

COMPONENTES DE LA SERIE DE TIEMPO DEL FITOPLANCTON DE LA FOSA DE CARIACO, VENEZUELA

VALERIO- GONZÁLEZ, LORELYS^{1*}; LÓPEZ- MONROY, FABIOLA¹ & TROCCOLI- GHINAGLIA, LUIS²

¹*Escuela de Ciencias Aplicadas del Mar. Universidad de Oriente, Nueva Esparta. Venezuela.*

^{*}*Autor de correspondencia: lorelysvalerio@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0001-9645-2762>.
fametal@gmail.com; <http://orcid.org/0000-003-06553186>*

²*Instituto de Investigaciones Científicas. Universidad de Oriente, Nueva Esparta. Venezuela.
luis.troccoli@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0001-8684-67841>*

RESUMEN: La trama trófica en el ambiente acuático depende de la abundancia del fitoplancton. En ese sentido, la disminución de esa comunidad a largo plazo puede afectar la abundancia y diversidad de otros organismos marinos. El objetivo de esta investigación fue analizar los componentes de la serie de tiempo del fitoplancton en la fosa de Cariaco. Para ello, fue utilizada la base de datos del Proyecto Cariaco, considerando la abundancia total de fitoplancton de la columna integrada hasta 55 m desde enero de 1996 hasta diciembre del 2016. Los componentes de tendencia + ciclo, estacionalidad y aleatoriedad de la serie de tiempo, fueron extraídos utilizando un modelo multiplicativo. Como resultado, se estimó una tendencia lineal, decreciente de la abundancia del fitoplancton durante los 20 años de muestreos en la fosa de Cariaco. La estacionalidad mostró un patrón de alternancia estacional bimodal, relacionado a la surgencia costera y relajación. El componente ciclo permitió identificar siete ciclos desde 1996 hasta 2016. Estos cambios, probablemente se deban a disminución de la velocidad del viento y la surgencia costera, además del aumento de la temperatura superficial del agua. En general, el comportamiento de la serie de tiempo puede utilizarse como una referencia comparativa en la región.

Palabras claves: series de tiempo, variabilidad fitoplanctónica, estación Cariaco, productividad primaria.

ABSTRACT: Long-term declines in phytoplankton can affect the abundance and diversity of other marine organisms. The objective of this research was to analyze the components of the phytoplankton time series in the Cariaco trench. The database of the Cariaco project was used, considering the total abundance of phytoplankton of the integrated column up to 55 m from January 1996 to December 2016. The cycle trend, seasonality, and randomness components of the time series were extracted using a multiplicative model. A decreasing linear, trend of phytoplankton abundance was estimated during the 20 years of sampling in the Cariaco trench. Seasonality showed a pattern of seasonal alternation, related to upwelling and relaxation. The cycle component made it possible to identify seven cycles from 1996 to 2016. These observed changes are probably due to decreases in wind speed and coastal upwelling, and to the increase in the surface temperature of the water. In general, the behavior of the time series can be used as a comparative reference in the region.

Key words: time series, phytoplanktonic variability, Cariaco station, primary productivity.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas marinos están experimentando cambios en respuesta a los procesos naturales, las actividades humanas y el cambio climático. Estos cambios están alterando casi todas las propiedades químicas, físicas y biológicas que afectan el crecimiento de los microorganismos marinos, incluyendo al fitoplancton (HUTCHINS & FU 2017). De ahí, la importancia de realizar estudios que puedan ayudar a pronosticar esos cambios en los ecosistemas y planificar la gestión sostenible de los océanos.

En este sentido, los muestreos a largo plazo sirven para documentar esos cambios cíclicos o transitorios en los ecosistemas (TAYLOR *et al.* 2012; BENWAY *et al.* 2019). Es por ello, que las series de tiempo se describen como colecciones de observaciones sobre un determinado fenómeno, que utilizan diferentes escalas de tiempo, cantidad de variables, áreas y métodos de muestreo para predecir cambios de orden regional o global (BOERO *et al.* 2015; KÄSE & GEUE 2018).

En general, las series de tiempo presentan una o varias características denominadas componentes, los cuales permiten analizar, modelar y predecir el comportamiento de una variable (KRISPIN 2019). Los componentes representan la tendencia, que es la dirección general de la serie, la cual puede ser creciente, decreciente o constante; la estacionalidad, que define el patrón que se repite cada cierto período; el ciclo que representa las fluctuaciones que ocurren alrededor de la tendencia y que puede durar varios períodos. Otro componente es la variación aleatoria, definida como la parte de la serie que no se puede explicar por los otros componentes, y que se debe a factores impredecibles o aleatorios (PAL & PRAKASH 2017; SHUMWAY & STOFFER 2017).

Al descomponer una serie en sus componentes, se identifican las fuentes de variación y los patrones. Además, en caso de realizar modelaje, posibilita elegir el modelo más adecuado para cada componente y estimar los parámetros que lo caracterizan. De este modo, las predicciones son más precisas y confiables (SHUMWAY & STOFFER 2017).

A nivel mundial, se han documentado importantes cambios en los ecosistemas marinos, asociados con ciclos climáticos bien conocidos de escala interanual a decadal, tal como fue reportado en series de tiempo en el Mar Adriático, las cuales mostraron modificaciones significativas en las condiciones ambientales y la estructura trófica (GIANI *et al.* 2012). Tales cambios, probablemente, ocurran debido al proceso de eutrofización gradual durante el período 1970- 1980, seguido de un proceso de oligotrofización en el período 2000-2007, los cuales llamaron la atención debido a los posibles efectos en la variabilidad del fitoplancton y productividad pesquera (CERINO *et al.* 2019).

