

## TELEDETECCIÓN DEL FITOPLANCTON EN AGUAS CONTINENTALES

Antonio Ruiz-Verdú, José Antonio Domínguez,  
Caridad de Hoyos y Ramón Peña

averdu@cedex.es

Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. Pº  
Bajo virgen del Puerto, 3. 28005. Madrid

### RESUMEN

Se presentan los primeros resultados del estudio bio-óptico realizado en 34 embalses y dos lagos en el periodo 2001-2002, en el que se ha generado una base de datos que incluye medidas de reflectancia del agua e información del fitoplancton y su composición pigmentaria. La obtención de derivadas de los espectros originales ha permitido identificar los máximos de absorción de pigmentos fotosintéticos con valor taxonómico. Además, se han encontrado correlaciones significativas entre la concentración de algunos de estos pigmentos e índices ópticos basados en las bandas del sensor MERIS.

### ABSTRACT

We present the first results of the bio-optical study of 36 Spanish water bodies during 2001-2002. The generated database includes water reflectance, photosynthetic pigments concentration and phytoplankton data. The absorption peaks of indicator pigments have been detected through derivative analyses of the reflectance spectra. The concentrations of some of these pigments show a significant correlation with optical indexes based on MERIS bands.

**Palabras clave:** teledetección, bio-óptica, fitoplancton, pigmentos fotosintéticos.

### INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El presente trabajo se enmarca dentro del proyecto de desarrollo de un sistema operacional de teledetección del fitoplancton mediante imágenes del sensor MERIS. El objetivo final es obtener una herramienta que estime la biomasa y composición de las comunidades del fitoplancton de los embalses españoles, y realizar un seguimiento de las mismas con la resolución espaciotemporal que permitan los nuevos sensores multi o hiperspectrales. La información aportada puede ser de gran valor en el estudio de la eutrofización, la detección de *blooms* de algas potencialmente tóxicas y la gestión de la

calidad de las aguas.

La hipótesis de partida, fundamentada en trabajos previos realizados en aguas costeras (Aguirre-Gómez *et alli*, 2001; Lahet *et alli*, 2001) y continentales (Gege, 1997), es que en los espectros de reflectancia del agua, observados desde una plataforma remota, pueden identificarse las bandas de absorción de algunos pigmentos fotosintéticos del fitoplancton. A su vez, algunos de estos pigmentos son específicos de un único grupo taxonómico, por lo que su detección tiene un valor indicador y puede servir para estimar la composición aproximada de las comunidades algales.

Para poder contrastar esta hipótesis, se planteó la realización de una campaña de medidas bio-ópticas en una muestra representativa de los embalses y lagos españoles de mayor tamaño, a lo largo de un año hidrológico. El muestreo se estratificó partiendo de una clasificación previa de las masas de agua y con el objetivo de estudiar el mayor número posible de condiciones ambientales.

El primer objetivo a alcanzar es la obtención de modelos, basados principalmente, pero no exclusivamente, en la reflectancia observada en las bandas MERIS y que estimen la concentración de clorofila *a* (biomasa) y de pigmentos accesorios indicadores (ficocianina, fucoxantina...). Los algoritmos obtenidos para las bandas MERIS, se calibrarán y validarán con datos de campo simultáneos a la adquisición de las imágenes, en un nuevo conjunto de embalses, una vez estén disponibles las imágenes.

### MATERIALES Y MÉTODOS

Se ha estudiado un total de 36 masas de agua, procurando visitarlas, siempre que ha sido posible, en más de una ocasión a lo largo del año. Se han realizado medidas en un total de 100 puntos.

