

Variabilidad espacio-temporal del fitoplancton en el Golfo de Cádiz a través de imágenes térmicas y de color oceánico.

Gabriel Navarro y Javier Ruiz

Instituto de Ciencias Marinas de Andalucía (ICMAN), Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Puerto Real, Cádiz. Gabriel.navarro@uca.es ; Javier.ruiz@uca.es

Resumen

En el presente trabajo se ha realizado un estudio de la variabilidad tanto espacial como temporal del fitoplancton marino en la zona de plataforma del golfo de Cádiz a través de toda la serie de imágenes de color oceánico procedentes del sensor SeaWiFS. Además, se han empleado las imágenes térmicas (AVHRR) para estudiar los patrones hidrodinámicos que fuerzan la distribución del fitoplancton.

1. Introducción

El golfo de Cádiz se encuentra estratégicamente situado conectando el océano Atlántico con el mar Mediterráneo a través del estrecho de Gibraltar. En el golfo de Cádiz se pueden identificar diferentes accidentes topográficos como son los cabos San Vicente, Santa María y Trafalgar (Fig. 1). Además, una peculiaridad presente en la cuenca es la plataforma oceánica tan ancha existente entre los cabos Santa María y Trafalgar, que puede llegar a superar los 50 km de ancho. Aunque numerosas características le confieren a la cuenca un elevado interés oceanográfico, las investigaciones realizadas han sido escasas, y principalmente enfocadas al estudio de los afloramientos producidos por el viento [1],[2],[3] y [4], así como el análisis de la salida del agua mediterránea [5]. Los estudios realizados con imágenes térmicas en el golfo de Cádiz evidencian una fuerte dinámica superficial en la cuenca [1],[2],[3],[4]. Estas imágenes describen la existencia de una estructura cálida-fría-cálida hacia el sudeste del cabo Santa María, a la que se le asignó el nombre de frente de Huelva [6] y que suele formarse con vientos de poniente. También describen la existencia de áreas de intensos afloramientos en la zona del cabo San Vicente, que se intensifican con los vientos del norte en los meses de verano [1],[2],[3] y mezclas en la zona del cabo Trafalgar, que pudieran deberse a interacciones de la marea con la topografía del fondo [7]. Estas exploraciones descriptivas han recibido un tratamiento estadístico después del análisis implementado por [4] en el que realiza una descomposición en funciones empíricas ortogonales

(EOF) de una serie temporal de imágenes semanales de SST desde 1993 hasta 1999. Además de las singularidades presentes en el golfo de Cádiz apuntadas anteriormente, el análisis EOF distingue una zona costera entre los ríos Guadiana y Guadalquivir que es más cálida que el resto en los meses de verano y más fría en los meses de invierno [4]. Durante el periodo de verano y vientos de levante, esta masa de agua cálida puede dirigirse hacia el oeste por la costa sur portuguesa e incluso podría girar en el cabo San Vicente y dirigirse hacia el norte [3] por la costa oeste portuguesa. Aunque se conocen todas estas estructuras oceanográficas que concurren en la cuenca, todos los estudios están basados en las imágenes térmicas procedentes del sensor AVHRR y todavía no se ha realizado un análisis de cómo estas estructuras fuerzan la distribución espacial y temporal de la clorofila en el golfo de Cádiz. Tan solo [8] describen de manera puntual, utilizando imágenes diarias del sensor CZCS, algunos patrones que forman los pigmentos en el golfo de Cádiz, sobre todo los filamentos que se desarrollan en las cercanías del cabo San Vicente. Por último, [9] presentan un estudio completo de variabilidad espacio-temporal de los pigmentos superficiales derivados del sensor CZCS en toda la costa portuguesa, en la que se incluye de manera muy tangencial, parte del golfo de Cádiz.

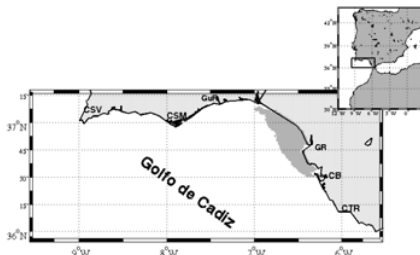


Figura 1: Localización geográfica del golfo de Cádiz. La zona de plataforma estudiada viene diferenciada por el área gris entre Huelva y Cádiz.

Estudios más recientes desarrollados en esta zona costera [10], han demostrado interés por los cuantiosos recursos pesqueros de interés comercial

que en ella se encuentran. El objetivo de este trabajo es hacer los primeros análisis conjuntos de datos de temperatura y clorofila superficial procedentes de sensores remotos entre los años 1998 y 2004, centrándonos en la zona costera de plataforma (ver Fig. 1) que previamente ha sido delimitada por el análisis EOF realizado por [11], con imágenes semanales de clorofila estimada por SeaWiFS.