En el caso del fitoplancton; sirve como una herramienta que permite comprender su dinámica, que se logra a través de la evaluación del estado actual y el análisis de las tendencias temporales (INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO 2006; IRWIN *et al.* 2015; WANG *et al.* 2020). Debido a que el fitoplancton es diverso y exhibe cambios en su estructura en una amplia gama de tiempos y escalas espaciales (MUTSHINDA *et al.* 2013), representa el 1% de la biomasa fotosintética de la tierra y es responsable de casi el 50% de la producción primaria neta global (CERINO *et al.* 2019). Además, por su capacidad de fijar carbono, tiene influencia directa sobre los ciclos biogeoquímicos a través de los gases que se difunden en la interfase atmósfera-océano y es el sustento de más del 95% de las cadenas alimentarias marinas, por lo que la disminución a largo plazo en su biomasa y producción puede afectar la abundancia y diversidad de otros organismos marinos (WINDER & CLOERN 2010; HUTCHINS & FU 2017).

La fosa de Cariaco se ha utilizado como un laboratorio natural, ya que es un ecosistema único en las costas caribeñas (MULLER-KARGER *et al.* 2019), ubicada en la plataforma continental de Venezuela. Es una cuenca anóxica natural y ha mostrado una marcada variación estacional e interanual en las propiedades hidrográficas. En ella, se estableció la estación Cariaco entre 1995- 2017, la cual es considerada una de las pocas estaciones oceánicas costeras del mundo que ha sido muestreada con una frecuencia mensual durante más de una década. La estación recopiló datos de hidrografía, meteorología, química de nutrientes y carbonatos, fitoplancton, producción primaria, flujo de hundimiento de material particulado y otras observaciones biogeoquímicas (ASTOR *et al.* 2013).

Considerando lo anterior, el objetivo de esta investigación fue analizar los componentes de la serie de tiempo del fitoplancton en la fosa de Cariaco durante el periodo 1997- 2016 y para ello, fue planteada como hipótesis, que la serie de tiempo Cariaco presenta una tendencia a la disminución y se pueden identificar patrones estacionales y cíclicos en la misma.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

La fosa de Cariaco es una depresión en la plataforma continental de Venezuela con dos subcuencas de aproximadamente 1.400 m de profundidad (MULLER-KARGER *et al.* 2005). Está formada por dos

depresiones, la Oriental donde se encuentra la estación del proyecto CARIACO ($10^{\circ}30' N$ y $64^{\circ}40' W$) entre cabo Codera y la península de Araya (Fig. 1). La fosa está dominada por afloramientos estacionales, impulsados por variaciones de los vientos alisios (DAVIS *et al.* 2020), los cuales provocan surgencia costera estacional de mayor intensidad en los meses febrero-marzo y ocasionalmente, en junio-julio durante los cuales, las aguas ricas en nutrientes estimulan una alta productividad biológica (RUEDA-ROA & MULLER-KARGER 2013). Por otro lado, en periodos de vientos débiles y temporada de lluvias la entrada de los ríos regionales, pueden cambiar la intensidad de los afloramientos (LORENZONI *et al.* 2014).

Procedencia de los datos

La información utilizada para realizar esta investigación corresponde a la base de datos del Proyecto Cariaco. Detalles de la toma de muestras y el control de calidad de los datos están disponibles en el manual operacional de campo (ASTOR *et al.* 2011) y en MUTSHINDA *et al.* (2013). Para efectos de este estudio, fueron considerados los datos de la abundancia total de fitoplancton de la columna integrada hasta 55 m (1, 7, 15, 25, 35 y 55 m), desde enero de 1996 hasta diciembre del 2016.

Procesamiento de los datos

Debido a la gran variabilidad en la varianza, fue realizada una transformación de los datos con $\log_{10}(x+1)$. Donde x representa la abundancia total del fitoplancton.

Descomposición de la serie de tiempo

Para extraer los componentes de tendencia+ ciclo, estacionalidad y aleatoriedad de la serie de tiempo, fue utilizado un modelo multiplicativo (KRISPIN 2019). Los componentes tendencia y ciclos, fueron separados aplicando el filtro de Christiano-Fitzgerald (CHRISTIANO & FITZGERALD 1999; NILSSON

