

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



**“VARIABILIDAD TEMPORAL DE LOS VOLÚMENES
Y DIVERSIDAD DE PLANCTON FRENTE A LA COSTA
PERUANA DURANTE EL PERÍODO 2010 – 2015”**

Javier Omar Bejarano Vásquez

Tesis para optar el Título Profesional de Licenciado en Biología

Lima, Perú

2018

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres, por el esfuerzo que cada día hacen por mí. Y a la memoria de mi primo que descansa ahora en el cielo.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por su apoyo incondicional durante toda esta etapa académica.

A mi asesora de tesis, Blga. Patricia Ayón por el apoyo durante la elaboración del proyecto y por los aportes brindados.

A la Mg. Sonia Sánchez por su ayuda durante el tiempo realizando las prácticas y también en la elaboración de esta tesis.

A mis compañeros del Laboratorio de Fitoplancton y Producción Primaria (LFPP) del Instituto del Mar del Perú, por su amistad y apoyo en el trabajo.

A la bióloga Alexandra Canales Chávez por su apoyo y dedicación incondicional.

Al biólogo Aarón Mondragón por su constante apoyo.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	3
ÍNDICE.....	4
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
I. INTRODUCCIÓN	8
II. OBJETIVOS.....	11
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
III. MARCO TEÓRICO	12
IV. ANTECEDENTES.....	14
V. HIPÓTESIS.....	16
5.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	17
5.2. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	17
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	18
6.1. LUGAR DE EJECUCIÓN	18
6.2. MUESTREO	18
6.3. PROCEDIMIENTOS Y ANÁLISIS DE DATOS.....	18
6.3.1. <i>Determinación del volumen de plancton</i>	18
6.4. ANÁLISIS DE DATOS.....	19
6.5. ASPECTO ÉTICO	19
VII. RESULTADOS.....	20
VIII. DISCUSIÓN	28
IX. CONCLUSIONES.....	30
X. REFERENCIAS CITADAS.....	31
XI. ANEXOS	34

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. VARIACIÓN INTERANUAL Y ESTACIONAL DE LOS VOLÚMENES DE PLANCTON (2010-2015).....	22
FIGURA 2. VARIACIÓN INTERANUAL Y ESTACIONAL DE LOS VOLÚMENES DE FITOPLANCTON Y ZOOPLANCTON (2010-2015)	23
FIGURA 3. VARIACIÓN ESTACIONAL DE LOS VOLÚMENES DE FITOPLANCTON Y ZOOPLANCTON (2010-2015).....	24

RESUMEN

Los cambios en la biodiversidad de ecosistemas marinos están relacionados con el cambio climático donde interactúan muchas variables, principalmente la temperatura. La diversidad de especies probablemente responde a todo el sistema climático en lugar de forma individual, por lo que ésta investigación tiene como objetivo determinar la variabilidad temporal de los volúmenes y diversidad del plancton frente a la costa peruana durante el periodo 2010-2015, (los datos se analizaron en el programa R, usando estadística básica descriptiva así como análisis multivariado para el tema de las variables de temperatura, salinidad y masas de agua). Se realizaron pruebas de normalidad de los datos de volúmenes de fitoplancton y zooplancton mediante la prueba de Shapiro-Wilk, y luego en función a estos resultados, se aplicó el análisis de correlación (Pearson o Spearman) para establecer las relaciones entre dichos volúmenes con los parámetros ambientales de Temperatura superficial del mar (TSM) y salinidad superficial del mar (SSM). Los resultados arrojaron que los volúmenes de plancton presentaron valores menores a 2 mL.m^{-3} , en un rango comprendido entre 0.26 y 1.52 mL.m^{-3} , con concentraciones mínimas para el verano 2015 (0.26 mL.m^{-3}), año en que se presentó El Niño de categoría intenso, caracterizado por una alta abundancia relativa como diatomeas *Thalassiosira subtilis*, *Chaetoceros debilis* y dinoflagelados, y concentraciones máximas durante la primavera 2010 (1.52 mL.m^{-3}), periodo catalogado como La Niña, que presentó tanto especies neríticas de afloramiento como especies termófilas con alta abundancia relativa de zooplancton. En conclusión, los volúmenes de plancton fueron menores en las épocas de verano durante el periodo 2010 – 2015.

Palabras clave: diversidad, plancton, variabilidad temporal, El Niño

ABSTRACT

The objective of this investigation was to determine the temporal variability of the volumes and diversity of plankton facing the Peruvian sea during the period 2010 - 2015, this by means of the analysis of the percentage contribution of phytoplankton and zooplankton and the dynamics of the variability of the volumes of plankton associated with oceanographic variability. The data were analyzed in the **R** program, using descriptive basic statistics as well as multivariate analysis for the subject of the variables of temperature, salinity and water masses. Normality tests were carried out on phytoplankton and zooplankton volumes using the Shapiro-Wilk test, and then based on these results, the corresponding correlation analysis (Pearson or Spearman) was applied to establish the relationships between these volumes with the environmental parameters of sea surface temperature (SST) and sea surface salinity (SSM). The results showed that the volumes of plankton had values lower than 2 mL.m^{-3} , in a range between 0.26 and 1.52 mL.m^{-3} , with minimum concentrations for summer 2015 (0.26 mL.m^{-3}), year in which El Niño of intense category was presented, characterized by a high relative abundance of diatoms *Thalassiosira subtilis*, *Chaetoceros debilis* and dinoflagellates, and maximum concentrations during the spring 2010 (1.52 mL.m^{-3}), period cataloged as La Niña, which presented both upwelling neritic species and thermophilic species with high relative abundances of zooplankton. In conclusion, the plankton volumes were lower in the summer seasons during the 2010-2015 periods.

Key words: diversity, plankton, temporal variability, El Niño

I. INTRODUCCIÓN

Los océanos están cambiando a un ritmo rápido, alterando la dinámica de la población de las especies con importantes consecuencias ecológicas sobre ecosistemas enteros. Durante el siglo pasado, los cambios en el entorno físico y químico de los ecosistemas marinos alteraron los ciclos bioquímicos y la producción primaria que influyó en la fenología y distribución de muchas especies.

