

NOTA CIENTÍFICA

Monterrey's sardine catch series analysis, *Sardinops sagax* in the Gulf of California, Mexico

Análisis de la serie de captura de sardina Monterrey, *Sardinops sagax* en el Golfo de California, México

Osvaldo Gutiérrez-Benítez^{1*}, Gabriela Galindo-Cortes², Enriqueta Velarde González² y David Salas Monreal²

Recibido: 22 de junio de 2018.

Aceptado: 20 de julio de 2019.

Publicado: agosto de 2019.

RESUMEN

Antecedentes: La sardina monterrey es un pez pelágico menor que sustenta la pesquería más importante en términos de volumen a nivel nacional. **Objetivos:** En este trabajo se analiza la evolución temporal histórica de la captura comercial de sardina Monterrey generada por la flota pesquera, que opera en el Golfo de California de 1969 a 2016 con la finalidad de identificar la tendencia y presencia de componentes armónicos en las capturas que se relacionen con la variabilidad ambiental del área de pesca. **Métodos:** A los datos de captura se les aplicó la transformada rápida de Fourier (TRF) para obtener las frecuencias dominantes y el método "Singular Spectrum Analysis" (SSA) para separar la tendencia de las capturas y los componentes armónicos. Cada componente armónico fue correlacionado con el Índice de Oscilación del Sur (IOS), Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) y Actividad Solar. **Resultados:** La TRF mostró frecuencias a 7 y 11 años. Con SSA se identificó una tendencia lineal creciente de 1969 a 2008 y decreciente de 2009 a 2016, así como dos componentes armónicos (7 años y 11 años, respectivamente). La tendencia y los dos componentes armónicos explican el 87.49% de la varianza total de la serie de captura. El primero y segundo componente armónico se correlacionaron positivamente con el IOS ($r = 0.2921$, $r = 0.3870$ respectivamente), mientras que el segundo componente armónico se correlacionó negativamente con la actividad solar ($r = -0.5313$). No se presentaron correlaciones con la ODP. **Conclusiones:** Las fluctuaciones en las capturas comerciales de sardina Monterrey en el Golfo de California son dadas principalmente por tres factores: Incremento en las capturas, la influencia de eventos de El Niño y la influencia externa de la actividad solar.

Palabras clave: componente armónico, *Sardinops sagax*, series de tiempo, variables oceanográficas

*Corresponding author:

Osvaldo Gutiérrez-Benítez: e-mail: ogutierrezbenitez@gmail.com

To cite as:

Gutiérrez-Benítez O., G. Galindo-Cortes, E. Velarde González y D. Salas Monreal. 2019. Monterrey's sardine catch series analysis, *Sardinops sagax* in the Gulf of California, Mexico. *Hidrobiológica* 29 (2): 83-87.

ABSTRACT

Background: The Pacific sardine is a small pelagic fish which supports the most important fishery at national scale. **Goals:** This paper analyzes the catch information generated by the commercial fleet operating in the Gulf of California from 1969 to 2016 in order to identify the catch trends and the presence of the harmonic components that is related to environmental variability. **Methods:** Fast Fourier Transformation (FFT) was applied to the time series in order to establish the dominant frequencies. The Singular Spectrum Analysis (SSA) method was used to separate the trend and harmonic components. Each harmonic component was correlated to the Southern Oscillation Index (SOI), the Pacific Decadal Oscillation (PDO) and the Solar Activity data. **Results:** The FFT showed dominant frequencies at 7 and 11 years. An increasing linear trend was identified from 1969 to 2008 with a decreasing linear segment from 2009 to 2016, as well as two harmonic components of different frequencies (7 and 11 years respectively). The trend and the two harmonic components explain 87.49% of the total variance of the capture. The first and second harmonic components correlated positively with SOI ($r = 0.2921$, $r = 0.3870$ respectively), while the second harmonic component

correlated negatively with solar activity ($r = -0.5313$). There were no correlations with the PDO. **Conclusions:** The fluctuations of Pacific sardine in the Gulf of California are mainly due to three factors: increased catch, the influence of the El Niño events and the influence of the solar activity cycle.