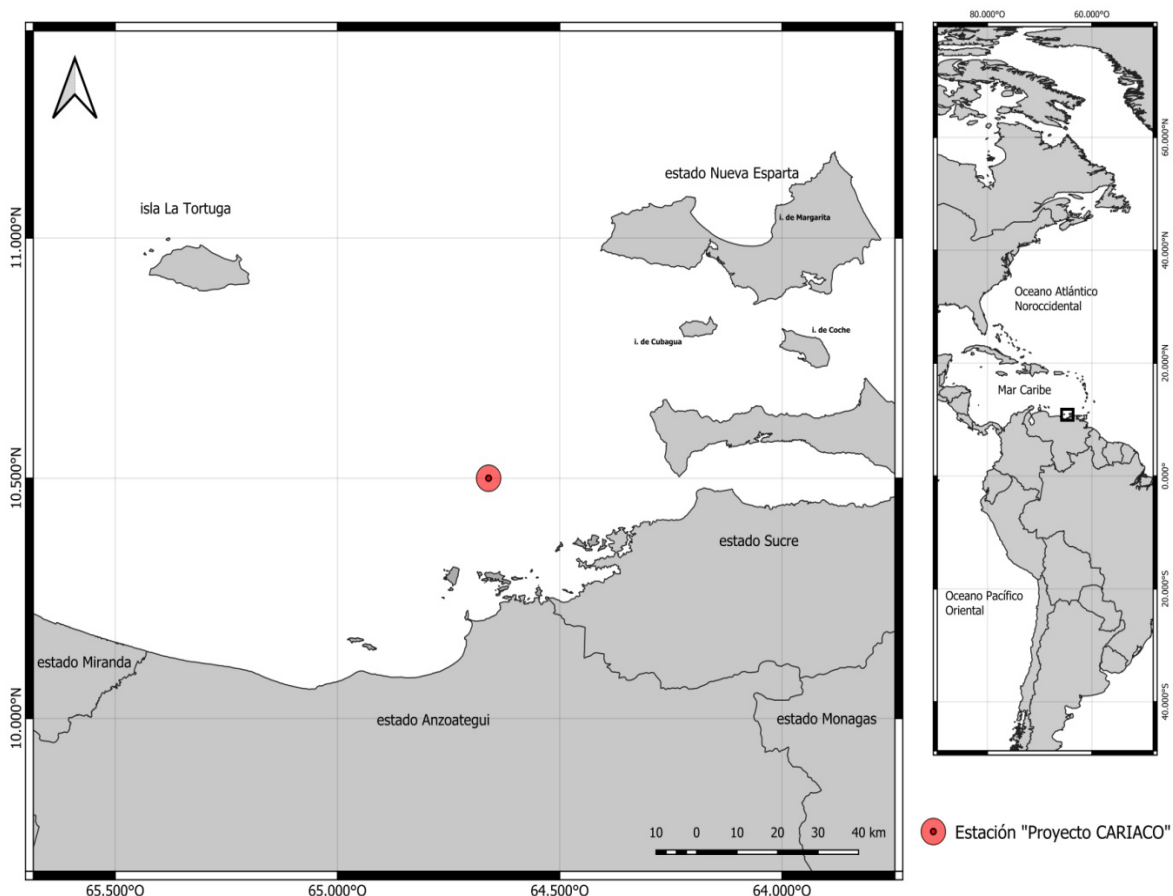


Fig. 1. Área de estudio. Costa Nororiental de Venezuela. El punto rojo indica la ubicación de la estación Cariaco.

& GYOMAI 2011). Adicionalmente, fue aplicada una prueba de Kruskal-Wallis (H) para probar si los ciclos identificados de manera gráfica eran diferentes. Los análisis fueron realizados utilizando el programa R y R studio.

RESULTADOS

A partir de los datos obtenidos en la serie de tiempo Cariaco, se estimó durante el periodo de estudio una tendencia lineal, decreciente de la abundancia del fitoplancton durante los 20 años de muestreos (Fig. 2). Aunque este análisis a escala temporal del fitoplancton mostró cambios, no se puede determinar si estos cambios podrían ser parte del comportamiento típico de la región o impulsados por efectos antropogénicos.

El componente estacionalidad mostró un patrón de alternancia estacional, relacionado al fenómeno de surgencia costera de la zona y a la relajación, con un máximo valor en febrero y un mínimo en agosto. Además, el patrón mostró una surgencia secundaria entre julio- octubre (Fig. 3).

Debido a que se usó un modelo multiplicativo para extraer los componentes de la serie de tiempo, una manera de visualizar los momentos en los cuales la estacionalidad tiene mayor influencia en la abundancia del fitoplancton, es multiplicar la tendencia (en forma de media móvil) por la estacionalidad. Con base en esto, en la serie de tiempo Cariaco se observó que el patrón estacional fue más influyente hasta 2005 (Fig. 4). A partir de 2006, se notó una influencia menor de la estacionalidad en la abundancia total de fitoplancton.

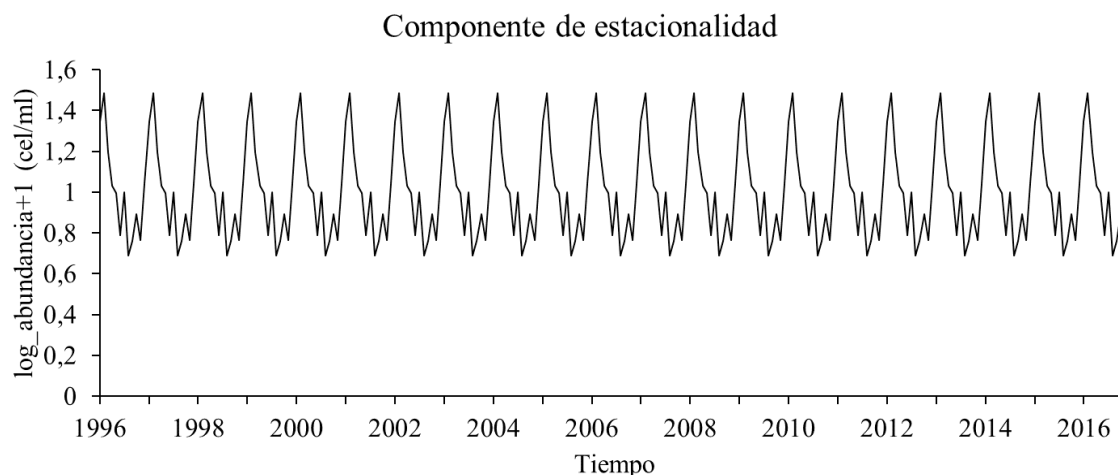


Fig. 3. Estacionalidad de la serie de tiempo Cariaco desde 1996 hasta 2016 con respecto a la abundancia fitoplanctónica.

