temperatura más bajas, aconteció en el periodo desde noviembre del 2017 hasta febrero del 2018, y las más elevadas en abril y mayo del 2017, (Figura 3A). Los registros de las temperaturas no mostraron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre los sitios de monitoreo, (Figura 4A).

La salinidad superficial del mar (SSM), al igual que la TSM, exhibió un gradiente negativo del 2016 al 2018. Oscilo entre 30.75 y 35.00 ups, registrándose el primer valor en marzo del 2017 en Manta el segundo en mayo del 2016 en La Libertad. A 50 metros a la superficie, los valores fluctuaron entre 34.58 y 35.19 ups, la salinidad menor ocurrió en diciembre del 2016 y la salinidad mayor sucedió en septiembre del 2017, (Figura 3B). Se observó una marcada variabilidad mensual, pues los valores más bajos se exhibieron en diciembre del 2016, enero del 2017 y marzo del 2018 y más elevados de mayo a septiembre del 2017, (Figura 3B). Así mismo la salinidad no registró diferencia estadísticamente significativa ( $p > 0.05$ ), entre las estaciones de muestreo, (Figura 4B).

El oxígeno disuelto (OD) en la superficie del mar, mostró una tendencia a subir de desde el 2016 al 2018. El rango vario entre 4.32 y 5.59 mg/L, detectándose ambos valores en el mes de marzo, el valor menor fue observado en el 2018 en La Libertad y el mayor en el 2017 en Manta. Mientras a 50 metros a la superficie, el OD se ubicó entre 1.48 y 3.94 mg/L, la concentración menor fue registrada en Manta y la mayor en La Libertad, (Figura 3C). Se observó que concentraciones menores a 2.50 mg/L, ocurrió de abril a octubre del 2016 y de junio del 2017 a febrero del 2018 y luego en julio y agosto del 2018. También se registraron tres picos más abundantes en Manta en noviembre del 2016, en marzo y abril del 2017 y en marzo del 2018 en La Libertad, (Figura 3C). El oxígeno disuelto no fue significativamente diferente ( $p > 0.05$ ), entre las localidades (Figura 4C).

El nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) en la superficie del mar, presento una tendencia de crecimiento no bien marcada en las estaciones muestreadas. Sus mínimas concentraciones (0.01 mol/L) se registraron en septiembre y octubre del 2016 en Manta, después en octubre y noviembre del 2017 y mayo del 2018, en ambas estaciones, y el valor más elevados (0.20 mol/L) en junio del 2018 en La Libertad. En el nivel de 50 metros a la superficie, el nitrito oscilo entre 0.03 y 1.12 mol/L, detectándose el primer valor en julio del 2017 en La Libertad y el segundo en febrero del 2018 en Manta, (Figura 3D). La tendencia temporal-espacial del nitrito, exhibió valores altos de diciembre del 2016 a marzo del 2017, luego en enero del 2018 en Manta. En La Libertad, mayores densidades se detectaron en diciembre del 2016, en enero 2017, en mayo del 2017 y luego desde enero hasta marzo del 2018. Las menores concentraciones fueron registradas entre julio y noviembre en Manta y La Libertad, respectivamente, (Figura 3D). El nitrito no fue diferente significativamente ( $p > 0.05$ ), entre estaciones, (Figura 4D).

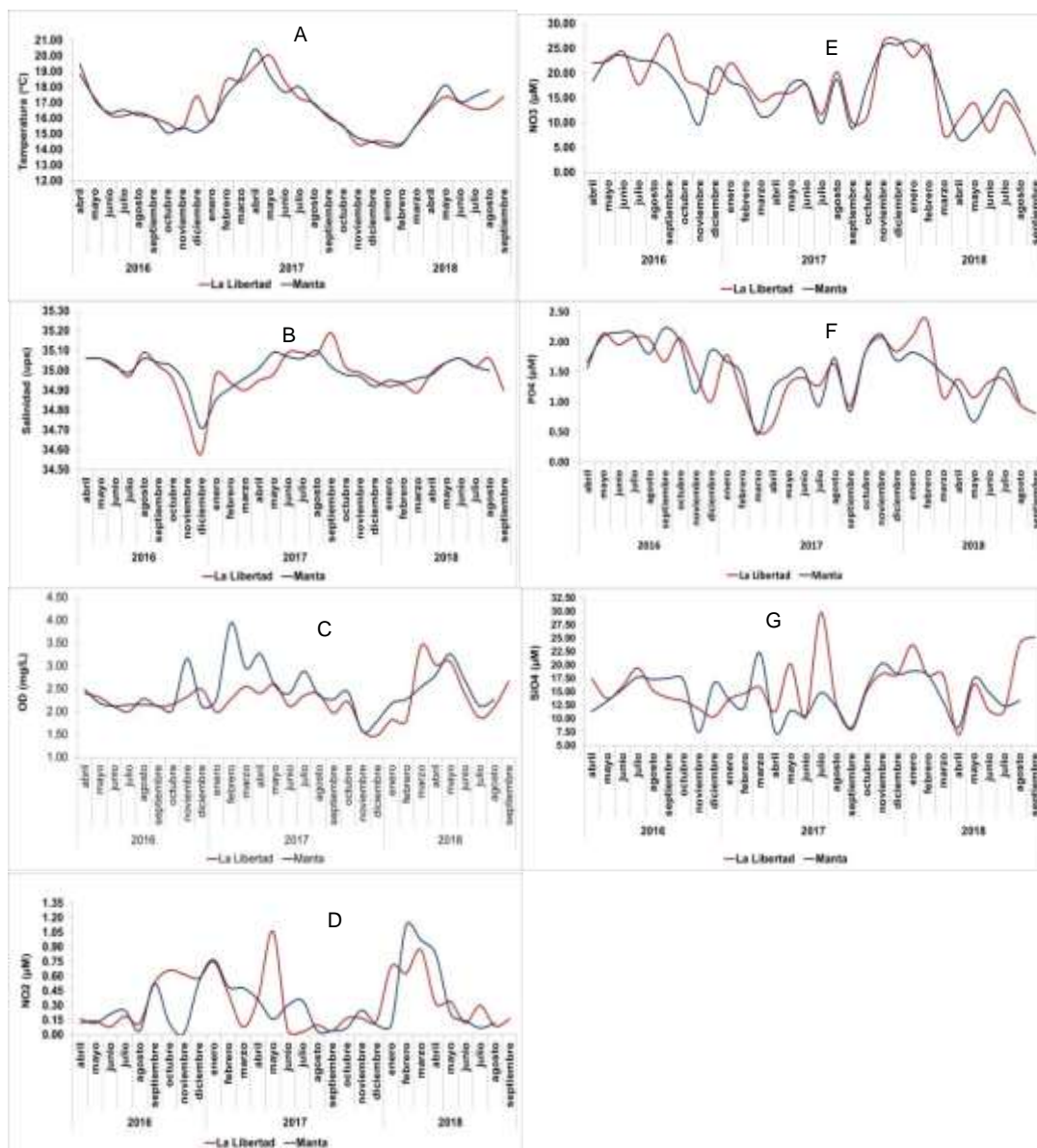
El nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) en la superficie del mar evidencio una tendencia de incremento de las densidades en La Libertad y un decrecimiento en Manta. Osciló entre 0.01 y 2.30 mol/L, observándose la mínima concentración en junio del 2016 y julio del 2018 en Manta y en julio y septiembre del 2016 en La Libertad y la máxima abundancia en octubre del 2016 en la última estación mencionada. A 50 metros a la superficie el nitrato exhibió un rango de 3.64 a 27.81 mol/L, coincidentemente ambas densidades se detectaron en La Libertad en septiembre del 2018 y 2016, (Figura 3E). En ambas localidades se observaron dos curvas de concentraciones más elevadas; la primera fue registrada de abril a octubre del 2016 y la segunda de noviembre del 2017 hasta febrero del 2018. Las concentraciones bajas se detectaron de marzo a septiembre del 2018, (Figura 3E). El análisis ANOVA indico que no hubo diferencias significativas ( $p > 0.05$ ), del nitrato entre las estaciones de muestreo, (Figura 4E).