2. Material y Métodos

2.1. Imágenes térmicas

Las imágenes térmicas (SST) utilizadas en este trabajo proceden del sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), que se encuentra a bordo de los satélites de la serie NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Las imágenes fueron obtenidas vía Internet del DLR, con una resolución espacial de 1.1 km (<http://isis.dlr.de/guide/>). Las imágenes utilizadas en este trabajo se corresponden con promedios semanales y mensuales. El método utilizado para estimar la temperatura está basado en el algoritmo "Split Window Technique" [12].

2.2. Imágenes procedentes del sensor SeaWiFS: clorofila y radiación PAR.

Las imágenes procesadas de SeaWiFS se corresponden con el nivel L1A (radiancias), y han sido procesadas a nivel L2 (datos geofísicos) y L3 (promedios temporales) mediante el software SeaDAS v4.6 (<http://seadas.gsfc.nasa.gov>). Las imágenes L1A fueron suministradas por el GSFC para las antenas HRPT situadas en las Islas Canarias (HCAN y HMAS) así como en Galicia (HSAN). Se ha utilizado el algoritmo OCv4 [13] para obtener los datos de clorofila superficial (C_{sat}). También se utilizó el programa SeaDAS v4.6 para proyectar las imágenes a proyección Mercator. Los promedios semanales o mensuales de clorofila y PAR (L3), se formaron por la media aritmética de todas las escenas disponibles en esa semana o mes píxel a píxel (excluyendo los datos erróneos como nubes, tierra, etc). Los promedios semanales y mensuales mantienen la resolución espacial de las imágenes diarias, es decir, 1.1 km en el nadir y estos se hacen para disminuir el efecto de las nubes. Estos promedios semanales son suficientes para resolver fenómenos como los blooms de fitoplancton [14].

3. Resultados

La climatología mensual del periodo de estudio (1998-2004) para SST, PAR y C_{sat} se presenta en la Fig. 2, así como las anomalías mensuales que han sido calculadas como la diferencia entre el promedio mensual y el valor climatológico mensual.

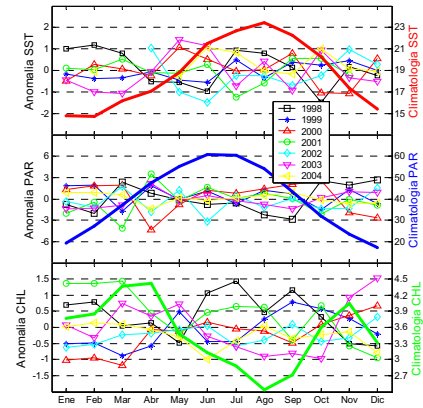


Figura 2: Serie mensual de climatologías y anomalías (diferencia entre el valor mensual y la climatología mensual) para la SST ($^{\circ}\text{C}$), PAR (mol quanta $\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$) y clorofila (mgChl m^{-3}) en la zona de plataforma.

La climatología de SST y PAR muestra un patrón estacional muy claro, donde existe un desfase de dos o tres meses entre los máximos de PAR (junio-julio) y SST (septiembre). El rango de variación va desde el máximo a 60 mol quanta $\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$ y 23°C durante los meses de verano, hasta 17 mol quanta $\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$ y 15°C en los de invierno, cuyos valores promedios a lo largo del año son de 40 mol quanta $\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$ y 19°C respectivamente. Las anomalías de SST pueden alcanzar el 10% del valor promedio durante los diferentes años de estudio, siendo mayor que la variabilidad encontrada para el PAR, donde las anomalías solo representan el 5% del valor promedio. Con respecto a la clorofila, se observa que la climatología mensual presenta un patrón bimodal, con máximos en los meses de primavera y en los de otoño. El primero de ellos, de mayor intensidad, se alcanza en los meses de marzo y abril ($\approx 4.5 \text{ mgChl m}^{-3}$), mientras que el segundo bloom se produce entre los meses de octubre y noviembre ($\approx 3.8 \text{ mgChl m}^{-3}$). El mínimo anual se produce en el mes de agosto, con una concentración cercana a 2.5 mgChl m^{-3} . Las anomalías representan

un porcentaje alto del valor medio de clorofila ($\approx 30\%$), lo que indica una variabilidad interanual bastante elevada, apareciendo al año entre dos y tres máximos. Como ejemplo, en la Fig. 2 se observa como para el año 1998 se alcanzan tres máximos de clorofila, el primero de ellos entre enero y abril, el segundo en los meses de junio-julio mientras que el tercero se desarrolla entre septiembre-octubre. Por el contrario, para el año 1999, este patrón cambia y los máximos son en mayo y noviembre, siendo este segundo pico de mayor intensidad. En el 2000, aparece un máximo en abril y un mínimo en septiembre, a partir del cual la C_{sat} empieza a aumentar hasta marzo del 2001, donde se alcanza el máximo anual para la zona de plataforma. Durante este año, ocurre otro pico de clorofila para el mes de octubre, de igual intensidad que el de abril del 2002, donde decrece la concentración hasta el mínimo de toda la serie, que ocurre en agosto.