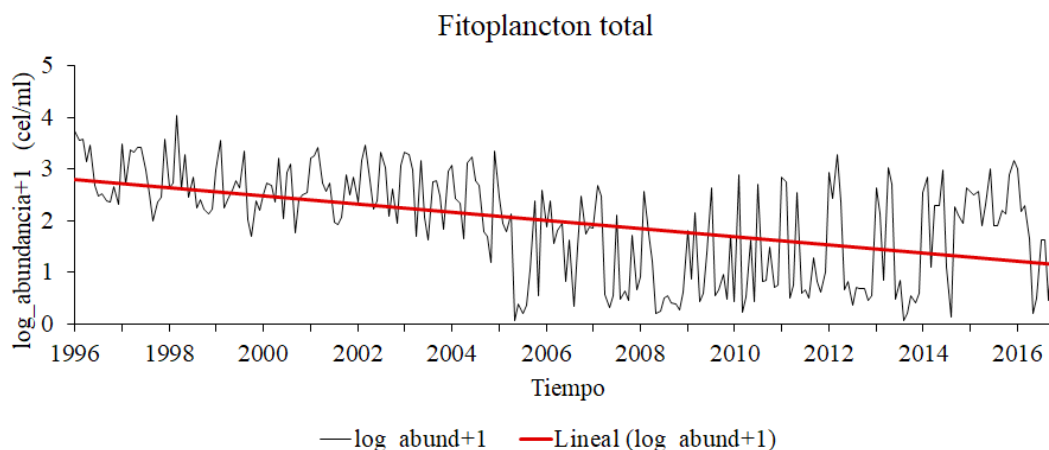


Fig. 2. Tendencia lineal de la abundancia fitoplanctónica desde 1996 hasta 2016 en la fosa de Cariaco.

Con relación al componente cíclico, fueron identificados siete ciclos desde 1996 hasta 2016 durante la serie de tiempo. El primer ciclo correspondió a enero 1996- febrero 2000 con un descenso claramente observable (Fig. 5). El segundo ciclo es ascendente, con influencia sobre el periodo marzo 2000- mayo 2005. Seguidamente entre junio 2005- junio 2006 fue determinado el tercer ciclo, periodo en el que se observó el mínimo valor de la serie de tiempo con una abundancia fitoplanctónica menor a 50 cél. l⁻¹. El cuarto ciclo, fue decreciente y correspondió a julio-2006- julio 2008. En el quinto ciclo no existe una tendencia e incluye el periodo de agosto 2008- noviembre 2010. El sexto ciclo, muestra una tendencia a disminuir y fue identificado entre diciembre 2010- julio 2013. Por último, el séptimo ciclo inició en agosto 2013- diciembre 2016, en un principio se comportó ascendentemente, y luego sufrió un declive.

La prueba de Kruskal-Wallis aplicada indicó que existen diferencias en al menos una de las medianas de los ciclos ($H= 95.6581$; $p < 0,05$). Al observar el correspondiente gráfico de caja y bigotes, se aprecia una distribución de los datos de abundancia fitoplanctónica similar en los ciclos 1 y 2 y en los ciclos 3, 4, 5 y 6 (Fig. 6). Al respecto es importante señalar que, en el caso del análisis de los ciclos en la zona, no solo debe considerarse la agrupación relacionada a una medida de tendencia central como la mediana, también es necesario tener en cuenta los cambios de tendencia que ocurren entre ciclos.

El componente aleatorio, como en toda serie, representa la variabilidad que no puede atribuirse a ningún proceso en particular. En el caso de Cariaco, este es un reflejo de lo activa y rápida que es la dinámica del fitoplancton (Fig. 7).

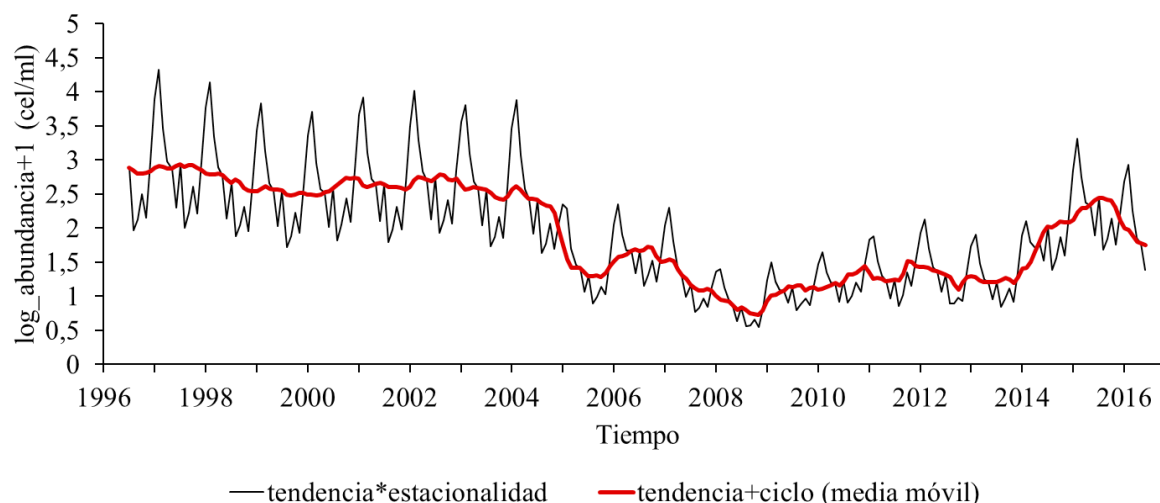


Fig. 4. Influencia de la estacionalidad en la abundancia del fitoplancton de la serie de tiempo Cariaco.