Las concentraciones del fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), en la superficie del mar, registró un gradiente de descenso desde el 2016 al 2018. Presento el valor mínimo (0.01 mol/L) en marzo del 2017 en Manta y La Libertad, mientras el valor más alto (0.57 mol/L) se detectó en octubre del 2016 en la última localidad mencionada. A 50 metros a la superficie, la mínima concentración (0.46 mol/L) se registró en marzo del 2017 en Manta y la máxima (2.36 mol/L) en febrero del 2018 en La Libertad, (Figura 3F).

La distribución espacio-temporal del fosfato, registró concentraciones elevadas, desde abril del 2016 hasta febrero del 2017, en marzo del año último mencionado descendió a su mínimo valor, pero partir de abril empezó aumentar alcanzando su máximo en marzo del 2018, para luego descender en los meses siguientes, (Figura 3F). El análisis ANOVA indicó que no hubo diferencias significativas ( $p > 0.05$ ), del fosfato entre las estaciones de muestreo, (Figura 4F).

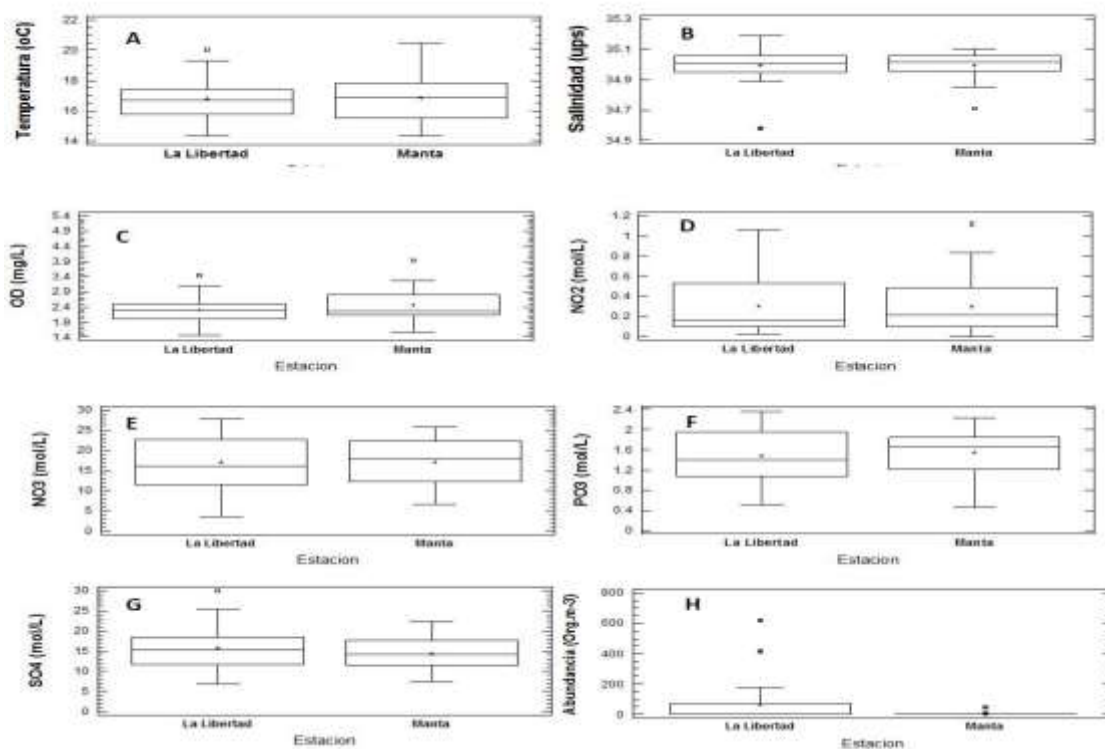
El silicato ( $\text{SiO}_4$ ) en la superficie del mar mostró un gradiente de ascenso de 2016 al 2018. Osciló entre 0.2 y 11.41 mol/L, registrándose el valor mínimo en diciembre del 2017 en Manta y La Libertad y también en mayo del 2018 en Manta, mientras el valor mayor se detectó en mayo del 2018 en La Libertad. En nivel de los 50 metros a la superficie, las concentraciones se ubicaron en 6.95 y 29.75 mol/L observándose ambos valores en La Libertad el primero en abril del 2018 y el segundo en julio del 2017, (Figura 3G). La variación temporal del silicato observó concentraciones por encima de 13 mol/L de julio hasta octubre 2016 y de noviembre 2017 a marzo del 2018 y algunos picos de concentraciones superiores a 20 mol/L en marzo, mayo, julio y noviembre del 2017 y, en enero, agosto y septiembre del 2018, (Figura 3G). El ANOVA reveló que no hubo diferencias significativas ( $p > 0.05$ ), del silicato entre las estaciones de muestreo, (Figura 4G).





