

SEGUIMIENTO CALIDAD AGUAS COSTERAS: TEMPERATURA Y TURBIDEZ EN LAS AGUAS LITORALES.

NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA-A

La clorofila-a (Chl a) es el pigmento fotosintético presente en el fitoplancton, y el que le da un color verdoso a éste. La concentración de clorofila-a en las aguas litorales y marinas, permite tener una estimación de la concentración de fitoplancton, y en consecuencia, de la actividad biológica. Comprender la dinámica de este parámetro en relación con la actividad antrópica (como por ejemplo, vertido de aguas residuales) así como con los aportes de nutrientes naturales, es fundamental para evaluar la calidad de las aguas, así como su influencia en actividades como la pesca.

Este parámetro es un indicador básico de producción primaria, por lo que su estudio se hace necesario para conocer cualquier aspecto de los ecosistemas marinos (Rojas-Acuña et al., 2011).

Los pigmentos de la Chl a tienen una firma espectral específica y distintiva, por lo que las observaciones multiespectrales del océano con sensores especiales permiten la observación de estos cambios de color en las aguas litorales y marinas, localizando las áreas de concentración de fitoplancton (Somoza et al., 2007) y en consecuencia localizando las mejores zonas pesqueras, ya que las áreas ricas en fitoplancton son las más activas biológicamente y las más favorables para esta actividad.

En el área de estudio Océano Atlántico y Mar de Alborán, se observa un máximo de concentración, más o menos intenso, en los meses de primavera que coincide con el bloom de fitoplancton característico de esta época del año. Sin embargo, dependiendo del área observada podemos encontrar otros máximos secundarios relacionados con los fenómenos de afloramiento, producidos por las condiciones atmosféricas o por periodos de intensa descarga fluvial, echo que suele ocurrir sobre todo en los meses de invierno. Los máximos debidos a condiciones de afloramiento por efecto de los vientos propiciados por las condiciones atmosféricas, por regla general ocurren durante los meses de verano, y tienen lugar principalmente en el litoral Atlántico. En primavera cabe destacar un máximo de concentración de clorofila localizado en la región occidental del litoral en el golfo de Cádiz y otro de menor intensidad pero de valores significativamente mayores que los de su alrededor en el mar de Alborán. Los máximos de invierno se encuentran fundamentalmente localizados en las zonas de descarga de ríos como el Guadiana y/o el





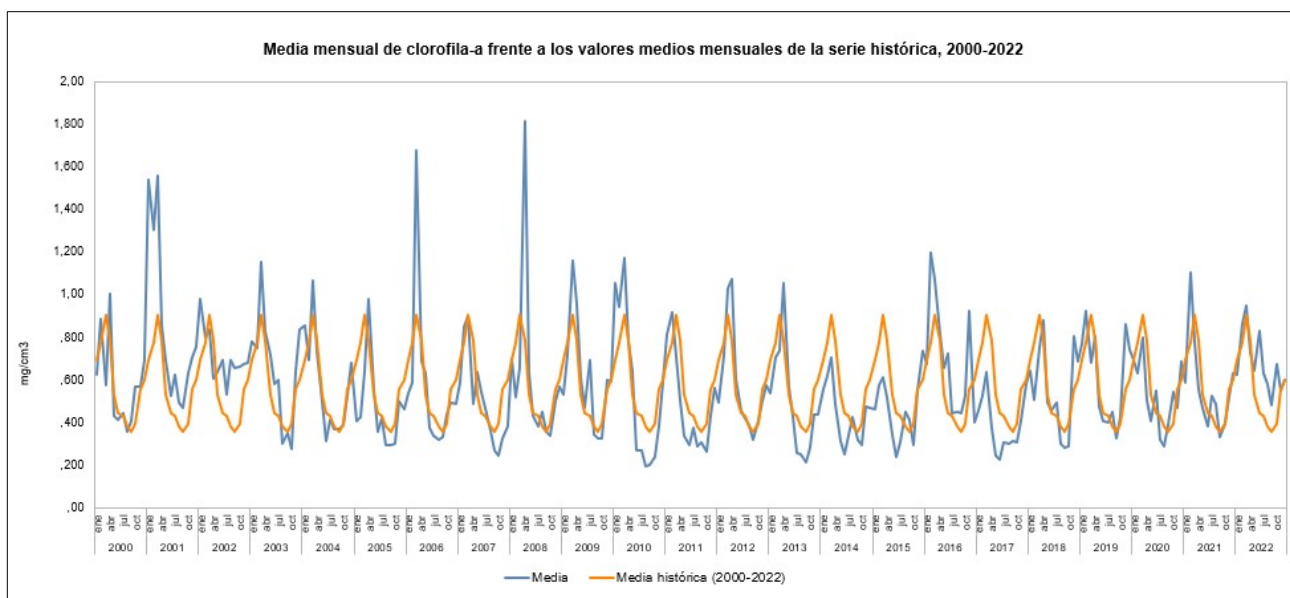
Guadalquivir. Si analizamos espacialmente la distribución de la clorofila según los datos obtenidos a partir de las imágenes de satélites, la concentración de clorofila en aguas abiertas del Atlántico es baja, del orden de 0,01-0,5 mg/cm³, que es lo normal en estas latitudes, excepto en los meses de abril y mayo, donde debido al bloom fitoplanctónico la distribución de ésta se expande mar adentro con valores no muy superiores a 2,5 mg/cm³, y sólo en la proximidad de la costa, debido a los aportes terrígenos en la desembocadura de los ríos, o en zonas de aforamiento de aguas frías profundas ricas en nutrientes, se eleva esta concentración. En el caso del Mediterráneo, la variabilidad de este parámetro en mar abierto es algo mayor, alcanzándose los valores más bajos en verano y otoño y los más elevados en los meses de invierno y primavera. Las bajas temperaturas y sobretodo el cambio en la dirección e intensidad de los vientos en las estaciones de invierno y primavera en la zona más noroccidental de Alborán y en la costa de Málaga provocan el aforamiento de aguas profundas más frías y enriquecidas en nutrientes, lo que conlleva un aumento en la concentración de clorofila-a en esas localizaciones, sosteniendo así una producción primaria más elevada que en el resto del mar de Alborán, aunque en general, la concentración de clorofila-a en el Mediterráneo es muy baja.