Keywords: harmonic component, oceanographic variables, *Sardinops sagax*, time series

Los peces pelágicos menores forman grandes cardúmenes que soporan pesquerías a escala mundial, éstos poseen ciclos de vida cortos, alta fecundidad, varios desoves al año, con alta movilidad vertical y horizontal en las zonas costeras (Fréon *et al.*, 2005). Se tiene evidencia de que las fluctuaciones de las capturas comerciales en sus principales áreas de pesca están asociadas a su vez a grandes fluctuaciones en la abundancia poblacional de las principales especies objetivo (p.ej. *Engraulis mordax* (Girard, 1854), *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842)), atribuidas a fenómenos climáticos a diferentes escalas espacio-temporal (Lluch-Belda *et al.*, 1989; Lluch-Belda *et al.*, 1992; Lluch-Cota *et al.*, 1999; Schwartzlose *et al.*, 1999; Chávez *et al.*, 2003) y al esfuerzo pesquero (Cisneros-Mata *et al.*, 1995). Entre los fenómenos climáticos atribuibles a las variaciones en las capturas comerciales de los pelágicos menores que se han estudiado, resaltan los eventos de El Niño (Lluch-Belda *et al.*, 1986), índice de circulación atmosférica (Klyashtorin, 2001) y la Oscilación Decadal del Pacífico (Cárdenas-Quintana *et al.*, 2015).

En particular, en el Golfo de California (GC), México, la pesquería de sardina Monterrey *S. sagax* (Jenyns, 1842) es la más importante a nivel nacional y sus capturas se llevan a cabo en embarcaciones pesqueras con red de cerco y jareta (DOF, 2012). Esta pesquería ha experimentado cinco fases a lo largo de su desarrollo en el Golfo de California: 1) Exploración y establecimiento (1969/70-1975/76); 2) desarrollo y crecimiento (1976/77-1981/82); 3) expansión y estabilización (1982/83-1988/89); 4) declinación (1989/90-1993/94); 5) recuperación (1994-Presente) (DOF, 2012). En el periodo actual se observa un aumento en las fluctuaciones de las capturas, con los registros más altos de toda la serie y los más bajos desde la fase de expansión. En

este trabajo se analiza la evolución temporal histórica de la captura comercial de sardina Monterrey en el GC durante el periodo 1969 al 2016, con la finalidad de determinar una tendencia clara y la presencia de componentes que se relacionen con la variabilidad ambiental que origina las fluctuaciones de las capturas de este recurso a diferentes escalas temporales.

Se utilizó una serie temporal con resolución anual de 48 registros de capturas de sardina Monterrey, recabados de las estadísticas oficiales de desembarcos realizados por la flota comercial de Guaymas y Yavaros, en el estado de Sonora, México, durante el periodo de 1969 a 2016, obtenidos de los informes del Instituto Nacional de la Pesca y Acuacultura (INAPESCA). Para identificar los periodos dominantes de la serie de capturas, se usó el espectro de potencia utilizando un método espectral no paramétrico, basado en la transformación de Fourier de la función de autocovarianza de la serie de tiempo, descrita en el software estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2008). Este método se utilizó debido a su alta confiabilidad para obtener las frecuencias (Salas-Pérez *et al.*, 2012). El análisis de la estructura de la serie temporal de capturas de sardina Monterrey se hizo por el método "Singular Spectrum Analysis" (SSA) utilizando el software Caterpillar 1.00 (GistaT Group, 1996). Esta técnica no paramétrica de análisis de series de tiempo se basa en principios de estadística y geometría multivariada, sistemas dinámicos y procesamiento de señales, que descompone la serie de tiempo original en un conjunto de componentes aditivos independientes o separables (ortogonales), siguiendo el procedimiento de análisis de componentes principales (ACP), ayudando a predecir a corto y mediano plazo las capturas a partir de la estructura de la serie temporal y la contribución de sus principales componentes aditivos. El resultado de la descomposición permite identificar la tendencia de la captura y diferentes componentes armónicos, así como cuantificar el porcentaje de la varianza con el que contribuye cada uno de los componentes en la serie original (Golyandina *et al.*, 2001). Para establecer la relación entre los componentes armónicos identificados con la variabilidad ambiental, se obtuvieron los valores anuales de 1969 a 2016 del Índice de Oscilación del Sur (IOS) como un indicador de la variabilidad ambiental relacionada con condiciones de El Niño (datos disponibles en

