

## TELEDETECCIÓN AEROPORTADA HIPERESPECTRAL DEL EMBALSE DE RIBARROJA

A. RUIZ-VERDÚ, J. A. DOMÍNGUEZ y R. PEÑA

rpena@cedex.es

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

**RESUMEN:** En el marco de un Proyecto de la ESA sobre investigación de la composición del fitoplancton de los embalses utilizando imágenes del sensor MERIS del satélite ENVISAT-1 se ha realizado un vuelo con el sensor aeroportado CASI-2 que ha dado resultados prometedores en cuanto al desarrollo de modelos de inversión que permitan asociar puntos notables del espectro con los pigmentos representativos de los tipos de algas.

**Palabras clave:** teledetección, limnología, fitoplancton, sensores aeroportados

### INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se enmarca en el proyecto de desarrollo, por parte del CEDEX, de un sistema operacional para la obtención de mapas temáticos de pigmentos fotosintéticos en lagos y embalses, utilizando el sensor MERIS del satélite Envisat-1 (ESA AO-ID-594). Las imágenes serán de resolución media, unos 300 m, lo que limita el estudio a las masas de agua más extensas, unos 100 embalses, que sin embargo almacenan el 80% de la capacidad total de reserva hídrica nacional.

El objetivo principal es la obtención de *modelos de inversión* para la clorofila *a* y otros pigmentos fotosintéticos, aplicables a los lagos y embalses españoles. Se pretende que los mapas resultantes contengan no solo información relativa a la biomasa, sino una aproximación a la composición del fitoplancton, al menos en grandes grupos de algas. Ello permite conocer la evolución de gran interés para los gestores del agua.

La primera fase del proyecto consiste en la generación de una base de datos radiométricos y biogeoquímicos, obtenidos de un muestreo realizado a lo largo de un año en un grupo de embalses, representativo de la variabilidad de masas de agua peninsulares. Los datos servirán para el desarrollo de los modelos, que posteriormente se calibrarán y verificarán con imágenes MERIS.

Dentro de este marco de actuaciones, se planteó la posibilidad de utilizar sensores hiperespectrales aeroportados, como el CASI-2 que posee el Instituto Cartográfico de Cataluña (ICC). Gracias a la excelente disposición del ICC para la colaboración se pudo reali-

zar una campaña piloto, cuyos resultados han sido muy prometedores.

La zona sobrevolada se sitúa en la cola del embalse de Ribarroja. El embalse está destinado a producción hidroeléctrica y se caracteriza por tener un tiempo de retención muy pequeño. En el embalse se produce la mezcla del agua de los ríos Ebro y Segre, de naturaleza muy distinta. La importante corriente del Segre moviliza los sedimentos finos depositados en el fondo (1 - 6 m de profundidad), produciendo una elevada turbiedad. La transparencia del agua del Ebro, procedente habitualmente del fondo del embalse de Mequinenza, es mucho mayor.

### MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos de las imágenes son los siguientes:

- Fecha de adquisición: 02/03/2000
- Georreferenciación: UTM 30
- Resolución espacial: 4.00 m
- Configuración espectral: 48 canales ( $\lambda = 412 - 960$  nm)
- Digitalización: 16 bits

Las longitudes de onda centrales y ancho de banda de los canales utilizados se recogen en la tabla 1.

De forma simultánea al vuelo se recogieron muestras superficiales para la determinación de la concentración de clorofila *a* y de sólidos en suspensión, así como la estimación de la biomasa y composición del fitoplancton por microscopía óptica. También se midió la transparencia mediante el disco de Secchi.

En cada punto de muestreo se realizaron además medidas con el espectrorradiómetro de campo ASD FR, de amplio espectro (350 - 2500 nm), que permitieron la transformación de los valores originales de radiancia de las imágenes ( $mW \cdot cm^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot nm^{-1}$ ) a reflectividades por regresión lineal.

Para la obtención del mapa de clorofila se aplicó el método de inversión propuesto por Sydor (Sydor *et alii*, 1998). Los modelos de inversión se basan en la relación existente entre la reflectividad y las propiedades ópticas aparentes del agua, que se obtiene de soluciones numéricas de la ecuación de transferencia radiativa (Mobley, 1994). En el caso de medios acuáticos con presencia de partículas, la reflectividad medida por un sensor remoto ( $R_{rs}$ ) puede expresarse como:

$$R_{rs} = C b_b / (a + b_b) \quad (1)$$

Donde C es una pseudoconstante y  $a$  y  $b_b$  son, respectivamente, los coeficientes de absorción y retrodispersión (*backscattering*) del medio acuático (se omite en la notación la dependencia espectral). Estos coeficientes son dos propiedades ópticas inherentes (Kirk, 1994), que dependen de los constituyentes ópticamente activos del agua pero no del campo de luz, como la reflectividad, que es una propiedad óptica aparente.