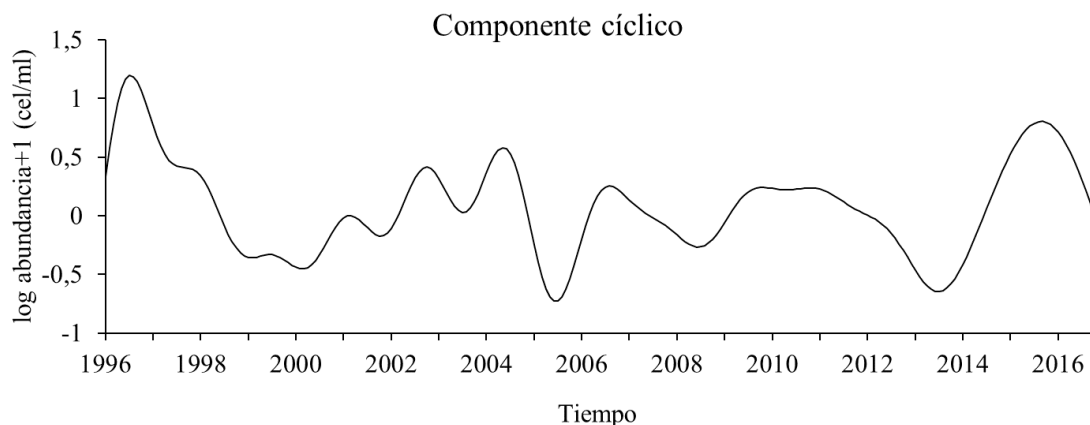


Fig. 5. Componente cíclico de la serie de tiempo Cariaco desde 1996 hasta 2016 con respecto a la abundancia fitoplanctónica.

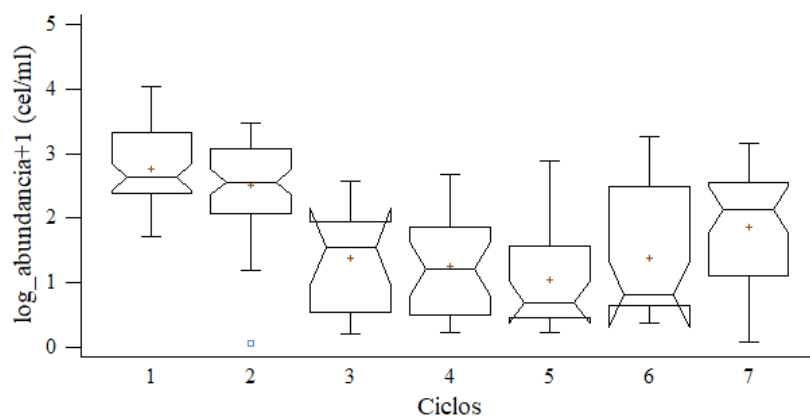


Fig. 6. Distribución de los ciclos de la serie de tiempo Cariaco desde 1996 hasta 2016 con respecto a la abundancia fitoplanctónica.

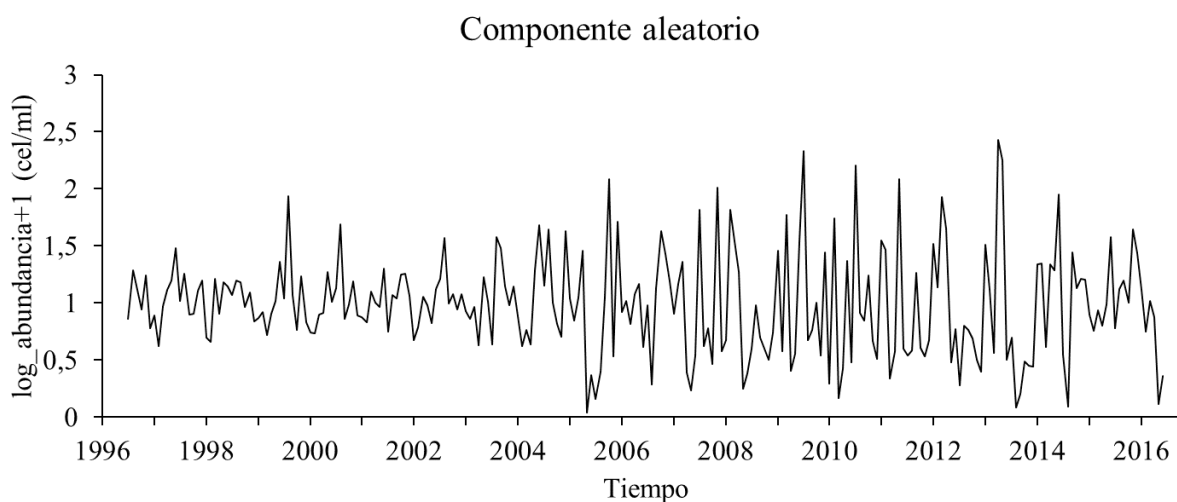


Fig. 7. Componente aleatorio de la serie de tiempo Cariaco desde 1996 hasta 2016 con respecto a la abundancia fitoplanctónica.