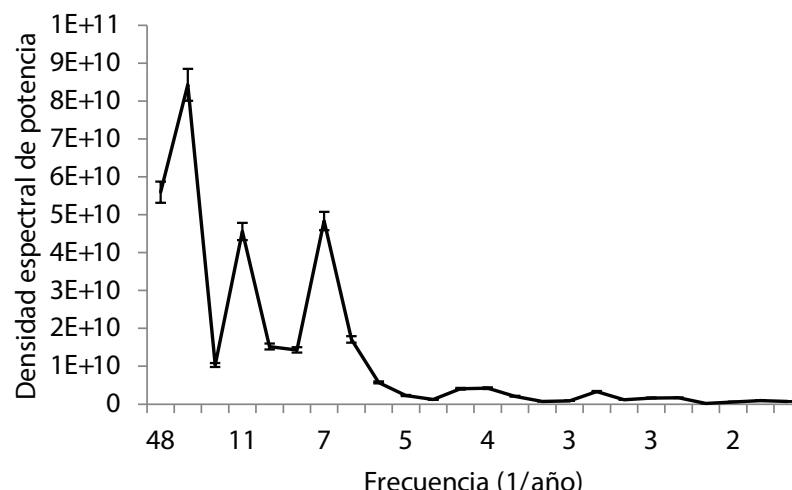


Figura 1. Densidad espectral de potencia de la serie temporal de capturas de sardina Monterrey en el Golfo de California.

<http://www.bom.gov.au>), la Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) como un patrón de variabilidad climática del Pacífico norte similar a El Niño (datos disponibles en <https://www.ncdc.noaa.gov>) y con la actividad solar como un indicador de la variabilidad solar (interna o externa), el cual en promedio aumenta y disminuye con un ciclo aproximado de 11 años, que origina cambios en el patrón climático, corrientes superficiales y el clima global (datos disponibles en <https://www.esrl.noaa.gov>). Finalmente, se utilizó el análisis de correlación para comparar los armónicos obtenidos con cada una de las variables ambientales. Todas las correlaciones reportadas se consideraron significativas si $P < 0.05$.

La densidad espectral de potencia de la serie de capturas de sardina Monterrey mostró dos picos a 7 y 11 años (Fig. 1). Se observó una tendencia lineal creciente de las capturas a partir del año 1969 hasta 2008, posterior a este año se observó un comportamiento decreciente hasta el año 2016 (Fig. 2a). El porcentaje de la varianza total que es explicado por la tendencia fue del 67.46%. Se obtuvieron dos componentes armónicos de diferente frecuencia de oscilación. El primer armónico fue de 7 años con un porcentaje de contribución a la varianza explicada del 14.58% (Fig. 2b) y el segundo armónico fue de 11 años, con un porcentaje de contribución a la varianza explicada del 5.44% (Fig. 2c). En conjunto la tendencia y los dos componentes armónicos explicaron el 87.49% de la variabilidad total de la serie original de capturas de sardina Monterrey. Se obtuvieron correlaciones positivas entre el primero y segundo armónico con el IOS ($r = 0.2921$, $r = 0.3870$ (Figs. 2b, 2c) respectivamente) y una correlación negativa entre el segundo armónico y la actividad solar ($r = -0.5313$) (Fig. 2d). Ningún componente armónico presentó una correlación significativa con la ODP. Los coeficientes de correlación entre los armónicos y las variables ambientales se presentan en la tabla 1.

Los resultados sugieren que el comportamiento de la tendencia y su porcentaje de contribución son consistentes con el rápido incremento de las capturas de sardina Monterrey durante el desarrollo de esta pesquería en el GC. Cisneros-Mata *et al.* (1995) mencionan que los cambios en la captura son debidos al aumento de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) relacionado con el incremento en el poder de pesca y experiencia de los pescadores. Sin embargo, las fluctuaciones en las capturas también se encuentran sujetas a factores que actúan directa o indirectamente sobre la abundancia de los peces, ya sean de origen antropogénico, ambiental y/o biológico (Pedraza-García & Cubillos, 2008).