En una masa de agua continental, el coeficiente de absorción resulta de la suma de los coeficientes del agua pura de la materia orgánica disuelta *coloreada* (CDOM) y las partículas (principalmente el fitoplancton). Estos coeficientes se pueden determinar experimentalmente por métodos espectrofotométricos (el del agua está tabulado) y existe abundante bibliografía sobre ellos (Kirk, 1994). Sin embargo la determinación de  $b_b$ , que depende de las partículas inorgánicas y del fitoplancton, es más compleja.

El método de Sydor permite la estimación del coeficiente de absorción a partir de una simplificación de la ecuación 1:

$$R_{rs}(\lambda) = C_b(\lambda) / a(\lambda) \quad (2)$$

Donde  $C_b(\lambda) \propto 1/\lambda$ . En la región de 720 a 740 nm la absorción debida a pigmentos fotosintéticos y materia orgánica disuelta es mínima, y el valor de  $a$  será el correspondiente al agua pura ( $a_w$ ). En consecuencia la medida de  $R_{rs}$  en esa región nos da una estimación de  $C_b$ , que se puede extrapolar a todo el espectro visible de acuerdo a la ley  $\lambda^{-1}$ .

Una vez calculado, se sustrae el valor de  $C_b(\lambda)$  del de  $R_{rs}(\lambda)$  y se obtiene el espectro de absorción de la masa de agua estudiada. El interés de estas transformaciones es que el espectro de absorción se

correlaciona directamente con la composición pigmentaria del fitoplancton.

## RESULTADOS

Los valores del coeficiente de absorción obtenidos de las imágenes se correlacionaron con las medidas de clorofila. La mejor correlación ( $R^2 = 0,8942$ ,  $p < 0,05$ ,  $N=10$ ), se produjo con la banda 23, que está centrada en 665 nm (máximo de absorción de la clorofila). La ecuación de regresión obtenida fue:

$$[clf-a] = 69,372 \cdot B23 - 7,105 \quad (3)$$

Donde [clf-a] es la concentración de clorofila a en  $mg/m^3$ .

Para las otras variables consideradas (transparencia, en metros y concentración de sólidos en suspensión, en mg/l) se obtuvieron ecuaciones de regresión directamente con los valores de reflectividad con un  $R^2 > 0,9$  en ambos casos.

$$SD = 3,4492 - 22,457 \cdot B15 \quad (4)$$

$$[ss] = 872,83 \cdot B31 - 1,2927 \quad (5)$$

Aunque no se analizaron las concentraciones de otros pigmentos fotosintéticos, sí se disponía de análisis de la composición del fitoplancton por microscopía óptica. En el brazo del Segre había dominancia de diatomeas, mientras que en el brazo del Ebro predominaban las clorofíceas. Estos dos tipos de algas poseen una composición pigmentaria diferente, lo que da como resultado espectros de absorción distintos.

Se analizaron también los mapas del coeficiente de absorción en aquellas bandas correspondientes a máximos de pigmentos específicos de los grupos citados, que resultaron concordantes con el esquema de distribución observado (figura 1).

## CONCLUSIONES

El sensor CASI-2 ha demostrado ser una herramienta útil para la futura calibración y validación de modelos con el sensor MERIS, gracias a su alto número de bandas espectrales y la gran flexibilidad de configuración.

El uso de sensores hiperespectrales, con bandas de frecuencia estrechas, permite obtener correlaciones altamente significativas con variables de interés para el conocimiento de la calidad del agua y el grado trófico de los embalses (concentración de clorofila, sólidos en suspensión y transparencia).

Aunque son necesarios estudios más detallados (mayor número de datos y embalses estudiados, análisis de pigmentos y medidas in situ de propiedades ópticas

del agua), los resultados son prometedores en cuanto a la capacidad de diferenciación de grupos de algas en función de su respuesta espectral.

#### BIBLIOGRAFÍA

KIRK, J. T. O. (1994) *Light & Photosynthesis in Aquatic Ecosystems*. Cambridge Univ. Press.

MOBLEY, C. D. (1994) *Light and Water: radiative transfer in natural waters*. Academic Press.