DISCUSIÓN

Las series temporales son importantes para comprender los cambios que ocurren en los océanos, las respuestas que estos causan sobre la productividad primaria y a su vez, determinan la producción pesquera. La serie de tiempo Cariaco mostró una tendencia de declive en la abundancia del fitoplancton durante los 20 años de estudios y probablemente es debido a varios factores, entre ellos la disminución de la velocidad del viento, la surgencia costera y aumento de la temperatura superficial del agua (RUEDA-ROA & MULLER-KARGER 2013).

En la región nororiental del país, la velocidad de los vientos alisios mostró una tendencia a cambios en la direccionalidad y a la disminución (JURY 2018). Estos cambios provocaron una desaceleración de la surgencia, lo que imposibilitó que aguas subsuperficiales ascendieran hasta la superficie, causando poca fertilidad de las aguas y afectando la productividad fitoplanctónica. En la fosa de Cariaco, es muy probable que las limitaciones en el suministro de nutrientes de las aguas superficiales, sea la causa de la disminución de la productividad (TAYLOR *et al.* 2012; MÁRQUEZ 2015).

De acuerdo a lo indicado por TAYLOR *et al.* (2012), la velocidad del viento influyó sobre la intensidad de la surgencia, debido a que vientos débiles durante el periodo de surgencia, soportan afloramientos de aguas someras, de mayor temperatura que afectan negativamente este fenómeno. Por otro lado, los

análisis de RUEDA-ROA & MULLER-KARGER (2013) sustentan que en el Caribe, los vientos se diferencian en dos regímenes de escala decenal, uno formado por fuertes vientos (1996-2003) y el otro de vientos débiles (2004-2010), esto quizás explica la tendencia de disminución del fitoplancton en este estudio, porque los cambios en los vientos, inciden directamente sobre la surgencia y esta a su vez, en la productividad primaria.

La fosa de Cariaco mostró marcada estacionalidad, con alternancia entre el periodo de surgencia y relajación. Esta estacionalidad incide en la producción primaria, que también muestra un ciclo temporal evidente por la intensidad y frecuencia de pulsos, en respuesta a la migración anual hacia el sur de la ZCIT (TAYLOR *et al.* 2012; RUEDA-ROA & MULLER-KARGER 2013).

Con base en un estudio de imágenes satélites de la temperatura superficial en el Caribe, se refuerza lo anterior, debido a que se registraron focos de surgencia en Cariaco. A través de ello, se identificó un enfriamiento primario (surgencia principal). Luego, se registró aumento de la temperatura a partir de mayo, con un segundo enfriamiento entre junio-agosto. Finalmente, se reportó un periodo de relajación, con altos valores de temperatura en el periodo septiembre octubre (RUEDA-ROA & MULLER-KARGER 2013).

A escala global, se han reportado cambios interanuales en la abundancia del fitoplancton (BELTRAN 2019). Para el presente estudio, se definieron siete ciclos que señalan los cambios de la abundancia fitoplanctónica durante esta serie de tiempo. Además, el componente cíclico evidenció esos aumentos en la columna de agua integrada, la cual mostró una marcada estacionalidad, influenciada probablemente por variaciones en la velocidad de los vientos, surgencia y temperatura. Aún cuando fueron observados cambios importantes, que permitieron distinguir gráficamente varios ciclos, queda la incertidumbre de si estos ciclos forman parte de otro más prolongado, debido a que todavía se considera que la serie de tiempo Cariaco es corta, para establecer evidencias definitivas de si la tendencia es única y en un sólo sentido.

Análisis previos a esta investigación, señalaron dos periodos a escala decenal de la velocidad del viento en Cariaco (MULLER-KARGER *et al.* 2001), un primer periodo (1996-2000) con afloramiento estacional regular, impulsado por fuertes vientos alisios (4 a 6 m/s^{-1}) y un segundo periodo (2000-2010) influenciado por vientos alisios débiles ($<4 \text{ m/s}^{-1}$). Además, fue indicado aumentos de la diversidad del fitoplancton, especialmente la de organismos fitoplanctónicos de grupos taxonómicos pequeños a partir del 2010 (TAYLOR *et al.* 2012).

Por su parte, ASTOR *et al.* (2013) describieron que la abundancia fitoplanctónica superó las 200 cél. ml^{-1} entre 1996-1997, luego la cuantificación fue de 100 cél. ml^{-1} aproximadamente entre 1998- 2004. A partir del 2005, observaron una disminución drástica del fitoplancton, al punto de registrar valores por debajo de las 50 cél. ml^{-1} con excepción del año 2007 y 2012 que tendieron al aumento.