**Figura. 3.** Variación espacial y temporal de temperatura (A), salinidad (B), nitrito (C), nitrato (D), fósforo (E), oxígeno (F), silicato (G) a 50 metros a la superficie en las estaciones de La Libertad y Manta entre 2016 y 2018.

**Figure. 3.** Spatial and temporal variation temperature (A), salinity (B), nitrite (C), nitrate (D), phosphorus (E), oxygen (F), silicate (G) 50 meters to the surface stations La Libertad and Manta between 2016 and 2018.



**Figura. 4.** Distribución espacial a 50 metros a la superficie de temperatura (A), salinidad (B), oxígeno disuelto (C), nitrito(D), nitrato (E), fosfato (F), silicato (G) y abundancia de *Calanus chilensis* en las estaciones de muestreo entre 2016 y 2018.

**Figure. 4.** Space distribution 50 meters to the surface temperature (A), salinity (B), dissolved oxygen (C), nitrite (D), nitrate (E), phosphate (F), silicate (G) and abundance of *Calanus chilensis* sampling stations between 2016 and 2018.

### Puerto López y Salinas

A 50 metros a la superficie en la estación de Salinas se registraron temperaturas entre 16.10 y 19.95°C y salinidad entre 34.70 y 35.07 ups, mientras en la estación de Puerto López la temperatura varió de 19.48 a 19.95°C y la salinidad de 34.40 a 35.06ups. En estas estaciones los muestreos mensuales se realizaron de manera discontinua, sin embargo, se ha considerado estas localidades porque son áreas que también son influenciadas por la rama costera de la Corriente de Humboldt.

### Cruceros oceanográficos-pesqueros

Los datos de temperaturas durante el crucero realizado en julio del 2012,

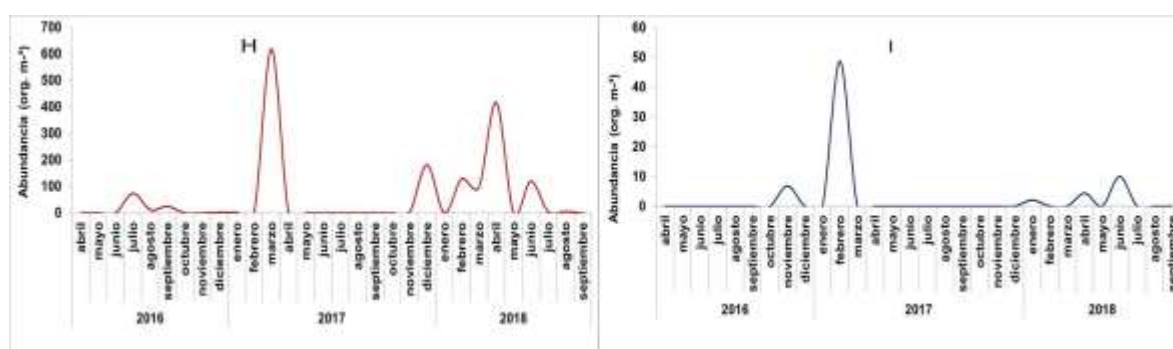
fueron superficiales (0 m) y oscilaron entre 19.4 y 23.8°C. La temperatura a 50 metros a la superficie, en el crucero de febrero del 2012, oscilo entre 14.9 y 15.7°C, y en el crucero de marzo del 2013, entre 13.9 y 18.1°C.

### Fluctuaciones temporales y espaciales de la abundancia de *Calanus chilensis*

Las abundancias de *C. chilensis*, no registraron diferencias espaciales y temporales significativas ( $p < 0.05$ ) entre las estaciones (la Libertad y de Manta), sin embargo la mayor densidad se presentó en La Libertad, (Figura 4H), principalmente en la época húmeda.