Las medidas radiométricas se han realizado con un espectrorradiómetro de campo ASD-FR, equipado con accesorios para la medida de la radiancia e irradiancia, tanto fuera como dentro del agua. La variable principal,  $R_{rs}$  (*remote sensing reflectance*,  $sr^{-1}$ ) se ha obtenido siguiendo los protocolos de Fargion y Mueller (2000) y aplicando la corrección para la reflexión especular propuesta por Mobley (1999). Además se ha medido la radiancia ascendente en la superficie del agua ( $L_u$ ) y se han realizado perfiles de atenuación de la irradiancia descendente ( $E_d$ ) y ascendente ( $E_u$ ) en la zona

eufótica. Este último conjunto de variables, además de permitir una clasificación óptica de las masas de agua estudiadas, ha servido para estimar algunas propiedades ópticas inherentes de gran interés, como el coeficiente de absorción total ( $a_t$ ,  $m^{-1}$ ), siguiendo el modelo propuesto por Højerslev (2001).

Partiendo de  $K_d(\text{PAR})$ , el coeficiente de atenuación de  $E_d$  para la radiación fotosintéticamente activa, calculado *in situ*, se ha obtenido para cada punto la profundidad de la zona eufótica y del primer espesor óptico, que es la capa de la que procede el 90% de la señal detectada por un sensor remoto (Gordon y McCluney, 1975).

En cada punto se ha obtenido una muestra integrada de agua correspondiente al primer espesor óptico. Una fracción se ha filtrado a vacío utilizando filtros Whatman GF/F, para posteriormente analizar, por un lado la concentración de clorofila *a* y *b* y carotenoides mediante HPLC (Jeffrey *et alii*, 1991) y, por el método del choque osmótico, la concentración de ficobiliproteínas (Bennet y Bogorad, 1973). En la otra fracción se ha determinado la composición del fitoplancton por microscopía óptica y la concentración de sólidos en suspensión.

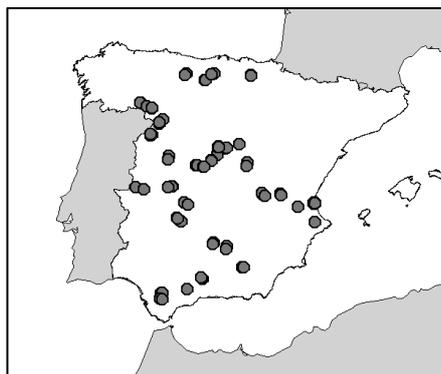
Además, mediante un CTD (Sea-Bird Electronics), equipado con cuatro fluorómetros (SeaPoint y Chelsea), se han realizado en cada punto perfiles de temperatura, conductividad y concentración de clorofila *a*, ficocianina, ficoeritrina y CDOM (materia orgánica disuelta coloreada). Las determinaciones de laboratorio de clorofila *a* y ficobiliproteínas han servido para validar la calibración de los fluorómetros

## RESULTADOS

En la figura 1 se muestra la distribución geográfica de los 100 puntos de muestreo, ubicados en un total de 36 masas de agua (34 embalses, más el Lago de Sanabria y la Albufera de Valencia). Los embalses fueron seleccionados de entre los 120 de mayor superficie, que son aquellos suficientemente grandes como para ser estudiados con imágenes MERIS. Dichos embalses fueron estratificados de acuerdo con su mineralización, grado trófico y tiempo de residencia. A partir de esa estratificación se obtuvo la muestra de estudio.

Los estadísticos de algunas variables medidas en los puntos de muestreo reflejan la diversidad ambiental de las masas de agua escogidas (Tabla 1). Esta

diversidad tiene su reflejo en las comunidades de algas encontradas. Existen unos 30 puntos en los que hay un grupo algal dominante (>80% de la biomasa) y numerosas situaciones intermedias.

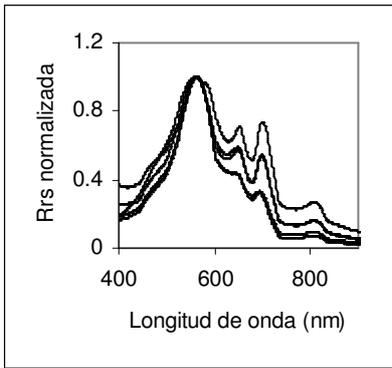


**Figura 1.-** Distribución geográfica de las masas de agua estudiadas

Variable	Media	Mediana	Máx	Mín	S
Zemb (m)	25.9	23.0	127.0	0.5	20.3
$K_d(\text{PAR})$ ( $m^{-1}$ )	2.1	0.8	18.9	0.2	3.6
Z_RS (m)	1.5	1.2	5.0	0.1	1.1
Z_EU (m)	6.8	5.6	23.1	0.2	5.0
Cond. ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	538.5	258.7	2350.5	9.3	576.5
[Clf a] ( $\mu\text{g ml}^{-1}$ )	19.2	9.6	75.8	0.9	21.3
[SS] ( $\text{mg ml}^{-1}$ )	5.3	2.9	49.1	0.2	7.9