Al comparar esta serie de tiempo con otras, se puede destacar que los cambios presentados dependen de los factores ambientales que inciden en cada región. En el mar Adriático, en los últimos años (1986-2010) fueron registrados dos cambios de regímenes que afectaron la concentración de clorofila *a* y abundancia del fitoplancton, uno en 1995 con una disminución de la abundancia y otro en el 2009 con un aumento muy breve y los años posteriores (2010-2017), la tendencia fue al aumento (CABRINI *et al.* 2012). Sin embargo, en costas mexicanas, el promedio de la producción primaria entre 1998-2006 fue alto, observando la mayor productividad durante los años 1999 y 2000, con tendencia a disminuir hasta 2002 y luego un ligero incremento en 2003 (BELTRAN 2019). En general, el comportamiento de diferentes series de tiempo puede utilizarse como una referencia comparativa en las regiones con determinadas condiciones hidrográficas (BELTRAN 2019).

Los resultados de la serie Cariaco, han servido para la calibración y validación de los satélites Seawif y Modis, que reflejan los cambios en las variables estudiadas, en especial temperatura y clorofila *a* (ASTOR *et al.* 2017).

Por último, se ha señalado que las fluctuaciones en el régimen de surgencia del Caribe, dependen del debilitamiento de los *eddies* que se forman al norte de Venezuela, y que no son de origen eólico (MULLER-KARGER *et al.* 2019; HUANG *et al.* 2023).

CONCLUSIONES

La serie de tiempo Cariaco tiene una tendencia lineal, decreciente de la abundancia del fitoplancton durante los 20 años de muestreos, con un patrón de alternancia estacional, relacionada al fenómeno de surgencia costera y a la relajación. Fueron identificados siete ciclos con el componente cíclico, desde 1996 hasta 2016.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos al proyecto Cariaco, debido a que esta investigación se llevó a cabo gracias a los datos de esta serie de tiempo. Asimismo, a Pedro Rodríguez por la construcción de los mapas.

REFERENCIAS

- ASTOR, Y. M., L. LORENZONI & M. SCRANTON. 2011. *Manual de métodos para el análisis de parámetros oceanográficos en la estación serie de tiempo Cariaco*. Colección de cuadernos FLASA. N°12. Serie Ciencia y Tecnología. Fundación La Salle de Ciencias Naturales. 178 pp.
- ASTOR, Y. M., L. LORENZONI, R. THUNELL, R. VARELA, F. MULLER-KARGER & L. TROCCOLI. 2013. Interannual variability in sea surface temperature and CO₂ changes in the Cariaco Basin. *Depp Sea Res. Part II. Trop. Stud. Oceanogr.* 93: 33-43. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.01.002>.
- ASTOR, Y.M., L. GUZMÁN, L. TROCCOLI, F. LORENZONI, F. MULLER-KARGER & R. VARELA. 2017. Síntesis de las tendencias de los parámetros oceanográficos y ópticos en la estación serie de tiempo CARIACO (enero 1996 – diciembre 2013). *Mem. la Fund. la Salle Ciencias Nat.* 73(181-182): 81-101.
- BELTRAN, J. M. 2019. *Respuestas del fitoplancton a los efectos del calentamiento global observadas sobre el océano pacífico sudeste*. Trab. Grad. M. Sc. Ciencias en Manejo de Recursos Marinos, Instituto Politécnico Nacional Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, Mexico. 80 pp.
- BENWAY, H. M., L. LORENZONI, A. E. WHITE, B. FIEDLER, N. M. LEVINE, D. P. NICHOLSON, M. D. DEGRANDPRE, H. M. SOSIK, M. J. CHURCH, T. D. O'BRIEN, M. LEINEN, R. A. WELLER, D. M. KARL, S. A. HENSON & R. M. LETELIER. 2019. Ocean Time Series Observations of Changing Marine Ecosystems: An Era of Integration, Synthesis, and Societal Applications. *Front. Mar. Sci.* 6. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00393>.
- BOERO, F., A. C. KRABERG, G. KRAUSE & K. H. WILTSHIRE. 2015. Time is an affliction: Why ecology cannot be as predictive as physics and why it needs time series. *J. Sea Res.* 101: 12-18. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2014.07.008>.
- CABRINI, M., D. FORNASARO, G. COSSARINI, M. LIPIZER & D. VIRGILIO. 2012. Phytoplankton temporal changes in a coastal northern Adriatic site during the last 25 years. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 115: 113-124. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2012.07.007>.
- CERINO, F., D. FORNASARO, M. KRALJ, M. GIANI & M. CABRINI. 2019. Phytoplankton temporal dynamics in the coastal waters of the north-eastern Adriatic Sea (Mediterranean Sea) from 2010 to 2017. *Nat. Conserv.* 34: 343-372. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.34.30720>.
- CHRISTIANO, L. & T. FITZGERALD. 1999. *The Band Pass Filter*. National Bureau of Economic Research (NBER). 424 pp.