La abundancia osciló entre 1 y 619 org.m<sup>-3</sup>, detectándose el valor mínimo en mayo de 2018 y el valor máximo en marzo de 2017, ambos valores en La Libertad, (Figura 5H). En La Libertad durante el 2016, *C. chilensis*, alcanzó su máximo valor (74 org.m<sup>-3</sup>) en julio para descender en el mes siguiente hasta diciembre donde se registró el mínimo valor (2 org.m<sup>-3</sup>), excepto octubre, mes en que no se detectó la especie. En 2017, de enero a febrero no se observó al individuo, apareciendo en marzo con una abundancia de

619 org.m<sup>-3</sup>, siendo la más alta de todo el periodo de estudio; de abril hasta noviembre la especie se ausentó reapareciendo en diciembre del mismo año hasta agosto de 2018 con valores que oscilaron entre 5 y 417 org.m<sup>-3</sup>, (Figura 5 H). En Manta, se registró la especie en noviembre y febrero de 2017; en el último mes mencionado *C. chilensis*, obtuvo la máxima densidad (49 org.m<sup>-3</sup>), después se la observó en abril y junio de 2018 con 4 y 10 org.m<sup>-3</sup> respectivamente, (Figura 5 I).



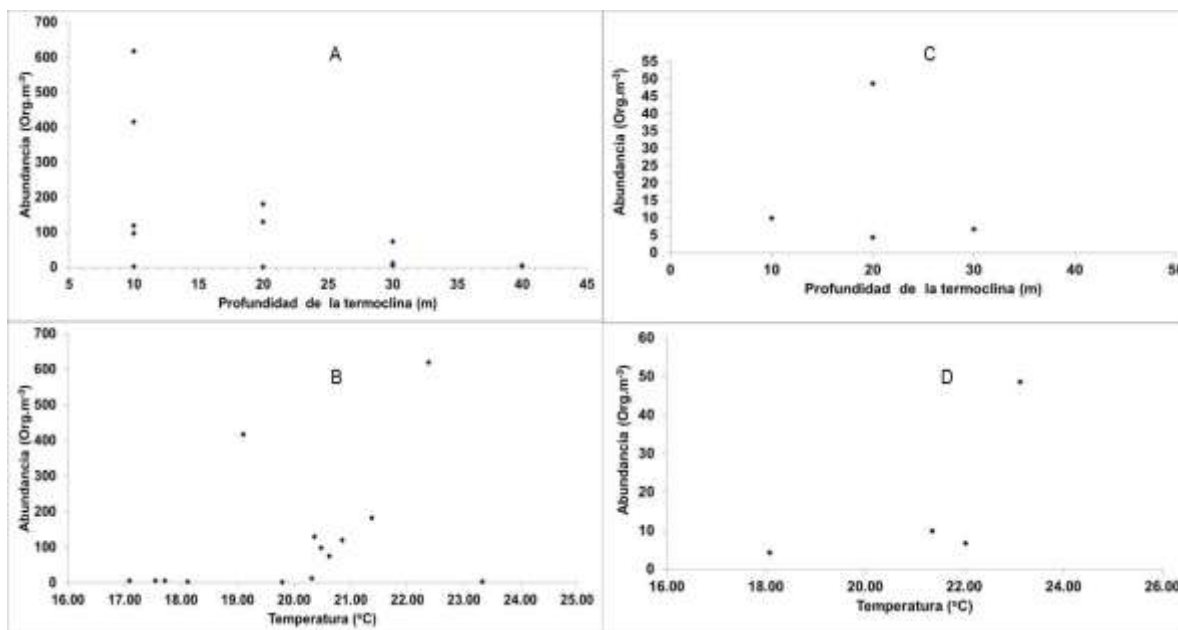
**Figura 5.** Variación espacial, temporal y abundancias de (*Calanus chilensis*) a 50 metros a la superficie en las estaciones de La Libertad (H) y Manta (I) entre 2016 y 2018.

**Figure 5.** Spatial, temporal variation and abundances of (*Calanus chilensis*) 50 meters to the surface La Libertad (H) and Manta (I) stations between 2016 and 2018.

A 50 metros a la superficie, en los meses que *C. chilensis* fue concurrente, las mayores abundancias (119 a 619 org. m<sup>-3</sup>) se registró cuando la temperatura osciló de 14.40 a 18.37°C, la salinidad de 34.90 a 35.06 ups, el oxígeno disuelto de 1.48 a 3.02 mg/L, el nitrito de 0.08 a 0.63 mol/L, el nitrato de 10.65 a 26.79 mol/L, el fosfato de 0.51 a 2.36 mol/L y el silicato de 6.95 a 18.09 mol/L, valores observados en la época húmeda.

Relacionando la abundancia de *C. chilensis* con la profundidad de la termoclina, los datos observados en Manta y La Libertad muestran una relación negativa, mientras que con las temperaturas donde empezaba a producirse la

termoclina la relación fue positiva, (Figura 6). En La Libertad, se observó que las mayores abundancias se detectaron cuando la termoclina se encontraba a 10 m de profundidad y la temperatura entre 20 y 21°C, (Figura 6A y 6B). En Manta se divisaron mayor frecuencias de *C. chilensis* en el momento que la termoclina se la encontró a 20 m y temperatura entre 21 y 22 °C, pero con abundancia menores a 10 org. m<sup>-3</sup> (Figura 6C y 6D). Se resalta que las mayores abundancias de *C. chilensis* y termoclinas menos profunda se presentaron en algunos meses de la época húmeda, especialmente en febrero, marzo, abril y diciembre durante todo el periodo de estudio, (Figura 5).



**Figura 6.** Gráfico de dispersión que relación la abundancias de *Calanus chilensis* con la profundidad de la termoclina (A y C) y abundancias con las temperaturas las cuales cambiaron rápidamente con la profundidad (B y C) en las estaciones de La Libertad (A y B) y Manta (C y D) entre 2016 y 2018.

**Figure 6.** Graph of the dispersion relation abundances *Calanus chilensis* with thermocline depth (A and C) and abundances with temperatures which change rapidly with depth (B and C) in La Libertad (A and B) and Manta (C and D) stations between 2016 and 2018.

