

## DETERMINACIÓN DE MACRÓFITOS EN EL RÍO EBRO ENTRE FLIX Y MORA D' EBRE

S. Montesinos (\*), M. Bea (\*), C. Durán (\*\*), y J. Á. Losada (\*\*).

(\*). *GEOSYS. Sector Foresta 23. Locales 7 y 8. 28760 Tres Cantos – Madrid. smontesinos@geosys.es*

(\*\*). *Confederación Hidrográfica del Ebro. Paseo Sagasta, 24-26. 50071 Zaragoza.*

### RESUMEN

En los últimos años, la vegetación acuática ha adquirido uno de los desarrollos más notables que se recuerdan en la cuenca del Ebro, provocando molestias a los usuarios que detraen agua del río. Esta situación es especialmente preocupante aguas abajo de la presa de Flix hasta prácticamente la desembocadura del río Ebro en el mar Mediterráneo.

La información multispectral que aportan las imágenes de satélite puede ser obtenida también, a partir de sensores multispectrales embarcados en avión. Esta posibilidad nos permite mejorar la resolución espacial y la disponibilidad temporal de las imágenes.

La caracterización multispectral de los macrófitos ha permitido establecer su distribución a lo largo de los 35 Km. de cauce analizados. La respuesta diferencial que se produce en las distintas regiones del espectro, ha permitido diferenciar cuatro clases: Libre de macrófitos, Macrófitos superficiales, Macrófitos sumergidos y Macrófitos semisumergidos.

### ABSTRACT

Recently, aquatic vegetation had acquired one of the most important developments at the Ebro River Basin that can be reminded, causing problems to users who detract water to the river. This situation is especially worrying down water near Flix dam until close to the Ebro estuary at Mediterranean Sea.

The multispectral information from satellite images can be obtained too from multispectral sensor from airborne. This possibility allows us to improve the spatial resolution as well as the temporal availability of images.

The multispectral characterisation of macrophyte had allowed establishing their distribution along the 35 Km of the analysed river course. The different response along spectrum regions produces the characterization of 4 water classes: free of macrophyte, shallow macrophyte, submerged macrophyte and semi-submerged macrophyte.

**Palabras clave:** macrófitos, vegetación sumergida.

### INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la vegetación acuática ha adquirido uno de los desarrollos más notables que se recuerdan en la cuenca del Ebro, provocando molestias a los usuarios que detraen agua del río. Esta situación es especialmente preocupante aguas abajo de la presa de Flix hasta prácticamente la desembocadura del río Ebro en el mar Mediterráneo.

La Confederación Hidrográfica del Ebro ha llevado a cabo un estudio para conocer la Evolución de estos macrófitos en el río Ebro, entre Flix y el mar Mediterráneo, entre los años 2002 y 2007. Este estudio ha constatado que los macrófitos comenzaron a desarrollarse de forma significativa a partir de los años 90 y que los tramos donde se ha observado una densidad de macrófitos más elevada son el meandro de Flix, el tramo entre las localidades de García y Mora d'Ebre, así como en el tramo entre Tortosa y Campredó.

Los problemas que están generando, especialmente en la central de Ascó, han llevado a la Confederación del Ebro a plantearse la necesidad del seguimiento de este fenómeno mediante técnicas de teledetección que permitan espacializar los muestreos realizados en campo y analizar la posibilidad de extrapolar los resultados obtenidos.

Hay muchos tipos de ecosistemas acuáticos, y en cada uno de ellos, la luz interacciona en función de sus componentes microacuáticos (agua, fitoplancton, materia orgánica, sólidos disueltos, etc) (Kirk, 1984) y macroacuáticos (vegetación acuática, bentónica, fondo, etc) (Maritorena et al, 1994). La teledetección ha estudiado ambos aspectos, el mundo microacuático como calidad del agua (Ortiz y Peña, 1989) y el macroacuático como vegetación acuática sumergida (Ackleson y Klemas, 1987). El uso de la teledetección en el estudio de la vegetación acuática, principalmente macrófitos, está permitiendo la gestión de espacios naturales en todo el mundo (WAPMS, 2005).

Aunque en principio se planteó el uso de imágenes de satélite como fuente de datos (BUSTAMANTE et al, 2005), en la fase de definición del estudio se rechazó esta posibilidad, debido a que la resolución espacial de los satélites actualmente operativos se consideró insuficiente (a excepción de QuickBird con 60 centímetros de resolución espacial), así como a la inseguridad en la resolución temporal que operativamente ofrecen los satélites de muy alta resolución (aunque en teoría pueden captar una imagen cada 2 días, la realidad es que pueden llegar a tardar meses).

La información multispectral que aportan las imágenes de satélite puede ser obtenida también, a partir de sensores multispectrales embarcados en avión. Esta posibilidad nos permite mejorar la resolución espacial y la disponibilidad temporal de las imágenes.

La adquisición de datos multispectrales se ha realizado para un tramo del río Ebro, de unos 35 kilómetros lineales, comprendido entre Flix y Mora d'Ebre. Para ello, se ha instalado un sensor ADS40 de Leica en un avión Partenavia P68C y se ha volado a una altura de 3.000 metros sobre el nivel del mar para obtener una resolución espacial sobre el terreno de 30 cm. de píxel.