Los cambios en las comunidades de plancton marino impulsados por la variabilidad ambiental afectan la red trófica marina y a los ciclos biogeoquímicos globales de carbono y otros elementos. Para predecir y evaluar estos cambios en la comunidad y sus consecuencias, los ecologistas investigan cada vez más cómo los rasgos funcionales del plancton determinan su aptitud relativa a lo largo de gradientes ambientales y biológicos.

Se espera que el entorno marino cambie notablemente a lo largo del próximo siglo en respuesta a las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero.

La industria en general genera gases de efecto invernadero como el Dióxido de Carbono (CO_2) que contribuyen al calentamiento global, siendo absorbidas por la atmósfera y los océanos. La acumulación del CO_2 en los océanos es utilizada por el fitoplancton, que mediante la fotosíntesis, transforma el CO_2 en materia orgánica en un proceso denominado bomba biológica oceánica.

El Sistema de la Corriente de Humboldt está influenciado por una alta variabilidad climática, asociada con las condiciones oceanográficas, afectando por ende las primeras tramas tróficas, lo cual condiciona a las poblaciones de peces que viven en dicho ecosistema. El plancton está constituido por organismos animales y vegetales microscópicos en su mayoría, que flotan y son desplazados pasivamente en las aguas tanto saladas como dulces siendo la base de la trama trófica.

El plancton también responde a los eventos climáticos de El Niño en una escala correspondientemente grande, estudios realizados en el Giro de Alaska y de la Corriente de California, han demostrado cambios estructurales en la composición del zooplancton como consecuencia de la variación interanual frecuentemente asociada con la Oscilación Sur de El Niño. (Fulton & Le Brasseur, 1985; Palomares-García & Gómez-Gutiérrez; 1996).

En el mar peruano, se han realizado trabajos relacionados al fitoplancton como la variación temporal y espacial de estos por Ochoa *et al.* (1999) y Sánchez (2000) destacando este último que durante eventos El Niño sus niveles de productividad fueron negativos con volúmenes de plancton $<1,0 \text{ mL.m}^{-3}$ y contrariamente en eventos La Niña, favorecieron a la producción primaria con volúmenes $>3,0 \text{ mL.m}^{-3}$. En estos casos se habla de variabilidad climática y no de cambio climático. Es necesario, por tanto, contar con las variaciones de los volúmenes de plancton como “sensores” o “proxies” de la producción primaria, y por ende las condiciones de la anchoveta, ya que éstos tienen como principal alimento al fitoplancton (Rojas de Mendiola 1981) y zooplancton (Espinoza y Bertrand, 2008)

Por otro lado, los niveles de abundancia de anchoveta muestran una alta variabilidad asociadas a condiciones oceanográficas, sin embargo la razón fundamental de la disponibilidad de alimento no está estudiada, ya que, en algunos casos la temperatura no está asociada al nivel de abundancia.

Debido a la alta variabilidad oceanográfica del Ecosistema del Afloramiento Peruano (EAP), los análisis de correlación de las asociaciones de dichas variables ambientales sobre los volúmenes del plancton son necesarios para la determinación de los cambios de distribución temporal en el periodo 2010 – 2015 de los volúmenes de plancton y variables abióticas tales como la temperatura y la salinidad superficial las cuales tipifican masas de agua.

El presente estudio permitirá determinar los volúmenes de fitoplancton disponibles para la alimentación de la anchoveta en los períodos estacionales, por lo que este estudio tiene como objetivo determinar la variabilidad temporal de los volúmenes y diversidad de plancton frente al mar peruano durante el período 2010 – 2015, mediante el análisis de contribución porcentual del fitoplancton y zooplancton y la dinámica de la variabilidad de los volúmenes de plancton asociados con la variabilidad oceanográfica.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Determinar la variabilidad temporal de los volúmenes de plancton frente a la costa peruana durante el periodo 2010 – 2015.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar la contribución porcentual del fitoplancton y zooplancton.
- Conocer la dinámica de la variabilidad de los volúmenes de plancton asociados con la variabilidad oceanográfica.

III. MARCO TEÓRICO

La temperatura a nivel mundial ha estado aumentando durante décadas y se espera que se incremente entre 3-5 °C adicionales durante el próximo siglo (IPCC 2014). Se predice que el calentamiento climático en curso traerá una serie de cambios indeseables en la biodiversidad y a los ecosistemas, que incluye la distribución reducida de especies estenotérmicas (Jeppesen et al., 2012), la expansión de especies exóticas (Walther et al., 2009), la exacerbación de floraciones de algas y la degradación de la calidad del agua en ecosistemas de agua dulce (Paerl y Huisman, 2008; Kosten *et al.*, 2012)

El cambio climático es la alteración de todos los parámetros climáticos, ya sea temperatura, precipitación, humedad, entre otros. Estos cambios se pueden producir a lo largo de varios siglos lo cual permite la adaptación gradual de especies animales y vegetales a nuevas condiciones climatológicas (Conde y Saldaña, 2007).

Una de las principales fuentes de variabilidad climática son los eventos extremos, como El Niño Southern Oscillation (ENSO), un fenómeno climático recurrente pero irregular que alterna una fase de calentamiento conocida como El Niño y una fase de enfriamiento conocida como La Niña. Estudios recientes sugieren la existencia de varios "tipos" de El Niño, por ejemplo, la costa del Pacífico oriental sufrió impactos más fuertes del ENSO 1997-98 que los esperados del ENSO 2015-16 a pesar de tener una anomalía similar en la temperatura de la superficie del mar tropical (Jacox et al., 2016; Capotondi *et al.*, 2015).

Los eventos de El Niño (la fase cálida del ENSO) redujeron marcadamente la abundancia, supervivencia y aptitud de muchas especies y generaron cambios significativos en la composición de la comunidad (Fiedler, 2002).