En relación con el coeficiente de correlación de Pearson, la abundancia de *C. chilensis* mostró una relación negativa con fosfato, nitrito, nitrato, salinidad y silicato, pero la

relación fue positiva con oxígeno disuelto y la temperatura. Sin embargo, la mayoría de las correlaciones fueron débiles, (Tabla 1).

**Tabla 1.** Coeficiente de correlación de Pearson a 50 metros a la superficie entre las variables física y química y biológica; fosfato (Fos); nitrito (Nit); nitrato (Nitr); oxígeno disuelto (Oxi); salinidad (Sal); silicato (Sil); temperatura (Tem) y abundancias de *Calanus chilensis* (Abundancia C.ch) en las estaciones de muestreo de La Libertad y Mantas.

**Table 1.** Pearson product-moment correlation coefficient 50 meters to the surface between the physical and chemical and biological variables; phosphate (Fos); nitrite (Nit); nitrate (Nitr); dissolved oxygen (Oxi); salinity (salt); silicate (Sil); temperature (Tem) and abundances of *Calanus chilensis* (C.ch Abundance) in the La Libertad and Manta stations.

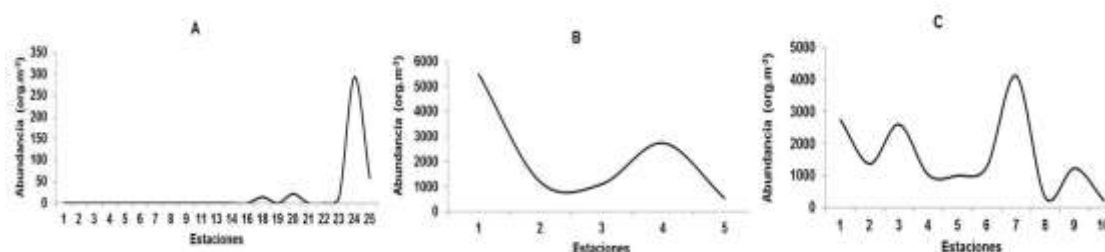
Variables	Fos	Nit	Nitr	Oxi	Sal	Sil	Tem
Fos	1						
Nit	0.06	1					
Nitr	0.73	0.04	1				
Oxi	-0.52	0.30	-0.61	1			
Sal	0.31	-0.33	0.21	-0.23	1		
Sil	0.19	-0.12	0.26	-0.40	0.19	1	
Tem	-0.66	-0.19	-0.46	0.46	-0.10	-0.28	1
Abundancia (C.ch)	-0.36	-0.23	-0.19	0.11	-0.12	-0.10	0.28

En la estación de Salinas, se registraron presencia de *C. chilensis* en los meses de noviembre del 2016 y abril del 2017 con 137 y 91 org. m<sup>-3</sup>, respectivamente. Así mismo, se observó una similar tendencia en la estación de Puerto López, hallándose 46 org. m<sup>-3</sup>, en noviembre del 2016 y 9 org. m<sup>-3</sup> en abril del 2017 y del 2018.

En la estación de Esmeraldas, también se detectó la especie, únicamente, en abril del 2008 con 137 org. m<sup>-3</sup>.

Durante el crucero de marzo del 2012, se registraron abundancias que oscilaron entre

229 y 4114 org. m<sup>-3</sup>, las más altas concentraciones se hallaron en las estaciones 1, 3 y 7, estaciones situadas más próximas al continente, (Figura 1D; 5C). Durante el crucero de julio del 2012 se encontraron densidades de la especie entre 15 y 294 org. m<sup>-3</sup>, y únicamente en las estaciones 18, 20, 23, 24 y 25 situadas en las Islas Galápagos por debajo de la línea ecuatorial, (Figura 1C; 5A). En el crucero de febrero del 2013 la abundancia fluctuó de 549 a 5486 org. m<sup>-3</sup>, registrando sus valores más elevados en las estaciones 1 y 4 ubicadas frente a la Península de Santa Elena, (Figura 1D; 5B).



**Figura 7.** Abundancias de *Calanus chilensis* en las estaciones de los cruceros oceanográficos (A), crucero demersal (B), crucero acústico (C) en el Pacífico ecuatoriano.

**Figure 7.** Abundances of *Calanus chilensis* stations in the oceanographic cruise (A), demersal cruise (B), acoustic cruise (C) in the Ecuadorian Pacific.

## DISCUSIÓN

De las variables hidrográficas analizadas, el silicato fue significativamente diferente entre las estaciones de estudio, evidenciado en las concentraciones, las cuales fueron mayores en la estación de La Libertad, así mismo, lo fue la salinidad y el nitrito entre de época, cuyos valores más altos se registraron en la época húmeda; debido probablemente a la cercanía de las estaciones de muestreo con las desembocaduras de los ríos Guayas y Chone, ocasionado por el drenaje que transporta una gran cantidad de sedimentos que traen consigo nutrientes de origen terrígeno que provienen de zonas agrícolas ubicadas en las riberas de los mismos (Hurtado *et al.*, 2010),

también a las surgencias muy productivas de la corriente de Humboldt (Escribano and Hidalgo, 2000; Ayón *et al.*, 2008; Thiel *et al.*, 2007; Chávez & Messié, 2009).

La mayor ocurrencias y abundancias de *C. chilensis* se produjo cuando la termoclina se la encontró en la superficie, principalmente, a los 10 metros de profundidad y en condiciones de temperatura entre 20 y 21°C, (Figura 6), posiblemente causado por el ingreso de un filamento de aguas frías proveniente de la rama costera de la corriente de Humboldt.

Se resalta que durante el periodo de estudio, la especie no fue frecuente en todos los meses de la investigación, lo que indicaría que la presencia de individuos estaría relacionada cuando se intensifica la Corriente en mayor grado, generando filamento de aguas frías que ingresan hasta las 10 millas frente a la costa al sur del Ecuador.