Independientemente de la variabilidad anual, las comunidades de fitoplancton presentan un patrón de variabilidad interanual que se caracteriza por la sucesión de ciclos de productividad alta seguidos por periodos menos productivos con una duración entre 3-4 años (Mercado et al, 2005, 2007, 2012).

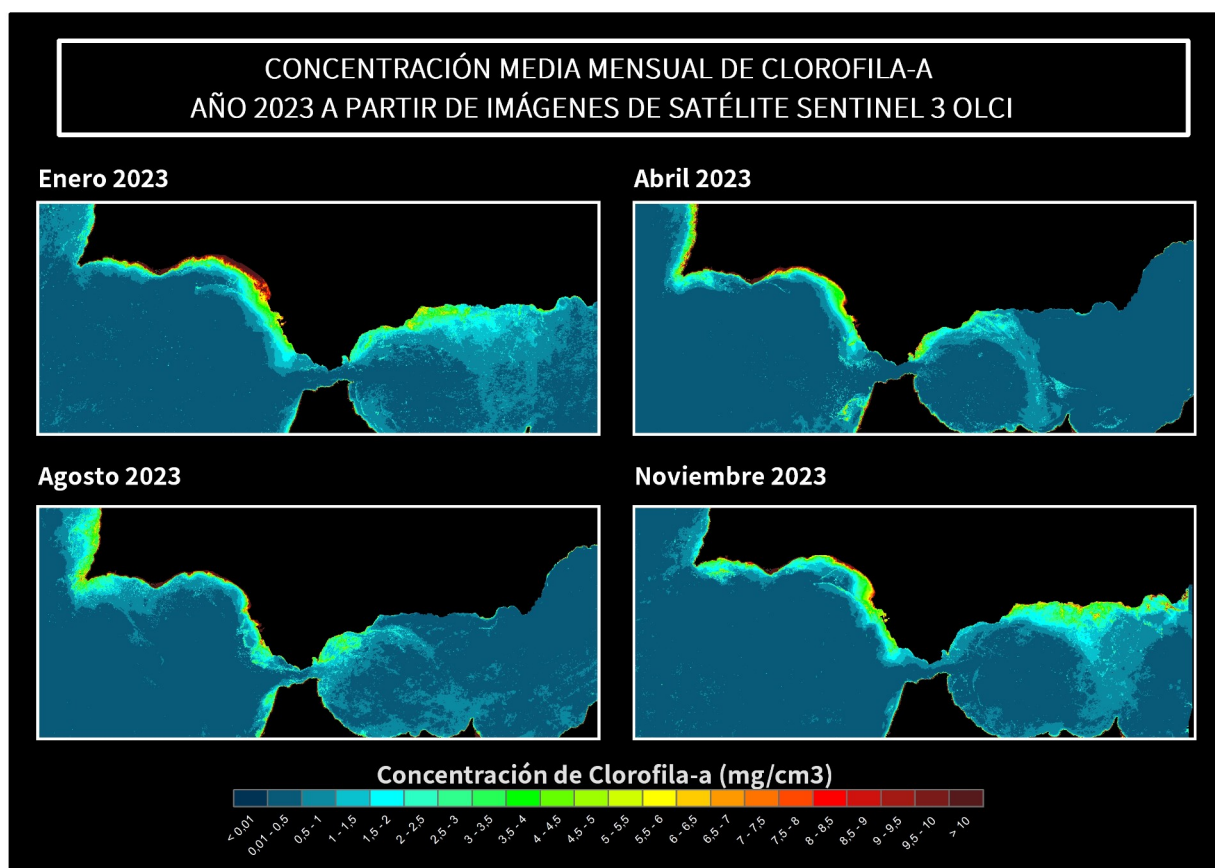
Analizando la variabilidad temporal de la concentración de clorofila-a a lo largo de la serie de años con disponibilidad de datos (de 2000 a 2023) se observa que las menores concentraciones se registran siempre en los meses de verano y otoño, variando la concentración de este parámetro de 0,4 a 0,7 mg/cm³. Considerando los valores promedios de la serie, en el caso de la estación de verano, la concentración de clorofila-a presenta un promedio en torno a 0,4 mg/cm³ y en otoño de 0,5 mg/cm³. Sin embargo, en la época invernal y principios de primavera estas variaciones son más marcadas que las variaciones de los veranos u otoños. En este caso, el intervalo de variación de clorofila-a está entre 0,5 y 1,4 mg/cm³ con un promedio en torno a 0,8 mg/cm³ en la estación invernal y 0,6 en primavera. Esto puede explicarse por el efecto que conlleva sobre la población de fitoplancton el afloramiento de aguas profundas más frías y ricas en nutrientes. Según observamos en la gráfica para el año 2023 y desde 2018, existe un suavizado de los valores extremos tendiendo a regularse los valores de clorofila-a hacia un comportamiento medio, próximo al obtenido con el cálculo de la media histórica. Así, para el año 2023 la clorofila se encuentra por encima de