Las comunidades de plancton marino desempeñan papeles activos y también están sujetos a los ciclos biogeoquímicos globales y a la variabilidad climática. Falkowski et al. (1998), mencionan que las funciones clave de la comunidad planctónica incluyen la exportación de carbono (C) desde la superficie del océano, la transferencia de energía

y materia orgánica a niveles tróficos superiores, estas funciones determinan el intercambio de C y otros elementos entre la superficie del océano y la atmósfera como también para las profundidades del océano.

Rykaczewski y Dunne (2010), prevén que el cambio climático en el próximo siglo alterará las condiciones ambientales experimentadas por el plancton, incluyendo temperatura, pH, luz, estratificación y turbulencia de la columna de agua, el suministro de nutrientes a la superficie del océano y la concentración y especiación de C. inorgánica disuelta.

El plancton está constituido por organismos animales y vegetales microscópicos que flotan y son desplazados pasivamente en las aguas tanto saladas como dulces. Estos se dividen en zooplancton y fitoplancton.

El zooplancton está constituido por organismos heterótrofos que no pudiendo sintetizar su propio alimento, lo obtienen del medio exterior por ingestión de partículas vivas o muertas. El fitoplancton es capaz de sintetizar su propio alimento. Al igual que la mayoría de plantas, fijan carbono por medio del proceso de fotosíntesis, a partir del agua, gas carbónico y energía luminosa. La importancia del fitoplancton es evidente ya que la tierra está compuesta por tres cuartas partes de agua. Dentro del fitoplancton, las diatomeas son las algas más comunes. Tienen un papel fundamental en la cadena trófica como productor primario en hábitats acuáticos. Una de sus características distintivas es la formación de una pared extracelular de Sílice llamada frústula. Los dinoflagelados constituyen el segundo grupo de importancia del fitoplancton cuyas características morfológicas y requerimientos nutritivos los hacen exitosos desde el punto de vista reproductivo y de crecimiento, en aguas tropicales. (Ochoa 1999)

IV. ANTECEDENTES

Uno de los efectos del cambio climático es el calentamiento de los océanos, y el aumento del nivel del mar, lo cual según Parry *et al.* (2007) tendrá efectos negativos en los arrecifes coralinos y en las pesquerías regionales y provocará desplazamientos en la localización de los bancos de peces en el Pacífico sur y este, no siendo ajeno el fitoplancton a estos efectos.

ENSO (El Niño Southern Oscillation) combinado con los efectos que induce la ruptura de la capa de ozono atmosférica, y el efecto invernadero sobre el planeta, están afectando los patrones de temperatura, precipitación pluvial, depresiones tropicales, huracanes, descarga de ríos y variación del nivel medio del mar, induciendo nuevas incertidumbres en la estabilidad ambiental de los hábitats críticos. (Yáñez-Arancibia *et al.* 1998)

Por otra parte, Tovar *et al.* (2017) determinaron una disminución en la diversidad de especies de las plantas en Lomas de Lachay durante el evento El Niño de los años 1998 – 1999 a diferencia de los periodos de humedad de los años 2000 – 2001.

El plancton también responde a los eventos climáticos de El Niño en una escala correspondientemente grande realizados en el Giro de Alaska y de la Corriente de California, donde han demostrado cambios estructurales en la composición del zooplancton como consecuencia de la variación interanual frecuentemente asociada con la Oscilación Sur de El Niño. (Fulton & Le Brasseur, 1985; Palomares-García & Gómez-Gutiérrez; 1996).

Para las próximas décadas, se proyecta un aumento del nivel del mar entre 0.18 y 0.59 m, y es muy probable que los extremos de calor y las precipitaciones torrenciales continuarán siendo más frecuentes. (Conde & Saldaña 2007).

En una escala de tiempo de dos a siete años, el clima del Pacífico ecuatorial oriental varía entre anomalías frías (La Niña) y cálidas (El Niño). Estas oscilaciones en temperatura son acompañadas por cambios en la estructura del océano superficial; variabilidad en la fuerza de los vientos alisios de la zona este ecuatorial; cambios en

la posición de la convección atmosférica; y los patrones globales de teleconexión asociados con estos cambios que producen variaciones en las precipitaciones y los patrones climáticos en muchas partes del mundo (Collins *et al.* 2010).

El estudio de la producción marina ha llevado a identificar las áreas fértiles, dentro de los cuales se encuentra el Ecosistema de la Corriente de Humboldt frente al Perú, el cual se caracteriza por presentar un intenso afloramiento, alta productividad primaria, la mayor pesquería mono-específica del mundo y una alta variabilidad climática a diferentes escalas espacio temporales (Chávez *et al.* 2008)

Muchas de las especies que componen el soporte de la pesquería dependen del afloramiento existente en la costa peruana, especies como *Engraulis ringes* “anchoveta”, *Sardinops sagax sagax* “sardina” y *Ethmidium maculata chilcae* “machete”. Es por esto que la distribución y la composición del fitoplancton han sido objeto de numerosas investigaciones científicas (Rojas de Mendiola, 1981)

Ochoa *et al.* (1999), presentaron un registro de los principales componentes de la flora planctónica en el Perú: las diatomeas y los dinoflagelados, los cuales representan el pilar fundamental de la extraordinaria producción del mar peruano. Concluyeron que, en general, las aguas de la Corriente Fría Peruana se caracterizan por la abundancia de un gran número de diatomeas de pequeño tamaño y de alta tasa de reproducción y unas pocas especies de dinoflagelados de forma sencilla.

En cuanto a la distribución y concentración de los volúmenes de fitoplancton, así como cambios en la composición específica de la zona central del ecosistema de Humboldt peruano, el estudio de Sánchez y Delgado (En prensa) en los periodos de 1969 – 1975 y 2000 – 2008, registró datos importantes como la fluctuación de los volúmenes promedio de fitoplancton asociada con los patrones temporales.

V. HIPÓTESIS

Los incrementos de temperatura de las masas de agua en los periodos de verano evaluados durante los años 2010 - 2015, ocasionarán un incremento en los volúmenes de plancton por ende, la productividad también se verá afectada significativamente en cuanto al número de especies en relación al invierno por el acercamiento de las masas de agua a la zona costera.