La abundancia *C. chilensis* se correlaciono de forma positiva con la temperatura, siendo consistente con lo observado por Escribano e Hidalgo., (2000), quienes observaron más abundancia cuando la temperatura fue más elevada. También se relacionó positivamente con el oxígeno disuelto, mientras de forma negativa con la salinidad, fosfato, nitrito, nitrato y silicato como consecuencia de un intenso consumo autótrofo. Sin embargo, la temperatura cálida reportadas por Escribano e Hidalgo, (2000), en el pacifico ecuatoriano es considerada como fría (Cucalon, 1989; Hurtado *et al.*, 2010).

En el mar ecuatoriano, hacia el sur del Ecuador, dominan dos ramales de la corriente Ecuatorial del Sur: la corriente Oceánica de Humboldt y la corriente Costera de Humboldt, esta última bordea las costas de Chile y Perú y continúa hacia el norte hasta llegar a costas ecuatorianas (Capítulo I., 2012). En el área bajo estudio la corriente fue evidenciada por los valores de temperatura y de salinidad reportados en este estudio, y que fueron bastante similares a los observados por Ulloa y Vargas. (2015), en la corriente de Humboldt, y además, por la presencia del copépodo *C. chilensis*.

La frecuencia de *C. chilensis* en las estaciones costeras, en la columna de agua a 50 metros a la superficie, se debe a la rama costera de la corriente de Humboldt, que es subsuperficial en su trayecto norte (Andrade *et al.*, 2010). Mientras, la asiduidad de *C. chilensis* en el arrastre superficial, observados en el crucero de Julio del 2012, en las estaciones de las islas Galápagos,

se corresponde a la rama oceánica de la corriente de Humboldt que es superficial (Andrade *et al.*, 2010), por lo que no es extraño la presencia de la especie en las estaciones oceánicas.

La distribución y abundancia de las especies presentó marcadas diferencias latitudinales asociadas a las condiciones oceanográficas, mostrando las mayores densidades al sureste de Ecuador y de las islas Galápagos, coincidiendo con lo observado por Tutasi *et al.*, (2001) y Arcos & Fleminger. (1986). Aunque, el método de muestreo empleado por los investigadores anteriores (arrastres oblicuos), difirió con la de este estudio (arrastre vertical de 50 a 0 m), las mayores abundancias coincidieron al sur del Ecuador, los mismos investigadores observaron que *C. chilensis*, estaba más asociado con la Corriente del Perú y, el límite de la especie la detectaron en el lado más septentrional de la corriente, al sur del Ecuador, zona influenciada por aguas de características frías entre 20 y 25°C, proveniente de un filamento de la corriente de Humboldt (CPPS, 2014).

Durante la época húmeda es donde se observó mayor presencia de *C. chilensis*, lo que se sugiere que la frecuencia de ocurrencia de la especie, en el Pacífico ecuatoriano, está relacionada con aguas menos saladas (<35 ups), Así mismo, las mínima abundancia o ausencia en la época seca estaría relacionada con aguas más saladas (> 35 ups), aunque en la época húmeda, también se observó mínima cantidad, cuando las concentraciones de salinidad estaban alrededor de 35 ups. Arco y Fleminger. (1986), observaron mayor abundancias de *C. chilensis* en los meses lluviosos con respecto a los meses secos, coincidiendo con este estudio. También coincidió con los valores de temperaturas y salinidad observados en época húmeda y seca de este estudio, y con la distribución de la especie al sur de Ecuador.

Desde 2016 hasta entrado del 2018 se presentaron condiciones oceanográficas y meteorológicas que confirmaron el evento La Niña, pero en fase débil (Ormaza, 2017, 2018).

Los cambios oceanográficos producto del evento, tendrían que notarse en las fluctuaciones en la abundancia de la especie, sin embargo, comparando la información de del crucero de febrero 2013, año de considerado normal (ERFEN, febrero 2013), durante La Niña, las abundancias no fueron superiores al 2013. Esto es consistente con lo observado por Escribano e Hidalgo, (2000), quienes concluyeron, en su estudio, que no hubo una clara asociación de la abundancia de *C. chilensis* con años cálidos (El Niño) o fríos (La Niña).

Esta especie, en zonas subtropicales, parece reproducirse continuamente a lo largo del año, cuya abundancia se asocia con aguas frías y ricas en clorofila *a* (Escribano & Rodríguez, 1994; Escribano, 1998; Gonzalez & Marin, 1998; Giraldo, *et al.*, 2002).

Sin embargo, en el área de este estudio ubicada en zona tropical, no se observó continuamente a la especie a lo largo de los años analizados, (Figura 3H), aunque la disponibilidad de fitoplancton como alimento no es limitante, debido a la alta productividad en el mar ecuatoriano (Cajas *et al.*, 2000; Prado & Cajas, 2010; Coello *et al.*, 2010; Coello & Cajas, 2011).

Posiblemente la especie, al ser llevada por la rama costera de la Corriente de Humboldt hacia el norte del mar ecuatoriano, su avance quede obstaculizado por el encuentro con las aguas cálidas superficiales de la corriente de Panamá o del Niño (Capítulo I, 2012), que se desplaza de norte a sur, cuya termoclina es más profunda (McPhaden *et al.*, 2006); barrera que no le permita que se desplace más al norte, o tal vez migren a mayor profundidad, lo cual fue evidenciado por la

frecuencia de *C. chilensis* en la columna de agua, donde las temperaturas oscilaron 14.21 y 20.56°C y salinidades entre 34.58 y 35.19 ups, (Figura 3 A y 3B).