Para la serie de captura de sardina Monterrey las fluctuaciones se ven reflejadas en el primer periodo armónico identificado, el cual

se correlaciona con los cambios en la intensidad del IOS en el Océano Pacífico, como un indicador de la ocurrencia de fases cálidas de eventos de El Niño con una periodicidad 3 a 7 años (White & Tourre, 2003). En este sentido, se tiene evidencia que los cambios físicos derivados del fenómeno de El Niño en el GC, afectan la biomasa fitoplanctónica, nutrientes y productividad primaria (Barber & Chávez, 1983), alterando el entorno del desove, el hábitat larvario de la sardina Monterrey (Sánchez-Velasco *et al.*, 2000), el reclutamiento de juveniles a la población y por ende la disponibilidad de adultos para la pesquería (Hammann *et al.*, 1988). Niquen y Bouchon (2004) mencionan que la intensidad del fenómeno de El Niño es directamente proporcional con los cambios en la distribución espacial de los organismos, su concentración y su estructura de tallas. Otros autores como Martínez-Aguilar *et al.* (2009) han reportado cambios en la estructura de tallas en la captura de sardina Monterrey en el GC relacionados con El Niño y la Niña. De esta manera, estos eventos pueden cambiar las condiciones donde se distribuyen los organismos en las áreas de pesca y por ende reflejarse en las fluctuaciones de las capturas.

De acuerdo a los resultados obtenidos para el segundo armónico, las fluctuaciones en las capturas de sardina Monterrey también responden en menor medida a forzamientos a escala inter-decadal. Se ha establecido que los forzamientos climáticos a escala inter-decadal en el océano Pacífico del Norte son asociados principalmente a la ODP, el cual presenta una ocurrencia aproximada de 20-30 años (Mantua *et al.*, 1997). Sin embargo, los resultados indican que no hay una correlación significativa entre el segundo componente armónico y los cambios de largo periodo en la ODP. Este resultado coincide con lo obtenido por MacClatchie (2012) quien demostró de forma cualitativa que la abundancia de la sardina Monterrey en el océano Pacífico se correlaciona pobremente con la ODP, por lo que es probable que en esta región se estén presentando procesos que interactúen de manera externa sobre las fluctuaciones de las capturas de sardina Monterrey o en el ambiente oceánico donde se distribuyen los organismos. Se ha documentado que aproximadamente cada 11 años la actividad solar presenta períodos de mínimos y máximos solares, que tienen efectos sobre la atmósfera, la superficie de la tierra, y el clima global (Muñoz-Jaramillo & Vaquero 2018), por lo que es factible que el segundo componente armónico sea un reflejo del ciclo de la actividad solar al presentar una periodicidad similar de 11 años. Bajo este contexto los resultados sugieren una correlación significativa entre el segundo componente armónico con el IOS como una evidencia de la relación entre la actividad solar con el IOS. La relación de la actividad solar y el IOS también ha sido documentada por Zhai (2017) quien reporta que hay una clara variación temporal

Tabla 1. Coeficientes de correlación entre componentes armónicos y la variabilidad ambiental.

	Primer armónico	Segundo armónico	IOS	ODP	Actividad solar
Primer armónico	1				
Segundo armónico	0.2639 0.2921 (<i>P</i> = 0.0440)	1 0.3870 (<i>P</i> = 0.0066)			
IOS			1 -0.4077 (<i>P</i> = 0.0040)		
ODP	0.0720	0.1836 -0.5313 (<i>P</i> = 0.0001)		1 -0.5194 (<i>P</i> = 0.0002)	
Actividad solar	-0.2807			-0.0619 1	