5.1. Tipo y diseño de investigación

Se trata de una investigación de tipo Causa-efecto y de diseño no experimental.

5.2. Operacionalización de las variables

La temperatura se midió en grados centígrados y la salinidad está representada en números. Los resultados, volúmenes del plancton, son expresados en mL.m⁻³. Las masas de agua solamente son variables cualitativas.

Variable	Tipo de Variable	Indicador	Valores Finales
Temperatura	Numérica Continua	Grados centígrados	
Salinidad	Numérica Continua	SSM (Salinidad superficial del agua)	
Volúmenes del plancton	Numérica Continua	mL.m⁻³	
Masas de agua	Cualitativa	temperaturas	

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Lugar de ejecución

El análisis de los datos obtenidos de los muestreos se llevó cabo en el Laboratorio de Fitoplancton y Producción Primaria del Instituto del Mar del Perú (Imarpe).

6.2. Muestreo

Las muestras fueron recolectadas mediante el arrastre horizontal de una red estándar de fitoplancton de 75 micras de abertura de malla, durante 5 minutos a velocidad de 3 nudos. Las muestras fueron fijadas con formalina neutralizada con bicarbonato de sodio al 20% (Thröndsen, 1978).

Para el registro de la Temperatura Superficial del Mar (TSM, °C) se empleó termómetros de superficie Richter & Wiese y el sensor de temperatura FURUNO modelo T-2000.

Las muestras de salinidad fueron analizadas por el método de inducción con el Portasal 8410A Guildline. Dicho parámetro no tiene unidades. Las masas de agua serán determinadas de acuerdo con el criterio de Zuta & Guillén (1970).

6.3. Procedimientos y Análisis de datos

6.3.1. Determinación del volumen de plancton

Los volúmenes de plancton se obtuvieron por centrifugación a 2400 RPM durante 5 minutos. Los resultados se expresan en mL.m⁻³.

6.3.2. Cálculo del porcentaje de la abundancia relativa de fitoplancton y zooplancton

A partir del volumen de plancton total, se calculó el volumen de fitoplancton y zooplancton, basado en la contribución porcentual de la abundancia relativa de cada grupo. Los resultados se expresan en mL.m⁻³.

6.4. Análisis de datos

La elaboración de los gráficos y cálculos estadísticos se hicieron en el programa R, usando estadística básica descriptiva así como análisis multivariado para el tema de las variables de temperatura, salinidad y masas de agua. Se realizó pruebas de normalidad de los datos de volúmenes de fitoplancton y zooplancton mediante la prueba de Shapiro-Wilk, y luego en función a este resultado, se aplicó el análisis de correlación respectivo (Pearson o Spearman) para establecer las relaciones entre dichos volúmenes con los parámetros ambientales de temperatura (TSM) y salinidad (SSM)

6.5. Aspecto ético

Los datos fueron otorgados por el Laboratorio de Fitoplancton y Producción Primaria del Instituto del Mar del Perú (Imarpe) y el muestreo de las especies utilizadas no representa una amenaza para la biodiversidad.

VII. RESULTADOS

En general, los volúmenes de plancton presentaron valores menores a 2 mL.m^{-3} , en un rango comprendido entre 0.26 y 1.52 mL.m^{-3} , con concentraciones mínimas para el verano 2015 (0.26 mL.m^{-3}), año en que se presentó El Niño de categoría intenso, caracterizado por una alta abundancia relativa de diatomeas y dinoflagelados termófilos, asociados en menor proporción a algunas diatomeas neríticas; y concentraciones máximas durante la primavera 2010 (1.52 mL.m^{-3}), periodo catalogado como La Niña, que presento tanto especies neríticas de afloramiento como especies termófilas con alta abundancia relativa de zooplancton.(figura 1).

Se muestra la distribución interanual y estacional de los volúmenes de fitoplancton y zooplancton para el período 2010-2015, presentándose los mayores valores de fitoplancton en el invierno 2013 (Figura 2 y 3), mientras que los de zooplancton se alcanzaron en las primaveras 2010 y 2011. Además, la variación interanual de los volúmenes fue menor en los meses de veranos y primaveras de dicho período de estudio, principalmente para el fitoplancton (Figura 2).

Para el período 2010-2015, se determinó una composición específica caracterizada por diatomeas de fases iniciales como *Thalassiosira subtilis*, *Chaetoceros debilis*, *Ch. compressus*, *Skeletonema costatum*, *Ch. lorenzianus*, *Ch. didymus*, *Detonula pumila*, asociadas a las de fase intermedia como *Thalassionema nitzshoides*, *Coscinodiscus perforatus*, Grupo *Pseudo-nitzschia delicatissima*, *Eucampia zodiacus*, *Guinardia striata*, y también relacionadas con los de fase avanzada como los dinoflagelados.

También se registraron diatomeas oceánicas como *Planktoniella sol*, *Lioloma delicatulum*, *Ch. convolutus*, *Corethron hystrix*, *Pseudosolenia calcar-avis*, y dinoflagelados termófilos como *Goniodoma polyedricum*.

Al aplicar la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, se determinó p-values menores a 0.05, con lo que se demostró la no normalidad de los datos. Por ello, se aplicó el análisis de correlación de Spearman, que evidenció una asociación débil de los volúmenes de fitoplancton y zooplancton con la TSM y con la SSM.

Se aplicaron pruebas de hipótesis para evaluar diferencias significativas de los volúmenes de plancton respecto a las estaciones del año y entre meses de verano con los invierno y primavera (2010-2015) respectivamente, encontrándose p-values <0.0001 en todos los casos, a excepción de los volúmenes de zooplancton en verano respecto al invierno lo que no concuerda con la hipótesis de estudio planteada, en que se postulaba mayores volúmenes de plancton en verano, sin embargo, los máximos volúmenes registrados en primavera coinciden con las diferencias no significativas obtenidas de las pruebas aplicadas (Tabla 1H).