los valores medios de la serie histórica en todos los meses excepto en marzo, abril y diciembre donde los valores son aproximados a la media.



En cuanto a la variabilidad espacial de la clorofila-a, se observa que durante todo el año en la zona atlántica, la concentración es muy alta ($> 0,7 \text{ mg/cm}^3$), situándose los valores máximos en la franja más costera. Esta franja muy eutrófica se mantiene a lo largo de todo el año, cambiando la anchura de la misma. Desde los máximos primaverales hasta los mínimos estivales, la concentración de clorofila disminuye paulatinamente, observándose a lo largo de todos los meses que en la zona más oceánica, dicha concentración disminuye hasta valores cercanos a $0,1 \text{ mg/cm}^3$. Se observan dos bloom de fitoplancton a lo largo del ciclo anual. El primero de ellos, de mayor intensidad se produce en los meses de invierno-primavera (con una concentración media cercana $\pm 0,80 \text{ mg/cm}^3$) y está relacionado con el bloom primaveral para aguas de latitudes medias, mientras que el segundo, de menor intensidad, se da en los meses de otoño ($\pm 0,55 \text{ mg/cm}^3$). Estas concentraciones superiores en la costa, podrían estar asociadas al aporte de nutrientes proveniente de los ríos que desembocan en la cuenca atlántica o relacionadas con situaciones concretas de vertido. En el Mediterráneo, la mayor concentración de clorofila en 2023 se consigue en los meses de febrero y marzo, mesese en los que casi toda la costa presenta concentraciones superiores a $0,4 \text{ mg/cm}^3$. A partir de este mes la concentración de clorofila va disminuyendo, tanto en la costa como en mar abierto, has los meses de noviembre y diciembre donde vuelve a ver un repunte debido a afloramientos de aguas mas frías ricas en nutrientes. A medida que se aproxima el verano comienzan a decaer los valores de clorofila, tanto en la costa como en mar abierto.



Si analizamos los datos de anomalías, se observa que el rango de anomalías es mayor en la época invernal (-0,3 a 0,7 mg/cm³) y primaveral (-0,3 a 0,4 mg/cm³) que en la época de verano y otoño (-0,1 a 0,2 mg/cm³ y -0,2 a 0,2 mg/cm³ respectivamente). El análisis de las mismas muestra una tendencia hacia anomalías negativas a partir del año 2007, especialmente en las estaciones de otoño e invierno, donde prácticamente (excepto 2010 para invierno, 2012-2013 para primavera y otoño 2018 y 2019) todas las concentraciones medias de clorofila-a registradas por estación son menores a la media de los datos de la serie 2000-2023. Esta tendencia se ve interrumpida en 2016, 2022 y 2023 puesto que todas las estaciones están por encima de la media histórica entorno a 0,15 mg/cm³. En el año 2017, las anomalías volvieron a ser negativas en todas las estaciones situándose por debajo de la media histórica entorno a 2,6 mg/cm³. En el caso de 2018, las anomalías son negativas en la estación de invierno (entorno a -0,15 mg/cm³) y verano (entorno a -0,02 mg/cm³); y positivas en primavera (entorno a 0,02 mg/cm³) y otoño (entorno a 0,09 mg/cm³), este



comportamiento de las anomalías son explicadas por el ciclo estacional. En el año que nos ocupa el comportamiento de las anomalías presentan un aumento de la concentración de clorofila durante los meses de verano, donde se observan máximos de afloramiento, detectándose también muy sutilmente, los picos de la estación otoñal, esto puede ser debido a un periodo de mayor caudal de los ríos del sur peninsular.