El vuelo se realizó el 5 de agosto de 2008, la semana inmediatamente después de las campañas de campo que realiza Confederación Hidrográfica del Ebro en la zona.

Para cubrir el área de estudio se realizaron 3 pasadas, con un solape transversal del 30 % y se captó la información correspondiente a la región de azul, verde y rojo, del visible e infrarrojo próximo. El conjunto de datos de partida, dada su resolución espectral y espacial, son más de 40 Gigabytes de datos.

Una vez se ha verificado que las imágenes captadas son válidas para el objeto del estudio, se han seleccionado aquellos tramos de pasada en la que se observa mejor el cauce del río, eliminando aquellos datos que no corresponden al río, que son redundantes (la misma zona captada en dos pasadas) o que presentan reflejos, lo que impide aplicar las técnicas de tratamiento digital de imagen.

A su vez, el tramo de río que se ha volado se ha dividido en 5 subtramos con objeto de reducir el tamaño de los ficheros de imagen, optimizar el tiempo de proceso y mejorar el análisis para la discriminación de macrófitos. La división realizada se recoge en la figura 1. Estas imágenes se han

corregido geoméricamente con objeto de eliminar las distorsiones del vuelo y adecuarlas a una proyección cartográfica UTM que nos permita ponerlas en relación con otros datos georreferenciados. La georreferenciación se ha hecho tomando como referencia la ortofoto del PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea) del año 2006.

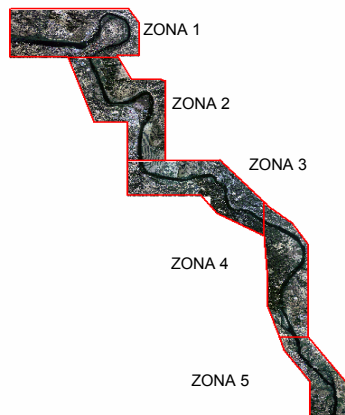


Figura 1. Divisiones del área de estudio.

## METODOLOGÍA

Para cada una de las 5 zonas o subtramos, se han elaborado composiciones en color infrarrojo, maximizando la variabilidad existente en el cauce del río, esqueletizándose el cauce del río, mediante la generación de una máscara que permite eliminar las zonas que no son propiamente río, y realizando un realce radiométrico de los valores multispectrales que tiene el cauce.

Las composiciones en color se han utilizado para determinar los valores umbrales del índice de vegetación que nos permiten discriminar la superficie ocupada por los macrófitos que muestran una mayor respuesta, y que deben corresponder a praderas de alta densidad que afloran en superficie.

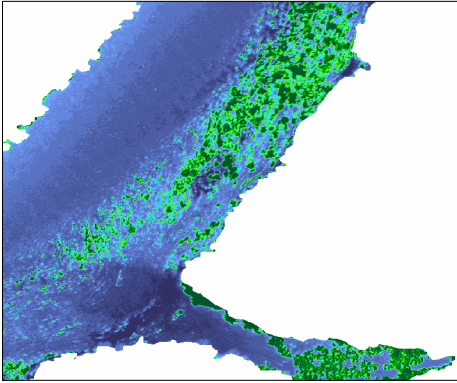
En la figura 2 se puede ver el resultado obtenido al calcular el índice de vegetación a partir de las bandas de IR y Rojo.

Para la determinación de la vegetación sumergida se ha elaborado un índice que responde a la expresión:

$$IVS = ((Banda\ azul + banda\ verde + banda\ rojo) * banda\ azul) / 10000$$

Donde:

$IVS$  es el Índice de Vegetación Sumergida.  
 $Banda *$  es la banda correspondiente del espectro.  
 $10000$  es una constante de reescalado.



**Figura 2.** Determinación de macrófitos en superficie.

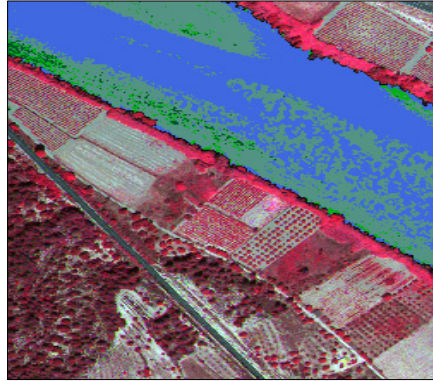
El diseño de este índice está basado en la capacidad de penetración de la radiación visible en el agua, que al encontrar vegetación, queda absorbida por los pigmentos fotosintéticos que trabajan con radiación de onda azul (400-500 nm). Por este motivo, la aplicación del algoritmo produce como resultado valores más bajos en las zonas donde presuntamente existe vegetación sumergida en relación a las áreas adyacentes ocupadas por agua CASTAÑO et al (1999) (Figura 3).



**Figura 3.** Resultado del cálculo del índice de vegetación sumergida.

Basándonos en los valores del índice de vegetación, de las bandas verde y roja y del  $IVS$ , se ha realizado un proceso de clasificación no supervisada para asignar las zonas con una respuesta intermedia a la categoría de vegetación "semi-sumergida".