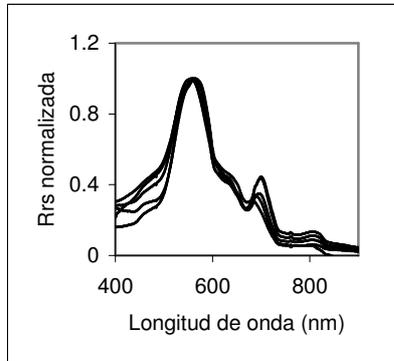
Zemb = Profundidad de la masa de agua  
 $K_d(\text{PAR})$  = Coeficiente de atenuación de  $E_d(\text{PAR})$   
 Z\_RS = Profundidad del primer espesor óptico  
 Z\_EU = Prof. zona eufótica (0,1%  $E_d$  superficie)  
 Cond = Conductividad media en la zona eufótica (Z\_EU)  
 [Clf a] = Concentración media de clorofila *a* en Z\_EU  
 [SS] = Conc. media de sólidos en suspensión en Z\_EU

**Tabla 1.-** Estadísticos de algunas variables en los puntos de muestreo (N=100)

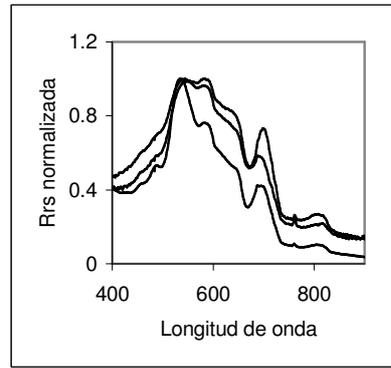


**Figura 2.-** Biomasa de cianobacterias >80 %

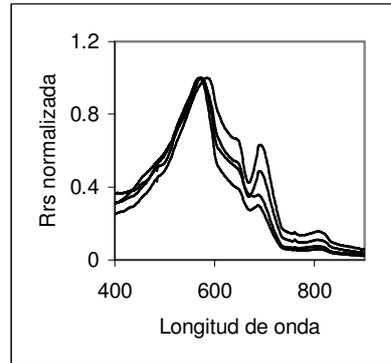
La diferente composición del fitoplancton se pone de manifiesto en los espectros de reflectancia ( $R_{rs}$ ). Las figuras 2 a 5 muestran espectros obtenidos en masas de agua en las que la biomasa está dominada por un único grupo algal. Para simplificar su interpretación y representación gráfica se han normalizado con respecto a su máximo de reflectancia.



**Figura 3.-** Biomasa de clorofíceas >80 %

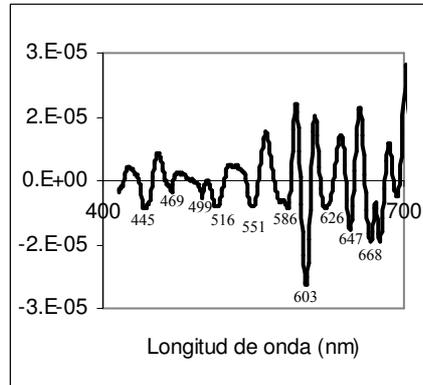


**Figura 4.-** Biomasa de criptofíceas >80 %



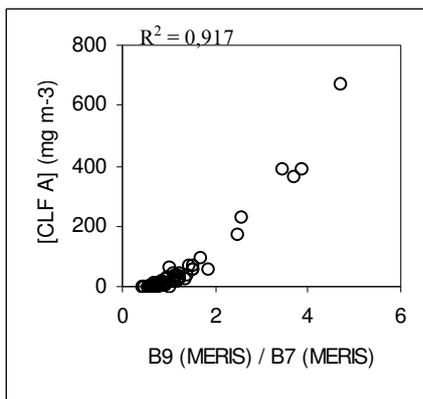
**Figura 5.-** Biomasa de diatomeas >80 %