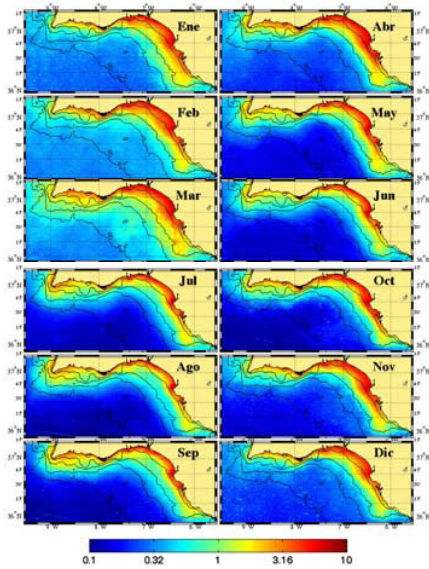


Figura 3: Climatologías mensuales para la clorofila en mgChl m^{-3} en el golfo de Cádiz. Las líneas representan las isóbatas de 25, 100, 500 y 1000 metros.

Independientemente del mes en el que nos encontremos, en la Fig. 3 se observa claramente como durante todo el año, las concentraciones más elevadas de C_{sat} se alcanzan en la zona de plataforma estudiada, en comparación con el resto

de la cuenca. Así, se observa como la distribución espacial de las concentraciones más altas de C_{sat} se produce en los meses de marzo y abril, coincidiendo con el bloom de fitoplancton descrito anteriormente (Fig. 2).

Si nos centramos en los promedios semanales (Fig. 4), se observa un fuerte acoplamiento entre aumentos de C_{sat} para esta zona de plataforma y los ponientes durante la época de estratificación, que se establece entre los meses de abril y noviembre [10]. También se observa que con vientos de poniente hay un enfriamiento de la temperatura superficial, mientras que los vientos de levante favorecen el aumento de la temperatura. Los ponientes determinan la longitud y persistencia del afloramiento costero. Como ejemplo, se observa que para el año 1998, a finales de marzo, a mitad de abril, a finales de mayo, mitad de junio, principios de septiembre y octubre, existe un viento de poniente coincidente con disminución de la SST y aumento de la C_{sat} para la zona de plataforma.

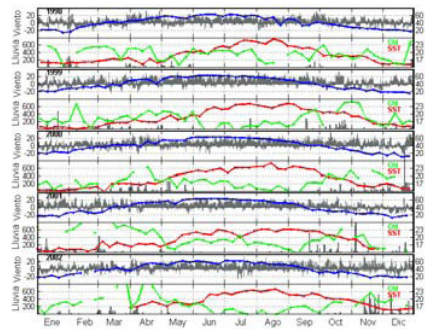


Figura 4: Serie temporal para los promedios semanales de PAR (línea azul, $\text{mol quanta m}^{-2} \text{d}^{-1}$), SST (línea roja, $^{\circ}\text{C}$) y C_{sat} (línea verde, mgChl m^{-3}) para la zona de plataforma. Las barras grises en las gráficas superiores indican la dirección del viento (valores positivos son ponientes y negativos son levantes) y su velocidad (en km/h), mientras que las barras grises de las gráficas inferiores indican la precipitación diaria (en décimas de mm) en la estación meteorológica de Huelva.

El efecto contrario, donde los vientos de levante coinciden con aumentos de temperatura y descensos de la clorofila, se pueden observar, para el año 1998, en los días 20 de marzo, 1 de mayo, 15 de junio, 3 de agosto, 15 de septiembre y 6 de octubre para 1998. En el resto de años se encuentran ejemplos similares de los mencionados para el año

1998. Además de este acoplamiento entre el viento zonal reinante en la zona de plataforma y cambios en la concentración de clorofila superficial, la C_{sat} también parece ser sensible a la precipitación en la zona. Principalmente en los meses de otoño (Fig. 4), la clorofila aumenta en aquellos meses donde las lluvias han sido abundantes, ya que este hecho facilita la entrada de nutrientes a través del aumento del caudal de los ríos que desembocan en la cuenca, como son los ríos Guadalquivir, Guadiana y Tinto-Odiel.