Volumenes de plancton (mL.m-3)

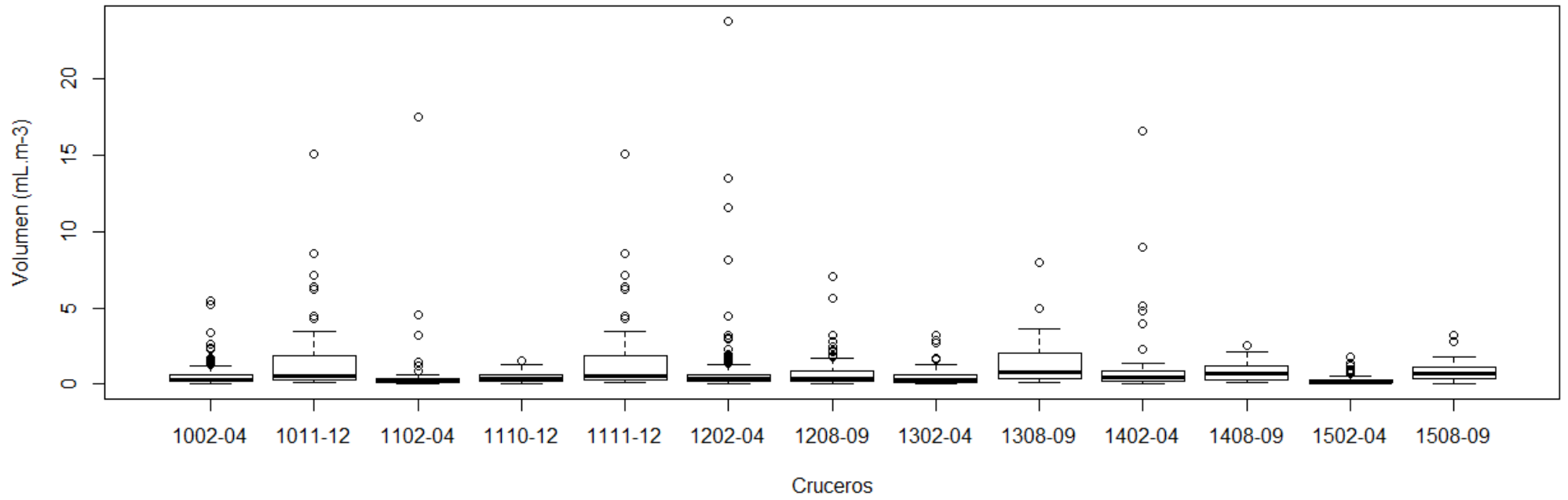


Figura 1. Variación interanual y estacional de los volúmenes de plancton (2010-2015)

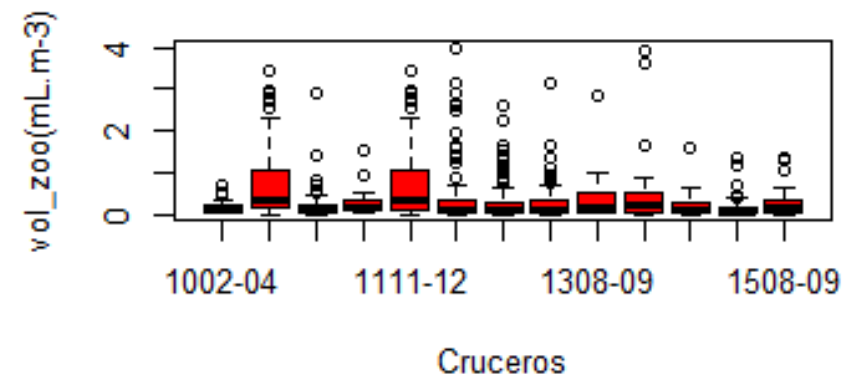
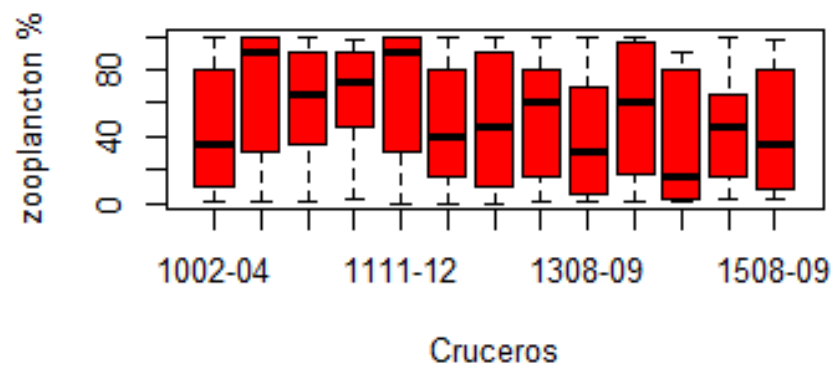
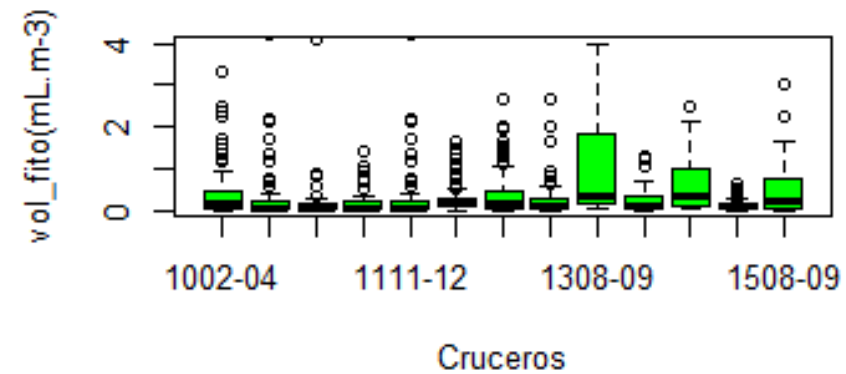
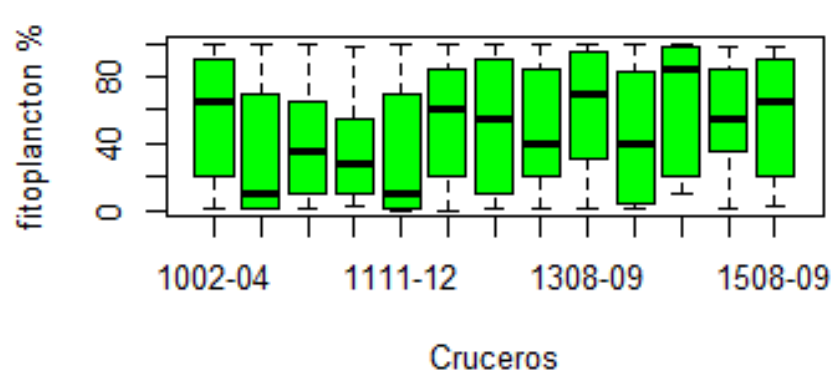