Estos puntos pueden servir para definir *espectros tipo*, a partir de los cuales se pueden encontrar los máximos de absorción característicos de cada grupo en poblaciones naturales. Para ello se lleva a cabo un análisis de las derivadas de los espectros de reflectancia. En la Figura 6 se muestra un ejemplo de derivación en un punto dominado por clorofíceas (Figura 3)

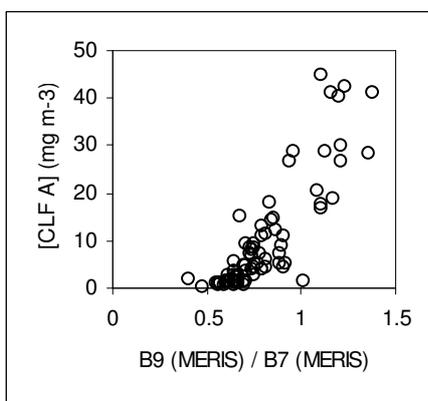


**Figura 6.-** 4ª derivada de uno de los espectros de la figura 3. Se indican los máximos de absorción asociados a los pigmentos fotosintéticos característicos de este grupo

Además del estudio hiperespectral, se están desarrollando modelos basados en índices ópticos calculados para las bandas del sensor MERIS. Algunas de los índices probados hasta el momento, muestran correlaciones significativas con la concentración de pigmentos fotosintéticos, como es el caso de la clorofila a (Figura 7)



**Figura 7a.-** Gráfico de dispersión del cociente entre la banda 9 ( $705 \pm 10$  nm) y la 7 ( $665 \pm 10$  nm) y la concentración de clorofila a en el primer espesor óptico



**Figura 7b.-** Detalle del gráfico anterior para [clorofila a]  $< 50$  mg m<sup>-3</sup>

## BIBLIOGRAFÍA

Aguirre-Gómez, R., Boxall, S. R. y Weeks, A. R. 2001. Detecting photosynthetic algal pigments in natural populations using a high spectral resolution spectroradiometer. *Int. J. Remote Sensing* 22 (15), 2867-2884

Bennett, A. and Bogorad, L. 1973. Complementary chromatic adaptation in a filamentous blue-green alga. *The Journal of Cell Biology* 58, 419-435

Fargion, G. S. y Mueller, J. L. 2000. Ocean Optics Protocols for Satellite Ocean Color Sensor Validation, Revision 2. NASA. Goddard Space Flight Center. Greenbelt, Maryland

Gege, P. 1997. Classification of phytoplankton in Lake Constance by modelling the albedo. *Proc. SPIE Vol 2963*, 423-428, *Ocean Optics XIII*, Steven G. Ackelson (Ed)

Gons, H. J., Rijkeboer, M. y Ruddick, K.G. 2002. A chlorophyll-retrieval algorithm for satellite imagery (Medium Resolution Imaging Spectrometer) of inland and coastal waters. *Journal of Plankton Research* 24 (9), 947-951

Højerslev, N. K. 2001. Analytic remote-sensing optical algorithms requiring simple and practical field parameter inputs. *Applied Optics* 40 (27), 4870-4874.

Jeffrey, S.W., Mantoura, R.F.C and Wright, S.W. (Eds.) 1997. Phytoplankton pigments in oceanography. *UNESCO Publishing*, 661 pp.

Lahet, F., Forget, P. y Ouillon, S. 2001. Application of a colour classification method to quantify the constituents of coastal waters from *in situ* reflectances sampled at satellite sensor wavebands. *Int. J. Remote Sensing* 22 (5), 909-914

Mobley, C.D. 1999. Estimation of the remote-sensing reflectance from above-surface measurements. *Applied Optics* 38 (36), 7442-7454.