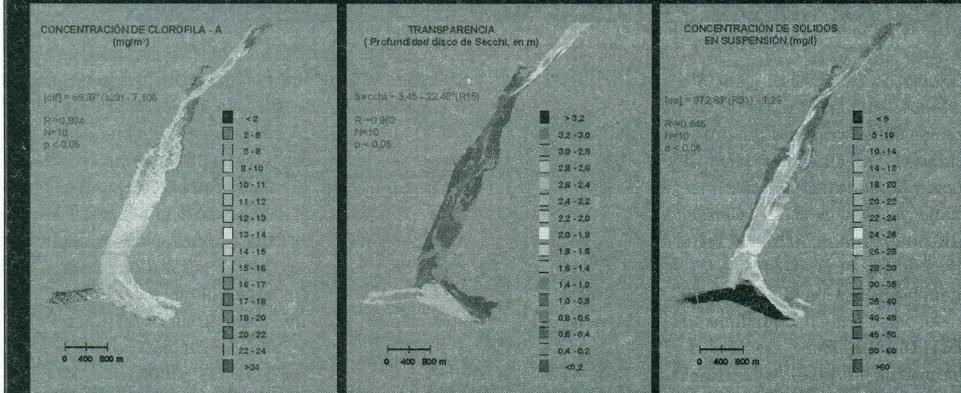
SYDOR, M. (1998) *Remote-sensing technique for determination of the volume absorption coefficient of turbid water*. *Applied Optics*, 37:21, 4944-4950.

Banda	Centro(nm)	Ancho(nm)
1	417,7	11,4
2	428,7	11,4
3	439,8	11,4
4	450,85	11,5
5	461,95	11,5
6	473,1	11,4
7	484,25	11,5
8	495,45	11,5
9	506,6	11,6
10	517,85	11,5
11	529,1	11,6
12	540,3	11,6
13	551,6	11,6
14	562,9	11,6
15	574,25	11,7
16	585,6	11,6
17	596,95	11,7
18	608,35	11,7
19	619,75	11,7
20	631,15	11,7
21	642,55	11,7
22	654	11,8
23	665,45	11,7
24	676,9	11,8

Banda	Centro(nm)	Ancho(nm)
25	688,35	11,7
26	699,85	11,7
27	711,35	11,7
28	722,85	11,7
29	734,4	11,8
30	745,9	11,8
31	757,4	11,8
32	768,95	11,9
33	780,5	11,8
34	792,05	11,9
35	803,6	11,8
36	815,15	11,9
37	826,7	11,8
38	838,3	11,8
39	849,85	11,9
40	861,45	11,9
41	873	11,8
42	884,6	11,8
43	896,15	11,9
44	907,7	11,8
45	919,3	11,8
46	930,85	11,9
47	942,4	11,8
48	953,4	10,8

Tabla 1. Configuración de los canales del sensor CASI-2.

## RESULTADOS. 1 - MAPAS TEMÁTICOS



## RESULTADOS. 2 - RESPUESTA ESPECTRAL DEL FITOPLANCTON

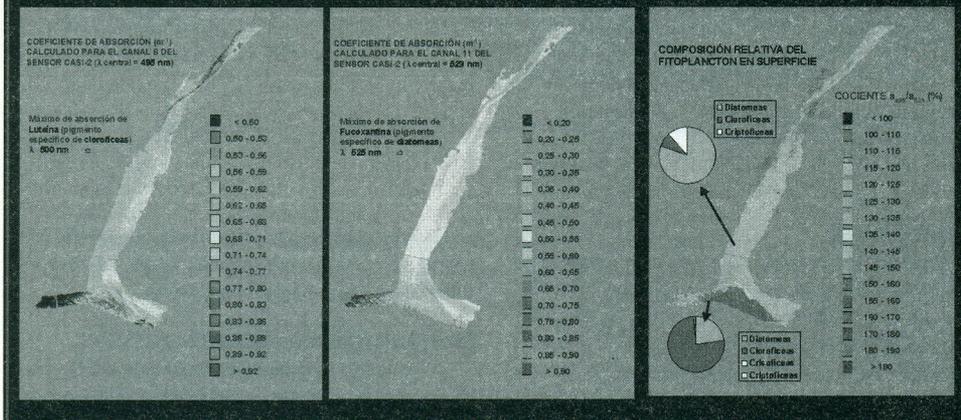


Figura 1. Mapas temáticos comparativos.