Figura 2. Variación interanual y estacional de los volúmenes de fitoplancton y zooplancton (2010-2015)

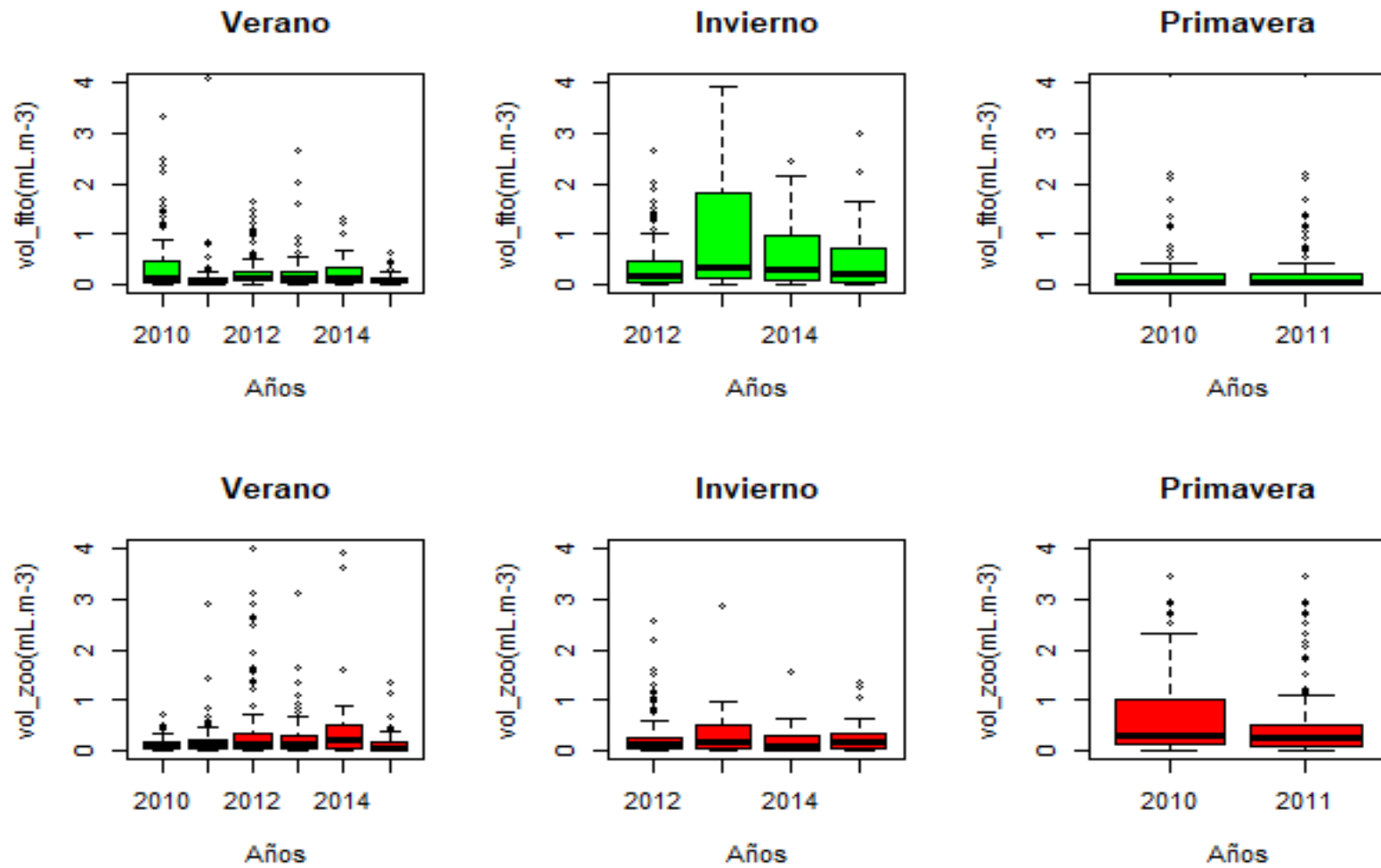


Figura 3. Variación estacional de los volúmenes de fitoplancton y zooplancton (2010-2015)

Tabla 1

A. Prueba de Normalidad de datos Shapiro-Wilk

H₀: la distribución observada es normal

Si $p < \alpha$, entonces se rechaza H₀

B. Prueba de Normalidad Shapiro-Wilk (Para los volúmenes de fitoplancton)

data: sample(log10(datos\$fito_v[datos\$fito_v != 0]))

W = 0.99425, p-value = 0.0009797

C. Prueba de Normalidad Shapiro-Wilk (Para los volúmenes de zooplancton)

data: sample(log10(datos\$zoo_v[datos\$zoo_v != 0]))

W = 0.99404, p-value = 0.0007301

D. Prueba de Kruskal Wallis para comprobar diferencias significativas de volúmenes de fitoplancton respecto a la estación del año (evalúa igualdad de medianas: opción 1)

```
> kruskal.test(datos$fito_v~datos$season,data=datos[datos$fito_v!=0,])
```