- DAVIS, C. V., J. S. FEHRENBACHER, C. BENITEZ-NELSON & R. C. THUNELL. 2020. Trace Element Heterogeneity Across Individual Planktic Foraminifera from the Modern Cariaco Basin. *J. Foraminifer. Res.* 50(2): 204-218. <https://doi.org/10.2113/gsjfr.50.2.204>.
- GANI, M., T. DJAKOVAC, D. DEGOBBIS, S. COZZI, C. SOLIDORO & S. F. UMANI. 2012. Recent changes in the marine ecosystems of the northern Adriatic Sea. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 115: 1-13.
- HUANG, M., X. LIANG, Y. YANG & Y. ZHANG. 2023. ENSO modulates mean currents and mesoscale eddies in the Caribbean Sea. *Geophys. Res. Lett.* 50(15): e2023GL103958.
- HUTCHINS, D.A. & F. FU. 2017. Microorganisms and ocean global change. *Nat. Microbiol.* 2(6): <https://doi.org/10.1038/nmicrobiol.2017.58>.
- INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO. 2006. *Informe final Investigación y monitoreo de toxinas marinas y fitoplancton nocivos en la X región*. IFOP, Santiago de Chile. 65 pp.
- IRWIN, A. J., Z. V FINKEL, F. E. MÜLLER-KARGER & L. TROCCOLI. 2015. Phytoplankton adapt to changing ocean environments. *PNAS* 112(18): 5762-5766. <https://doi.org/10.1073/pnas.1414752112>.
- JURY, M. R. 2018. climate variability Eastern Venezuela coastal upwelling in context of regional weather and climate variability. *Reg. Stud. Mar. Sci.* <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2017.10.010>.
- KÄSE, L. & J. GEUE. 2018. *Phytoplankton Responses to Marine Climate Change- En: An Introduction*. Eds H. S. Earp, N. Prinz, M. J. Cziesielski & M. Andskog. YOUMARES 8 – Oceans Across Boundaries: Learning from each other. 55-66.
- KRISPIN, R. 2019. *Hands-On Time Series Analysis with R : Perform Time Series Analysis and Forecasting Using R*. Packt Publishing, Limited, Birmingham. 438 pp.
- LORENZONI, L., R. VARELA, D. RUEDA, F. MULLER-KARGER, J. ROJAS, L. GUZMÁN & Y. ASTOR. 2014. Cambios espaciales y estacionales en la hidrografía y biogeoquímica de la región de la Fosa de Cariaco. *Mem. la Soc. Ciencias Nat. La Salle* 74(181-182): 103-124.
- MÁRQUEZ, A. 2015. *Dinámica de nutrientes y del sistema carbónico en la depresión oriental de la cuenca de Cariaco, Venezuela*. Trab. Grad. Doctoral Ciencias Marinas, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela. 194 pp.
- MULLER-KARGER, F., R. VARELA, R. THUNELL, M. SCRANTON, R. BOHRER, G. TAYLOR, J. CAPELO, Y. ASTOR, E. TAPPA, T. HO & J. J. WALSH. 2001. Annual cycle of primary production in the Cariaco Basin : Response to upwelling and implications for vertical export. *J. Geophys. Res.* 106(3): 4527-4542.
- MULLER-KARGER, F. E., R. VARELA, R. C. THUNELL, M. I. SCRANTON, G. T. TAYLOR, J. CAPELO, Y. ASTOR, E. TAPPA, J. AKL & T.-Y. HO. 2005. Características de la Fosa de Cariaco y su importancia desde el punto de vista oceanográfico. *Memorias la Fund. La Salle Ciencias Nat.* 161-162: 215-234.
- MULLER-KARGER, F. E., Y. M. ASTOR, C. R. BENITEZ-NELSON, K. N. BUCK, K. A. FANNING, L. LORENZONI, E. MONTES, D. T. RUEDA-ROA, M. I. SCRANTON, E. TAPPA, G. T. TAYLOR, R. C. THUNELL, L. TROCCOLI & R. VARELA. 2019. The Scientific Legacy of the CARIACO Ocean Time-Series Program. *Ann. Rev. Mar. Sci.* 11(1): 413-437.
- MUTSHINDA, C. M., L. TROCCOLI-GHINAGLIA, Z.V. FINKEL, F. MULLER- KARGER & A. J. IRWIN. 2013. Environmental control of the dominant phytoplankton in the Cariaco basin : a hierarchical Bayesian approach. *Mar. Biol. Research*: 9: 246-260.
- NILSSON, R. & G. GYOMAI. 2011. *Cycle extraction: a comparison of the phase-average trend method, the Hodrick-Prescott and Christiano-Fitzgerald filters*. OECD Statistics. 26 pp.

- PAL, A. & P. PRAKASH. 2017. *Practical time series analysis: master time series data processing, visualization, and modeling using python*. Packt Publishing Ltd, Birmingham, U.K. 226 pp.
- RUEDA-ROA, D. T. & F. E. MULLER-KARGER. 2013. The southern Caribbean upwelling system : Sea surface temperature , wind forcing and chlorophyll concentration patterns. *Deep. Res. Part I* 78: 102-114. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2013.04.008>.
- SHUMWAY, R. & D. STOFFER. 2017. *Time series analysis and its applications. With R Examples*. Springer International Publishing, New York. 562 pp.
- TAYLOR, G.T., F.E. MULLER-KARGER, R.C. THUNELL, M.I. SCRANTON, Y. ASTOR, R. VARELA, L.T. GHINAGLIA, L. LORENZONI, K.A. FANNING, S. HAMEED & O. DOHERTY. 2012. Ecosystem responses in the southern Caribbean Sea to global climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 109(47): 19315-19320. <https://doi.org/10.1073/pnas.1207514109>.
- WANG, R., X. LIU, J. WU, T. C. WAI, P. SHEN & P. K.S. LAM. 2020. Long-term variations of phytoplankton community in relations to environmental factors in Deep Bay, China, from 1994 to 2016. *Mar. Pollut. Bull.* 153(3):111010. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111010>.
- WINDER, M. & J. E. CLOERN. 2010. The annual cycles of phytoplankton biomass. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 365(1555): 3215-3226. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.015>.

RECIBIDO: NOVIEMBRE 2023

ACEPTADO: MAYO 2024