La información analizada de este estudio y las referencias bibliográficas (Chen, 1986; Arco y Fleminger, 1986; Tutasu *et al.*, 2001; Marcial, 2019), indican que la distribución y abundancia de *C. chilensis*, está estrechamente relacionado con el suministro de agua frías que ingresa a través de la corriente de Humboldt desde el sur de Ecuador, ofreciendo evidencia de que la influencia de la Corriente de Humboldt puede llegar más al norte en el Pacífico ecuatorial.

## CONCLUSIÓN

*Calanus chilensis* es una especie clave que reside en el ecosistema costero y oceánicos de Chile, Perú y Ecuador; su distribución en el Pacífico ecuatoriano, indicaría el límite más norte de la corriente de Humboldt, tanto en su rama costera como oceánica. Estos resultados sugieren que *C. chilensis* podría usarse como un indicador biológico de la presencia de la corriente Humboldt en el Pacífico ecuatoriano, y además determinar los límites norte de la corriente en las aguas del Pacífico Ecuatorial Oriental.

## AGRADECIMIENTO

A los profesionales del Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador (INOCAR), que participaron en la colecta de muestras de zooplancton y en el análisis e ingreso de datos correspondientes a las variables, físicas, químicas.

## REFERENCIAS

- Alexander, L.M. (1993). Large marine ecosystems. *Marine Policy*, 17(3), 186–198.
- Andrade, H., Andrade, H., Andrade, R., Gutiérrez, S., & Oyarzo, J. (2010). Consultoría sobre el estado del medio ambiente marino de Chile. Informe Final. Programa CONPACSE. DIRECTEMAR y OIKOS Chile.
- Arcos, D. (1974). Los copépodos calanoídeos colectados en la región Magallánica por la Expedición "Hero" 72-4b. Boletín de la Sociedad de Biología de Concepción, 47, 215-225.
- Arcos, D. F. (1975). Copépodos Calanoídeos de la Bahía de Concepción, Chile. Conocimiento sistemático y variación estacional. Univ. de Concepción.
- Arcos, F. & Fleminger, A. (1986). Distribution of filter-feeding calanoid copepods in the eastern equatorial Pacific. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports*, 27, 170-187.
- Ayón, P., Criales-Hernandez, M., Schwamborn, R. & Hírche, H. (2008). Zooplankton research off Peru: A review. *Progress in Oceanography*, 79, 238-25.
- 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, 208-214.
- Beaugrand, G. (2005). Monitoring pelagic ecosystems using plankton indicators. *ICES Journal of Marine Science*, 62(3), 333-338.
- Bendix, J., Trachte, K., Palacios, E., Rollenbeck, R., Göttlicher, D., Nauss, T., et al. (2011). El Niño meets La Nina—anomalous rainfall patterns in the “traditional El Niño region of Southern Ecuador. *Erdkunde* 65, 151–167. Doi: 10.3112/erdkunde.2011.02.04
- Brodsky, K. A. (1959). On the phylogenetic relationship of certain species of *Calanus* (Copepoda) from the northern and southern hemispheres. *Zool. J. Acad. Sci. URSS*, 38, 1537-1553.
- Cajas, L. M. Prado, D. Coello & J. Cajas. (2000). Fitoplancton y mesozooplancton en piscinas camaroneras en la costa ecuatoriana durante el evento del síndrome de la mancha blanca. En “Situación de la problemática del virus “mancha blanca “(WSSV) en el cultivo del camarón en el litoral ecuatoriano durante 1999”. F. Ormazá editor. *Instituto Nacional de la Pesca. Edición Especial. 57-85 p.*
- Capítulo I: Información General de la República del Ecuador. INOCAR (2012). La patria empieza en el mar. 1.1 situación geográfica. [https://www.inocar.mil.ec/docs/derrotero/derrotero\\_cap\\_I.pdf](https://www.inocar.mil.ec/docs/derrotero/derrotero_cap_I.pdf).
- Chávez, F.P. & M. Messié. 2009. A comparison of Eastern Boundary Upwelling Ecosystems. *Progress in Oceanography* 83(1-4): 80-96.
- Chen, Y. Q. (1986). The vertical distribution of some pelagic copepods in the eastern tropical Pacific. *CalCOFI Rep*, 27, 205-227.
- Coello & J. Cajas (2011). Variabilidad del plancton en estaciones fijas frente a la costa ecuatoriana durante 2010. *Informe interno. INP. Guayaquil-Ecuador 11 p.*