Kruskal-Wallis rank sum test

data: datos\$fito_v by datos\$season

Kruskal-Wallis chi-squared = 38.577, df = 2, p-value = 4.199e-09

E. Prueba de Kruskal Wallis para comprobar diferencias significativas de volúmenes de zooplancton respecto a la estación del año

```
> kruskal.test(datos$zoo_v~datos$season,data=datos[datos$zoo_v!=0,])
```

Kruskal-Wallis rank sum test

data: datos\$zoo_v by datos\$season

Kruskal-Wallis chi-squared = 55.59, df = 2, **p-value = 8.488e-13**

F. Prueba de Kolmogorov Smirnov para comprobar diferencias significativas de volúmenes de fitoplancton de verano e invierno (evalúa igualdad de medianas: opción 2)

```
> x=verano$fito_v
> y=invierno$fito_v
> test.ks=ks.test(x,y)
> test.ks
```

Two-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: x and y

D = 0.24936, **p-value = 2.477e-09**

alternative hypothesis: two-sided

G. Prueba de Kolmogorov Smirnov para comprobar diferencias significativas de volúmenes de fitoplancton de verano y primavera

```
> x=verano$fito_v
> y=primavera$fito_v
> test.ks=ks.test(x,y)
> test.ks
```

Two-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: x and y

D = 0.16387, **p-value = 0.000939**

alternative hypothesis: two-sided

H. Prueba de Kolmogorov Smirnov para comprobar diferencias significativas de volúmenes de zooplancton de verano e invierno

```
> x=verano$zoo_v
> y=invierno$zoo_v
> test.ks=ks.test(x,y)
> test.ks
```

Two-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: x and y

D = 0.086144, p-value = 0.1729

alternative hypothesis: two-sided

I. Prueba de Kolmogorov Smirnov para comprobar diferencias significativas de volúmenes de zooplancton de verano y primavera

```
> x=verano$zoo_v
```

```
> y=primavera$zoo_v
```

```
> test.ks=ks.test(x,y)
```

```
> test.ks
```

Two-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: x and y

D = 0.32113, **p-value = 3.306e-13**

alternative hypothesis: two-sided

VIII. DISCUSIÓN

Los volúmenes promedio encontrados para los veranos e inviernos del 2014 y 2015, coinciden con lo estudiado por Sánchez *et al*, 2000; al registrar valores menores a 1 mL.m⁻³ en períodos El Niño (invierno 2014, verano e invierno 2015), sin llegar a volúmenes mayores a 3 mL.m⁻³ en períodos La Niña (verano 2014).

Los volúmenes máximos de plancton se presentaron en la primavera del año 2010 similar a su comportamiento a inicios de la primavera de 1997 cuando se determinó un incremento, alcanzando un valor de 1.44 mL.m⁻³. (Ochoa *et al.*, 2000)

Ochoa concluyó que los periodos fríos favorecían la biomasa fitoplanctónica al igual que en los periodos de invierno del presente trabajo. Sin embargo, en el segundo semestre del 2010 pese a ser periodo La Niña, se dio una composición con especies termófilas y los altos volúmenes de zooplancton implicarían un pastoreo efectivo sobre el fitoplancton.

En años como el 2012 y 2013 con evento La Niña, fueron evidentes el mayor número de especies de diatomeas; mientras que en periodos cálidos como el 2014 y el 2015 hubo disminución de estas aunque con algunas especies de abundancias relativas considerables como cierto rezago del evento La Niña 2013. Asimismo, en los periodos cálidos (verano-invierno del 2012 y verano 2015), fue evidente el aumento de número de dinoflagelados productores de floraciones algales inocuas como *Akashiwo sanguinea*, *Prorocentrum micans*, *Noctiluca scintillans*, *Protoperdinium depressum*, *Ceratium fusus*, *Procentrum gracile* y *Ceratium dens*. La presencia de diatomeas oceánicas sería indicio de aproximación de Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) hacia la costa. Asimismo, se dio una marea roja producida por el ciliado fotosintetizador *Messodinium rubrum* en el verano del 2014.

Al igual que el estudio de Gerten & Adrian, 2002 sobre masas de agua dulce, como los lagos del hemisferio norte entre los periodos finales de 1980 e inicios de 1990, los resultados de esta investigación infieren que el proceso continuo de calentamiento

climático contribuye sustancialmente a los cambios en las propiedades térmicas de los ecosistemas.

La composición de especies encontrada en esta investigación, coincide con los patrones globales de diversidad estudiados por Malviyaa. *Et al* en 2016, donde los géneros *Pseudonitzchia*, *Chatoceros* y *Thalassiosira* fueron clasificados como los más abundantes y dentro de los menos abundantes se encuentra el genero *Planktoniela*, registrado también en este estudio. La investigación de Malviyaa *Et al*. Confirma el predominio de las diatomeas como un grupo fotosintético importante a nivel global, esto contribuye con la proliferación de biomasa de zooplancton y por ende del equilibrio de las cadenas tróficas marinas.

IX. CONCLUSIONES

- Los volúmenes máximos de plancton se presentaron principalmente en la primavera 2010, característico de los florecimientos primaverales del fitoplancton; y en el verano del 2014; mientras que el mínimo coincidió con el verano 2015, período considerado como evento El Niño.
- En períodos fríos del año 2011, verano y primavera del 2012, 2013 y verano-otoño 2014 se dio un mayor número de especies de diatomeas de fases iniciales e intermedias, principalmente en las primaveras e inviernos.
- Se presentaron en el segundo semestre del año 2010, especies termófilas con altos volúmenes de zooplancton lo que implicaría un pastoreo efectivo sobre el fitoplancton en dicho período.
- Se dio un incremento de especies productoras de floraciones algales nocivas (FAN) en períodos cálidos como el verano 2015.