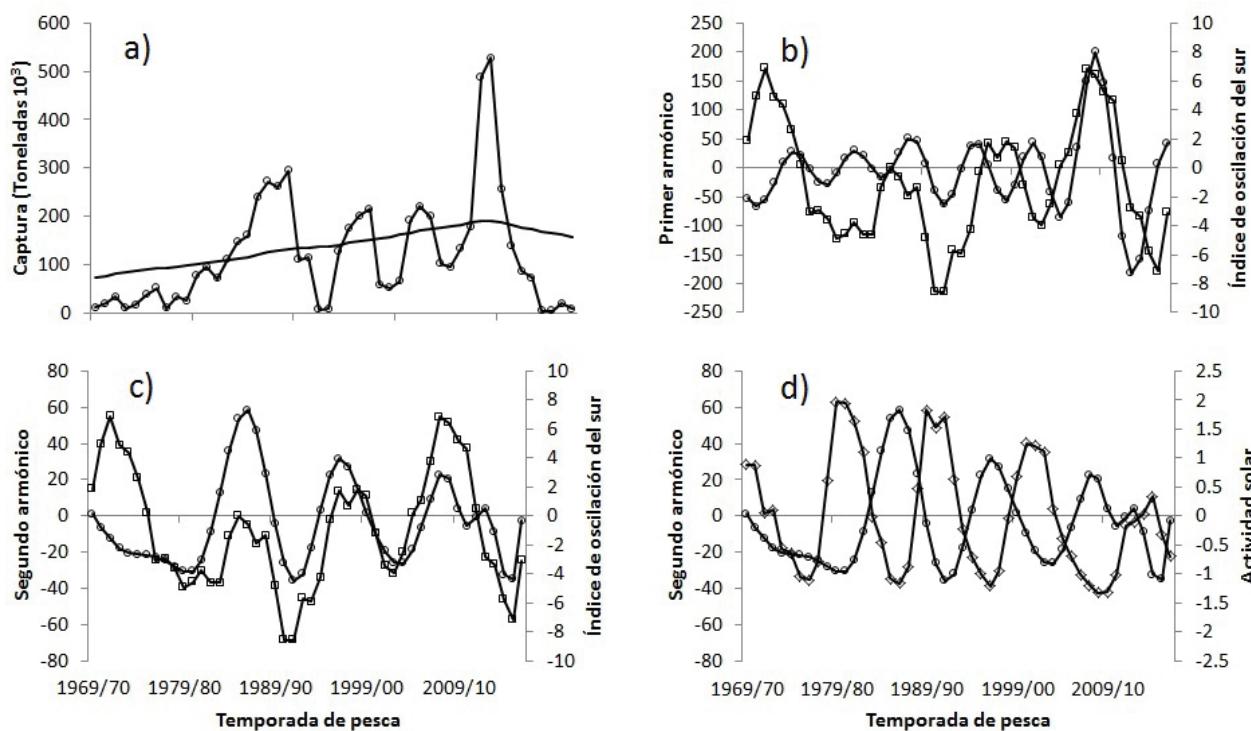


Figura 2. Evolución temporal de la sardina Monterrey (*Sardinops sagax* (Jenyns, 1842)) capturada por la flota de Sonora (Méjico), durante 1969-2016 (○). (a) Se representa la tendencia (-), (b) componente armónico de 7 años (○) e Índice de Oscilación del Sur (□), (c) componente armónico de 11 años (○) e Índice de Oscilación del Sur y (d) componente armónico de 11 años (○) y actividad solar (◇). La tendencia y armónicos fueron estimados con el método Singular Spectrum Analysis (SSA).

entre ambas cada 11 años, lo que implica la influencia de la actividad solar sobre el IOS, y que dependiendo del nivel de actividad solar puede correlacionarse de manera positiva o negativa con el IOS. En este sentido los resultados sugieren que el segundo componte armónico se relacionan de manera inversa con la actividad solar, es decir a mayor actividad solar menor fluctuación en la captura de sardina Monterrey y viceversa. Se ha documentado que los desembarques de la sardina europea *Sardina pilchardus* varía en función de la actividad solar, al cambiar el transporte de agua hacia la costa lo que favorece o perjudica la retención de larvas en zonas cerca de la costa, lo que se refleja en las capturas de sardina (Guisande *et al.*, 2004). Así mismo autores como Patterson *et al.* (2004) encontraron que el ciclo solar de Gleissberg, con un periodo de 75 a 90 años, tuvo una influencia en las fluctuaciones de las poblaciones de anchoveta del Norte y arenque del Pacífico durante el Holoceno en América del Norte. De esta manera, se puede apreciar que la actividad solar con una ocurrencia de 11 años, coincide con una de las frecuencias de la sardina Monterrey para la pesquería en el GC, sin embargo esta coincidencia aún debe ser validada.

En conclusión, las fluctuaciones en la captura de sardina Monterrey en el GC son dadas en mayor medida por el incremento de las capturas, por la influencia de eventos de escala interanual como el evento de El Niño y por eventos externos de escala inter-decadal, el cual tiene una influencia sobre el ambiente donde se distribuye la sardina Monterrey.