4. Conclusiones

Según los resultados presentados en este trabajo, se puede concluir que en la franja costera entre Cádiz y Huelva aparecen dos máximos climatológicos de clorofila, el primero en los meses de primavera y el segundo en otoño. En los meses de verano, la concentración de clorofila es la mínima anual, pero tanto la temperatura como la C_{sat} son superiores comparadas con el resto de la cuenca. La concentración de clorofila aumenta con el poniente y disminuye con el levante, en una respuesta coherente con el transporte de Ekman esperado para una zona en la que los vientos y la costa tienen una importante componente zonal. Asimismo, la concentración de clorofila aumenta con la precipitación en la región, sobre todo en los meses de otoño.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen al DLR y al proyecto SeaWiFS-GSFC el suministro de las imágenes térmicas y de color oceánico, respectivamente. Estas imágenes han sido procesadas en el Servicio de Teledetección de Color Oceánico del ICMAN-CSIC. Este trabajo ha sido desarrollado en el contexto del Proyecto CYTMAR99-0643-C03-02.

6. Referencias

- [1] Fiúza, A. F. D., M.E. Macedo and M.R. Guerreiro. "Climatological space and time variation of the Portuguese coastal upwelling". *Oceanol. Acta*, 5, 31-40. 1982.
- [2] Folkard, A. M., P.A. Davies, A.F.G. Fiúza and I. Ambar. "Remotely sensed sea surface thermal patterns in the Gulf of Cádiz and the Strait of Gibraltar: Variability, correlations, and relationships with the surface wind field". *J. Geophys. Res.*, 102(C3), 5669-5683. 1997.
- [3] Relvas, P. and E.D. Barton. "Mesoscale patterns in the Capo Sao Vicente (Iberian Peninsula) upwelling region", *J. Geophys. Res.*, 107(C10), 3164. 2002.
- [4] Vargas, J.M., J. García-Lafuente, J. Delgado, and F. Criado-Aldeanueva "Seasonal and wind-induced variability of Sea Surface Temperature patterns in the Gulf of Cádiz". *J. Mar. Sci.*, 38, 205-219. 2003.
- [5] Baringer, M.O. and J.F. Price "A review of the physical oceanography of the Mediterranean Outflow". *Mar. Geol.*, 155, 63-82. 1999.
- [6] Stevenson, R. E. "Huelva Front and Malaga, Spain, Eddy Chain as defined by Satellite and Oceanographic Data". *Deutsche Hydrographische Zeitschrift*, 30(2). 1977.
- [7] Vargas-Yañez, M., T. Sarhan, F. Plaza, J.P. Rubin and M.C. García-Martínez. "The influence of tide-topography interaction on low-frequency heat and nutrient fluxes. Application to Cape Trafalgar". *Cont. Shelf Res.*, 22, 115-139. 2002.
- [8] Sousa, F. and A. Bricaud. "Satellite-derived phytoplankton pigments structures in the portuguese upwelling area". *J. Geophys. Res.*, 97(C7), 11343-11356. 1992.
- [9] Peliz, A.J. and A.F.G. Fiúza "Temporal and spatial variability of CZCS-derived phytoplankton pigment concentrations off the western Iberian Peninsula". *Int. J. Remote Sens.*, 20(7), 1363-1403. 1999.
- [10] Sánchez-Lamadrid, A., J. Ruiz, E. García, A. Juárez, T. Jiménez, I. Sobrino, E. Blanco, P. Jiménez, M. Bruno and G. Navarro. "Estudio de los recursos pesqueros del Golfo de Cádiz", Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía. 2003.
- [11] Navarro, G. and J. Ruiz. "Elements of spatial and temporal variability of plankton in the gulf of Cadiz: an analysis based on EOF decomposition of SeaWiFS images." *Proc. SPIE*, 5233: 34-42. 2004.
- [12] McClain, E.P., W.G. Pichel and C.C. Walton. "Comparative performance of AVHRR based multichannel sea surface temperatures". *J. Geophys. Res.*, 90: 11587-11601. 1985.
- [13] O'Reilly, J.E., S. Maritoner, B.G. Mitchell, D.A. Siegel, K.L. Carder, S.A. Garver, M. Kahru and C.R. McClain. "Ocean colour chlorophyll algorithms for SeaWiFS". *J. Geophys. Res.* 103(C11), 24937-24953. 1998
- [14] IOCCG. "Status and Plans for Satellite Ocean-Colour Missions: Considerations for Complementary Missions". *Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group*, J.A. Yoder (ed.), IOCCG, Dartmouth, Canada, 43 pp. 1999.