X. REFERENCIAS CITADAS

1. Capotondi A., Wittenberg AT., Newman M., Di Lorenzo E., Yu J-Y., Braconnot P. 2015 Understanding ENSO diversity. *Bull Am Meteorol Soc.*; 96: 921–938.
2. Chávez F. P., Ryan J., Lluch-Cota S. E., & Ñiquen M. 2003. From anchovies to sardines and back: multidecadal change in the Pacific Ocean. *Science*, 299(604), 217-221.
3. Conde C. & Saldaña S. 2007. Cambio climático en América Latina y el Caribe: Impacto, vulnerabilidad y adaptación. *Revista Ambiente y Desarrollo Santiago de Chile*; 23 (2): 23 – 30.
4. Collins M., An S., Cai W., Ganachaud A., Guilyardi E., Jin F., Jochum M., Lengaigne M., Power S., Timmermann A., Vecchi G. & Wittenberg A. 2010. The impact of global warming on the tropical Pacific Ocean and El Niño. *Nature Geoscience* 3, 391–397.
5. Delgado E., Sánchez S., Chang F., Villanueva P. & Fernández C. 1998. El fitoplancton frente a la costa peruana durante El Niño 1997-98. *Instituto del Mar del Perú. Bol. IMARPE*;18.
6. Espinoza P. & Bertrand A. 2008. Revisiting Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) trophodynamic provides a new vision of the Humboldt Current System. *Progress in Oceanography* 79, 215–227.
7. Falkowski, P.G., Barber, R.T. & Smetacek, V. 1998. Biogeochemical controls and feedbacks on ocean primary production. *Science*, 281, 200–206.
8. Fulton, J. & Le Brasseur, R. 1984. Euphausiids of the continental shelf and slope of the Pacific coast of Canada. *Sla Mer* 22, 182-190.
9. Gerten D. & Adrian R. 2002. Effects of Climate Warming, North Atlantic Oscillation, and El Niño-Southern Oscillation on Thermal Conditions and Plankton Dynamics in Northern Hemispheric Lakes. *The Scientific World JOURNAL* 2: 586-606, ISSN 1537-744X; DOI 10.1100/tsw.2002.141
10. IPCC, 2014. Climate change 2014: synthesis report. Available from: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
11. Jacox MG, Hazen EL, Zaba KD, Rudnick DL, Edwards CA, Moore AM, et al. 2016. Impacts of the 2015–2016 El Niño on the California Current System: Early

- assessment and comparison to past events: 2015– 2016 El Niño Impact in the CCS. *Geophys Res Lett* 43, 7072–7080.
12. Jeppesen, E., Mehner, T., Winfield, I.J., Kangur, K., Sarvala, J., Gerdeaux, D., Rask, M., Malmquist, H.J., Holmgren, K., Volta, P., Romo, S., Eckmann, R., Sandström, A., Blanco, S., Kangur, A., Stabo, H.R., Tarvainen, M., Ventelä, A., Søndergaard, M., Lauridsen, T.L. & Meerhoff, M. 2012. Impacts of climate warming on the long term dynamics of key fish species in 24 European lakes. *Hydrobiologia* 694, 1-39.
 13. Kosten, S., Huszar, V. L., Bécares, E., Costa, L.S., Donk, E., Hansson, L.A., Jeppesen, E., Kruk, C., Lacerot, G., Mazzeo, N., Meester, L., Moss, B., Lürling, M., Nöges, T., Romo, S. & Scheffer, M. 2012. Warmer climates boost cyanobacterial dominance in shallow lakes. *Global Change Biology*; 18 (1): 118-126.
 14. Paerl, H.W., Huisman, J., 2008. Blooms like it hot. *Science*, 320 (5872): 57-58.
 15. Parry M., Caziani O., Palutikov J., Van der Linden P. & Hanson C. 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 581-615.
 16. Ochoa N., Gómez O., Sánchez S., Delgado E. 2000. Diversidad de diatomeas y dinoflagelados marinos del Perú. *Bol. IMARPE*;18 (1-2):1-14.
 17. Paerl H. & Huisman J. 2008. Blooms like it hot. *Science* 320pp..
 18. Palomares-García, R. & J. Gómez-Gutiérrez. 1996. Copepod community structure at Bahía Magdalena, Mexico during El Niño 1983-1984. *Est. Coast. Shelf Sci*; 43: 583-595.
 19. Fiedler P.C. 2002. Environmental change in the eastern tropical Pacific Ocean: Review of ENSO and decadal variability. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 244: 265–283
 20. Rojas de Mendiola B. 1981. Seasonal phytoplankton distribution along the Peruvian Coast. *Coastal Upwelling. Coastal and Estuarine Sciences*. Vol 1. 348 – 356.
 21. Sánchez S. 2000. Variación estacional e interanual de la biomasa fitoplanctonica y concentraciones de clorofila A, frente a la costa peruana durante 1976 – 2000. *Bol. Inst. Mar Perú*, 19 (1-2): 29-43.
 22. Sánchez S. & Delgado E. En prensa. Variación estacional e interanual de los volúmenes de fitoplancton en el ecosistema de afloramiento peruano 1975 – 2009. *Laboratorio de Fitoplancton y Producción Primaria. IMARPE. Bol. IMARPE*;18.

23. Tovar C., Sanchez Infantas E. & Teixeira Roth V. 2018. Plant community dynamics of lomas fog oasis of Central Peru after the extreme precipitation caused by the 1997-98 El Niño event. PLoS ONE; 13(1): e0190572.
24. Thröndsen J. 1978. Preservation and storage. En: A. Sournia (Ed.) Phytoplankton manual. UNESCO, París: 69 – 74
25. Walther, G. R., Roques, A., Hulme, P. E., Sykes, M. T., Pyšek, P., Kühn, I., Zobel, M., Bancher, S., Botta-Dukát, Z., Bugmann, H., Czúcz, B., Dauber, J., Hickler, T., Jarošík, V., Kenis, M., Klotz, S., Minchin, D., Moora, M. & Settele, J. 2009. Alien species in a warmer world: risks and opportunities. Trends in ecology & evolution; 24 (12), 686-693.
26. Yáñez-Arancibia A., Twilley R. R. & Lara-Domínguez A. L. 1998. Los ecosistemas de manglar frente al cambio climático global. Madera y Bosques; 4(2), 3-19.
27. Zuta S. & Guillén O. 1970. Oceanografía de las aguas costeras del Perú. Bol. Inst. Mar; 2(5): 157-324.