REFERENCIAS

- BARBER, R.T. & F.P. CHÁVEZ. 1983. Biological consequences of El Niño. *Science* (222): 1203-1210. DOI:10.1126/science.222.4629.1203
- CÁRDENAS-QUINTANA, G., M. FRANCO-MELÉNDEZ, J. SALCEDO-RODRÍGUEZ, D. ULLOA-ESPEJO & J. PELLÓN-FARFÁN. 2015 The Peruvian sardine, *Sardinops sagax*: Historical analysis of the fishery (1978-2005). *Ciencias Marinas* 41 (3): 203-216. DOI:10.7773/cm.v41i3.2466.
- CHÁVEZ, F. P., J. RYAN, S. E. LLUCH-COTA & C. M. NIQUEN. 2003. From anchovies to sardines and back: Multidecadal change in the Pacific Ocean. *Science* 10 (299): 217-221. DOI: 10.1126/science.1075880.
- CISNEROS-MATA, M.A., M. O. NEVÁREZ-MARTÍNEZ & M. G. HAMMANN. 1995. The rise and fall of the Pacific sardine, *Sardinops sagax caeruleus* Girard, in the Gulf of California, Mexico. *CalCOFI Report* 36: 136-146.
- DI RENZO, J. A., F. CASANOVES, M. G. BALZARINI, L. GONZÁLEZ, M. TABLADA & C. W. ROBLEDO. 2008. *InfoStat, versión 2008*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- DOF (DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN) 2012. Plan de manejo pesquero para la pesquería de pelágicos menores (sardinas, anchovetas, macarras y afines) del noroeste de Méjico. Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación (SAGARPA) noviembre. Méjico, 51 p.