A partir de la información obtenida en cada uno de los procesos, se ha obtenido, para cada una de las zonas, un mapa de la distribución de macrófitos en función de la profundidad a la que se encuentran (Figura 4).



**Figura 4.** Cartografía final de macrófitos.

Los valores umbrales del índice se han aplicado por separado en diferentes áreas de cada zona de trabajo, debido a que las masas de agua no tienen un valor constante. Esto se debe a diferencias en el ángulo de adquisición del dato y a cambios en la cantidad de sólidos en suspensión disueltos.

En la determinación de los macrófitos semisumergidos, en todos los casos se trata de zonas con una diferencia muy marcada respecto al agua, y que además tienen una distribución espacial coherente con las otras categorías.

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el análisis multiespectral de las imágenes procedentes del sensor ADS40, son resultados cualitativos, ya que no ha sido posible establecer una regresión con datos de campo que nos permitieran obtener datos cuantitativos de variables como densidad o profundidad..

La respuesta diferencial que se produce en las distintas regiones del espectro, ha permitido diferenciar cuatro clases:

1. Libre de macrófitos (azul),
2. Macrófitos superficiales (verde oscuro),
3. Macrófitos sumergidos (gris) y,
4. Macrófitos semisumergidos (verde claro).

Los macrófitos superficiales se discriminan en la región del infrarrojo debido a que el agua clara absorbe la radiación y se comporta como un cuerpo negro, mientras que en esa misma región, los macrófitos tienen una respuesta espectral alta debido a la actividad vegetativa y a la biomasa.

Los macrófitos sumergidos se han diferenciado debido a que el agua refleja la radiación en las longitudes largas (verde y rojo) del visible, mientras que la radiación se transmite en las longitudes de onda corta (azul). Esta propiedad se mantiene hasta profundidades de 20 metros, lo que nos permite cartografiar los macrófitos que se encuentran dentro de la lámina de agua.

La principal ventaja de la técnica empleada, es que la información se obtiene a partir de datos observados (cada 30 cm.), no interpolados y de forma georreferenciada (precisión centimétrica), por lo que puede ser contrastada y validada en campo.

Otra ventaja que ofrece la técnica, es la posibilidad de planificar los muestreos de campo en base a la distribución realmente existente, obteniendo datos más fiables que permitan una mejor caracterización.

La principal limitación viene dada porque la caracterización se realiza atendiendo a la respuesta espectral diferenciada que se produce, pero es necesario realizar una regresión con los datos de campo para establecer las clases informacionales a las que corresponde cada una de las clases espectrales.

En función de los resultados obtenidos, se propone el siguiente esquema metodológico para minimizar la proliferación de macrófitos en la zona.

1. Realizar un vuelo multiespectral y una campaña de campo previos a las avenidas controladas que se realizan para eliminarlos, para caracterizar la distribución, densidad y otras variables de interés.
2. Realizar avenidas controladas, ponderándolas en función de la experiencia adquirida en los estudios realizados hasta la fecha y a la situación que refleja el vuelo multiespectral.

3. Realizar un vuelo multiespectral y una campaña de campo posteriores a la avenida controlada con objeto de caracterizar los efectos de dicha avenida y su nivel de efectividad.

## BIBLIOGRAFÍA

Ackleson, S.G. y Klemas, V. 1987. Remote sensing of submerged aquatic vegetation in lower Chesapeake bay: A comparison of Landsat MSS to TM imagery. *Remote Sensing of Environment*, 22, 235-248.

Bustamante, J.; Díaz-Delgado, R. y Aragonés, D. 2005. Determinación de las características de masas de aguas someras en las marismas de Doñana mediante teledetección. *Revista de teledetección*, 24: 107-111.

Castaño, S.; Mejuto, M. F.; Vela, A.; Quintanilla, A. y Ruiz, J. R. (1999) Monitoring of wetlands evolution. In Montesinos & Castaño (Eds). *ASTIMWR Project. Final Report*. European Commission. Directorate General XII, pp 27-49.

Kirk, J.T.O. 1984. Dependence of relationship between inherent and apparent optical properties of water on solar altitude. *Limnology and Oceanography*. 29:1410-1425.

Maritorena, S.; Morel, A. y Gentili, B. 1994. Diffuse reflectance of oceanic shallow water: Influence of water depth and bottom albedo. *Limnology and Oceanography*. 39(7):1689-1703.

Ortiz, J.L. y Peña, R. 1989. *Remote sensing of limnological parameter in reservoirs*. Monitoring the Earth's Environment: A Pilot Project Campaign on Landsat Mapper Application (1985-1987). ESA. SP-1102. 49-56.

WAPMS: *Western Aquatic Plant Management Society*. 2005 [www.wapms.org/newsletters/2005\\_spring\\_summer.pdf](http://www.wapms.org/newsletters/2005_spring_summer.pdf)

## AGRADECIMIENTOS

Nuestro más sincero agradecimiento a José Antonio Domínguez del CEDEX por la revisión crítica del texto.