- Coello, D., Cajas, J., Macías, P., and Lindao, J. (2010). Floración algal ocasionada por *Prorocentrum mexicanum* en el canal de Jambelí. *Rev. Ciencias Del Mar Limnol.* 4, 25–33.
- CPPS. (2014). Estado del Medio Ambiente Marino y Costero del Pacífico Sudeste. Comisión Permanente del Pacífico Sur - CPPS. Guayaquil, Ecuador. Serie Estudios Regionales, 4, 244 p. CPPS. (2014). Estado del Medio Ambiente Marino y Costero del Pacífico Sudeste. Comisión Permanente del Pacífico Sur - CPPS. Guayaquil, Ecuador. Serie Estudios Regionales, 4, 244 p.
- Conde, A., Hurtado, M., and Prado, M. (2018). Phytoplankton response to a weak El Niño event. *Ecol. Indic.* 95, 394–404. doi: 10.1016/j.ecolind.2018.07.064
- Criales-Hernández, M. I., Schwamborn, R., Graco, M., Ayón, P., Hirche, H. J., & Wolff, M. (2008). Zooplankton vertical distribution and migration off Central Peru in relation to the oxygen minimum layer. *Helgoland Marine Research*, 62(2 Suppl. 1), 85-100.
- Cruz, M. (2012). Preferencia y rangos de tolerancia a la temperatura y salinidad de los Pterópodos y Heterópodos frente a la costa ecuatoriana. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 17(1).
- Cucalon, E. (1989). “Oceanographic characteristics off the coast of Ecuador,” in *A Sustainable Shrimp Mariculture Industry for Ecuador*, eds S. Olsen and L.
- ERFEN. (2013). Condiciones océano atmosféricas en el mar ecuatoriano. *Boletín Científico*, Marzo.
- ERFEN. (2013). Condiciones oceano-atmosféricas se mantienen con tendencia a valores normales en la costa ecuatoriana. *Boletín Científico*, Febrero.
- Escribano R. (1998). Population dynamics of *Calanus chilensis* from northern Chile. *Fish Oceanogr* 7:245–251
- Escribano, R., & Hidalgo, P. (2000). Influence of El Niño and La Niña on the population dynamics of *Calanus chilensis* in the Humboldt Current ecosystem of northern Chile. *ICES Journal of Marine Science*, 57(6), 1867-1874.
- Escribano, R., & Rodriguez, L. (1994). Life cycle of *Calanus chilensis* Brodsky in Bay of San Jorge, Antofagasta, Chile. *Hydrobiologia*, 292(1), 289-294.
- Giraldo, A., Escribano, R., & Marin, V. (2002). Spatial distribution of *Calanus chilensis* off Mejillones Peninsula (northern Chile): ecological consequences upon coastal upwelling. *Marine Ecology Progress Series*, 230, 225-234.
- Gonzalez, A., & Marin, V. H. (1998). Distribution and life cycle of *Calanus chilensis* and *Centropages brachiatus* (Copepoda) in Chilean coastal waters: a GIS approach. *Marine Ecology Progress Series*, 165, 109-117.
- Heinrich, A. K. (1971). On the near-surface plankton of the eastern South Pacific Ocean. *Marine Biology*, 10(4), 290-294.
- Hidalgo, P., Escribano, R., Fuentes, M., Jorquera, E., & Vergara, O. (2012). How coastal upwelling influences spatial patterns of size-structured diversity of copepods off central-southern Chile (summer 2009). *Progress in Oceanography*, 92, 134-145.
- Hurtado, M. A., Hurtado-Domínguez, L. M., Hurtado- Domínguez, L., Soto, L., & Merizalde, M. A. (2010). *Áreas costeras y marinas protegidas del Ecuador* (1st ed.). Quito: Ministerio del Ambiente.

- Lavaniegos, B. (2014). Crustáceos planctónicos como indicadores de variabilidad climática y corrientes marinas. Bioindicadores: *Guardianes de nuestro futuro ambiental, primera edición: 2014, ISBN 978-607-8429-05-9 (edición digital).*
- Luzuriaga, M. (2015). Foraminíferos Planctónicos vivos en condiciones normales del mar ecuatoriano y durante el evento “el niño” 1997- 1998. *Acta Oceanográfica del Pacífico Vol. 20 N°1.*
- Marcial, B. (2019). Análisis de la comunidad de copépodos epipelágicos en el mar ecuatoriano (*Bachelor's thesis, Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Guayaquil*).
- McPhaden, M.J., Zebiak, S.E., Glantz, M.H., 2006. ENSO as an integrating concept in earth science. *Science 314, 1740–1745.*
- Ormaza, F. (2017). Posible retorno de la Niña e impacto en las pesquerías de atún en el EPO. *Ecuador Pesquero. Oceanografía, 23-24.*
- Ormaza, F. (2018). Como se desarrollará la Niña 2017-2018. Sus posibles Impactos. *Ecuador Pesquero. Oceanografía, 17-18.*
- Parsons, T., Y. Maita, and C. Lally. 1984. A Manual of Chemical and Biological Methods of Seawater Analysis. *Pergamon Press, Reino Unido.*
- Pino-Pinuer, P., Escribano, R., Hidalgo, P., Riquelme-Bugueño, R., & Schneider, W. (2014). Copepod community response to variable upwelling conditions off central-southern Chile during 2002-2004 and 2010-2012. *Marine Ecology Progress Series, 515, 83-95.*
- Prado, M. & J. Cajas 2010. Variabilidad del plancton en estaciones fijas frente a la costa ecuatoriana durante 2007. *Revista de Ciencias del Mar y Limnología. INP. Guayaquil-Ecuador 4(3):59-69 p.*
- Prado, M., Trocholli, L., and Moncayo, E. (2015). Cambios estructurales del microfitoplancton en la zona 442 costera de la provincia El Oro-Ecuador en temporada seca. *Bol. Inst. Oceanogr. Venez. 54, 139–152.*
- Shermann, K., 1995. Large marine ecosystems and fisheries. In: Munasinghe, M., Shearer, W. (Eds.), *Defining and Measuring Sustainability. The Biogeophysical Foundations. The United Nations University and the World Bank, pp. 207–233.*
- Thiel, M., Macaya, E. C., Acuna, E., Arntz, W. E., Bastias, H., Brokordt, K.,...& Dumont, C. P. (2007). The Humboldt Current System of northern and central Chile: oceanographic processes, ecological interactions and socioeconomic feedback. *Oceanography and marine biology: an annual review.*
- Tutasi, P., Palma, S., & Cáceres, M. (2011). Epipelagic copepod distributions in the eastern equatorial Pacific during the weak La Niña event of 2001. *Scientia Marina, 75(4), 791-802.*
- Ulloa, R. y A. Vargas. (2015). *Identificación de Áreas de Alto Valor Para la Conservación de la Ecorregion Humboldt.* Inf. Fin. Project Humboldt Large Marine Ecosystem. *Centro de Investigación y desarrollo de Profesionales Marinos Pacífico Ltda. 140 pp.*
- UNEP. 2006. Humboldt Current. Permanent Commission for the South Pacific (CPPS). *Kalmar, Sweden. 79p + xv.*