- FRÉON, P., P. CURY, L. SHANNON & C. ROY. 2005. Sustainable exploitation of small pelagic fish stocks challenged by environmental and ecosystem changes: A review. *Bulletin of Marine Science* 76 (2): 385-462.
- GISTAT GROUP, 1996. Software Caterpillar Version 1.0 of Windows. PhD, St. Petersburg University. Department of Mathematics. Russia.
- GOLYANDINA, N., V. NEKRUTKIN & A. ZHIGLJAVSKY (Eds.). 2001. *Analysis of time series structure: SSA and related techniques*. Chapman and Hall/CRC, London, England, 300 p. DOI:10.1201/9781420035841
- GUISANDE, C., A. ULLA & P. THEJLL. 2004. Solar activity governs abundance of Atlantic Iberian sardine *Sardinops pilchardus*. *Marine Ecology Progress Series* (269): 297-301. DOI:10.3354/meps269297
- HAMMANN, M. G., T. R. BAUMGARTNER & A. BADAN-DAGON. 1988. Coupling of the Pacific sardine (*Sardinops sagax caeruleus*) life cycle with the Gulf of California pelagic environmental. *CalCOFI Reports* 29: 102-109.
- KLYASHTORIN, L. B. 2001. Climate change and long-term fluctuations of commercial catches. The possibility of forecasting. *FAO Fisheries Technical Paper*, Rome 410: 1-86.
- LLUCH-BELDA, D., F. J. MAGALLON & R. A. SCHWARTZLOSE. 1986. Large fluctuations in the sardine fishery in the Gulf of California: Possible causes. *CalCOFI Report* 27: 136-140.
- LLUCH-BELDA, D., R. J. M. CRAWFORD, T. KAWASAKI, A. D. MACCALL, R. H. PARRISH, R. A. SCHWARTZLOSE & P. E. SMITH. 1989. World-Wide fluctuations of sardine and anchovy stocks: The regime problem. *South African Journal of Marine Science* 8: 195-205. DOI: 10.2989/02577618909504561
- LLUCH-BELDA, D., R. A. SCHWARTZLOSE, R. SERRA, R. H. PARRISH, T. KAWASAKI, D. HEDGELOCK & R. J. M. CRAWFORD. 1992. Sardine and anchovy regime fluctuations of abundance in four regions of the world oceans: a workshop report. *Fisheries Oceanography* 1 (4): 339-347. DOI:10.1111/j.1365-2419.1992.tb00006.x
- LLUCH-COTA, S., D. LLUCH-COTA, D. LLUCH-BELDA, M. NEVÁREZ-MARTÍNEZ, A. PARES-SIERRA & S. HERNÁNDEZ-VÁZQUEZ. 1999. Variability of sardine catch as related to enrichment, concentration and retention processes in the central Gulf of California. *CalCOFI Report* 40: 184-189.
- MANTUA, N.J., S. R. HARE, Y. ZHANG, J. M. WALLACE & R. C. FRANCIS. 1997. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bulletin of the American Meteorological Society* 6 (78): 1069-1079. DOI:10.1175/1520-0477(1997)078%3C1069:API-COW%3E2.0.CO;2
- MARTÍNEZ-AGUILAR, S., J. A. DE ANDA-MONTAÑEZ, F. ARREGUÍN-SÁNCHEZ & M. A. CISNEROS-MATA. 2009. Constant harvest rate for the Pacific sardine (*Sardinops caeruleus*) fishery in the Gulf of California based on catchability-at-length estimations. *Fisheries Research* 99: 74-82. DOI:10.1016/j.fishres.2009.05.002
- MCCLATCHIE, S. 2012. Sardine biomass is poorly correlated with the Pacific Decadal Oscillation off California. *Geophysical Research Letters* 39: 1-6. DOI:10.1029/2012GL052140, 2012
- MUÑOZ-JARAMILLO, A. & J. A. VAQUERO. 2018. Visualization of the challenges and limitations of the long-term sunspot number record. *Nature Astronomy* 12 (2): 11-7. DOI: 10.1038/s41550-018-0638-2
- NIQUEN, M. & M. BOUCHON. 2004. Impact of El Niño events on pelagic fisheries in Peruvian waters. *Deep-Sea Research II* 51: 563-574. DOI: 10.1016/j.dsr2.2004.03.001
- PATTERSON, R. T., A. PROKOPH, C. WRIGHT, A. S. CHANG, R. E. THOMPSON & D. M. WARE. 2004. Holocene solar variability and pelagic fish productivity in the NE Pacific. *Paleontología Electrónica* 7 (4): 1-17.
- PEDRAZA-GARCIA, M. & L. A. CUBILLOS. 2008. Population dynamics of two small pelagic fish in the central-south area off Chile: delayed density-dependence and biological interaction. *Environmental Biology of Fishes* 82: 111-122. DOI:10.1007/s10641-007-9260-3
- SALAS-PÉREZ, J. J., D. SALAS-MONTERAL, M. A. MONREAL-GÓMEZ, M. L. RIVERON-ENZASTIGA & C. LLASAT. 2012. Seasonal absolute acoustic intensity, atmospheric forcing and currents in tropical coral reef system. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (3): 1-11. DOI:10.1016/J.ECSS.2012.01.002
- SÁNCHEZ-VELASCO, L., B. SHIRASAGO, M.A. CISNEROS-MATA & C. AVALOS-GARCÍA. 2000. Spatial distribution of small pelagic fish larvae in the Gulf of California and its relation to the El Niño 1997-1998. *Journal of Plankton Research* 8 (22): 1611-1618. DOI:10.1093/plankt/22.8.1611
- SCHWARTZLOSE, R.A., J. ALHEIT, A. BAKUN, T. R. BAUMGARTNER, R. CLOETE, R. J. M. CRAWFORD, W. J. FLETCHER, Y. GREEN-RUIZ, E. HAGEN, T. KAWASAKI, D. LLUCH-BELDA, S. E. LLUCH-COTA, A. D. MACCALL, Y. MATSUURA, M. O. NEVÁREZ-MARTÍNEZ, R. H. PARRISH, C. ROY, R. SERRA, K. V. SHUST, M. N. WARD & J. Z. ZUZUNAGA. 1999. Worldwide large-scale fluctuations of sardine and anchovy populations. *South African Journal of Marine Science* 21: 289-347. DOI:10.2989/025776199784125962
- WHITE, W. B. & Y. M. TOURRE. 2003. Global SST/SLP waves during the 20th century. *Geophysical Research Letters* 12 (30): 53-56. DOI:10.1029/2003GL017055
- ZHAI, Q. 2017. Evidence of the effect of sunspot activity on the El Niño/Souther Oscillation. *New Astronomy* 52: 1-7. DOI: 10.1016/j.newast.2016.09.004