

# Utilización del sensor de imagen Airborne Hyperspectral Scanner (AHS) para la cartografía de bosques de *Sargassum muticum* en la Ría de Vigo (Galicia)

G. Casal<sup>1\*</sup>, J. A. Domínguez<sup>2</sup>, N. Sánchez-Carnero<sup>1</sup> y J. Freire<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Recursos Marinos y Pesquerías. Universidad de A Coruña.  
Campus de A Zapateira, s/n. A Coruña

<sup>2</sup> Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX). P.º Bajo de Virgen del Puerto, 3. 28005 Madrid

## Resumen

Debido al rápido avance en la Península Ibérica del alga invasora *Sargassum muticum*, que compete con algas autóctonas de elevada importancia ecológica, se han impulsado iniciativas dirigidas a la búsqueda de metodologías que permitan una rápida evaluación y un seguimiento continuo del avance de esta especie. En este contexto se desarrolla el presente estudio que pretende evaluar la utilidad de las imágenes hiperespectrales para la cartografía de *S. muticum*. Con el fin de validar esta metodología, en junio de 2008 se realizó un vuelo en la Ría de Vigo (Galicia) con el sensor hiperespectral AHS. Durante esta campaña se llevaron a cabo simultáneamente radiometría de campo y muestreos de vegetación intermareal e infralitoral, con el fin de obtener información sobre la variabilidad espacial en la cobertura algal que permitiera calibrar los resultados obtenidos mediante teledetección. En este trabajo se presentan los resultados de una clasificación *cluster-kmeans* y *Spectral Angle Mapper* que ha permitido cartografiar de modo eficiente la distribución de tipos de sustrato (arenoso y rocoso) y de las zonas de cobertura algal. En este momento se continúan realizando nuevas clasificaciones que permitan una mejora de los resultados obtenidos hasta el momento.

**Palabras clave:** hiperespectral, AHS, *Sargassum muticum*, cartografiado bentónico, zona costera.

## Abstract

### Use of Airborne Hyperspectral Scanner (AHS) for mapping *Sargassum muticum* forest in Ría de Vigo (Galicia)

The invasive algae *Sargassum muticum* in the Iberian Peninsula competes with other native algae with important ecological value. The development of new methodologies are necessary in order to evaluate and monitor efficiently the spread of the *S. muticum*. The aim of this project is to validate the use of hyperspectral images to map *S. muticum* forests. Therefore in June of 2008 an hyperspectral flight was carried out over the Ría de Vigo (Galicia) with an Airborne Hyperspectral Scanner (AHS). During this survey, radiometric and algae abundance measures were taken in order to validate the remote sensing data. This study presents some preliminary results of *cluster k-means* and *Spectral Angle Mapper* classifications which has allowed to successfully map sandy and rocky substrates as well as algae areas. Currently, new classifications are being carried out in order to improve these results.

**Key words:** hyperspectral, AHS, *Sargassum muticum*, benthic mapping, coastal zone.

## Introducción

Al severo impacto ecológico y al coste económico de las especies de plantas invasoras

(Drake *et al.*, 1989; Mooney y Cleland, 2001; Pimentel *et al.*, 2002) hay que sumar la pérdida de diversidad biológica que estas especies provocan. (Pimm y Gilpin, 1989; Scott y Willcove, 1998). El desarrollo de técnicas innovadoras para su cartografiado es fundamental no solo para entender su comportamiento y rela-

\* Autor para la correspondencia: gcasal@udc.es  
Recibido: 25-02-10; Aceptado: 11-05-11.

ciones con el medio sino también para tomar decisiones sobre su control y seguimiento.

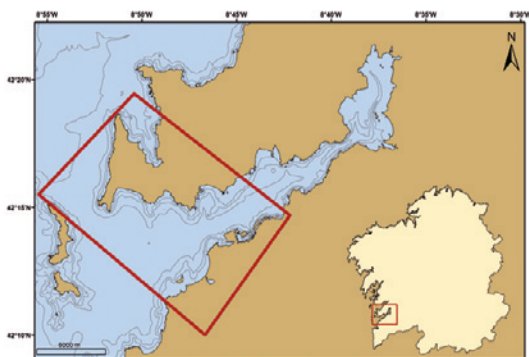
La abundancia y distribución de la vegetación litoral ha sido tradicionalmente estimada utilizando métodos de campo, lo que conlleva un coste importante en tiempo y dinero, así como limitaciones de cobertura espacial y temporal. La utilización de imágenes adquiridas con sensores remotos ofrece una alternativa a los métodos de muestreo tradicionales, permitiendo inventariar grandes extensiones de organismos bentónicos fotosintéticos, a veces de difícil acceso, y realizar un seguimiento continuo sin necesidad de un trabajo de campo exhaustivo.

En este trabajo se aborda el estudio de los hábitats bentónicos de la Ría de Vigo utilizando imágenes adquiridas con el sensor AHS, como un primer paso para el establecimiento de una metodología que permita el cartografiado de comunidades algales y, concretamente, de *Sargassum muticum*.

## Metodología

### Área de estudio

La zona de estudio comprende parte de la Ría de Vigo, definida por la cobertura del vuelo y limitada a su vez por las condiciones meteorológicas en el momento de adquisición de las imágenes. Esta zona comprende desde el límite externo de la Ría de Vigo, entre Cangas y Nigrán, hasta la zona más interna, entre Chapela y Palmás, además de parte de la Ría de Aldán ( $42^{\circ} 09' N$ ,  $8^{\circ} 36' W$  y  $42^{\circ} 21' N$ ,  $8^{\circ} 54' W$ ) (Fig. 1).



**Figura 1.** Ría de Vigo (SW Galicia). El recuadro marca la zona de estudio cubierta por el vuelo hiperespectral.

### Datos de campo

La adquisición de los datos de reflectividad en el campo se realizó tres espectrorradiómetros: un espectrorradiómetro ASD FieldSpec FR y dos espectrorradiómetros Ocean Optics USB 2000, que permitieron obtener registros de reflectividad de superficies fuera del agua e irradiancia solar dentro del agua a diferentes profundidades. La toma de datos desde fuera del agua se realizó con el espectrorradiómetro ASD, fijándolo a la proa de la embarcación para minimizar la influencia de los reflejos de la misma (Fig. 2). El dispositivo utilizado permite controlar los ángulos de medida así como medir la irradiancia solar ( $E_s$ ) una superficie lambertiana, concretamente un Spectralon del 25%, la radiancia del agua ( $L_{sfc}$ ) con  $\theta = 40^{\circ}$  y la radiancia solar difusa ( $L_{sky}$ ) con  $\theta' = 40^{\circ}$ . El campo de visión (FOV) utilizado fue de  $8^{\circ}$ , de acuerdo con los protocolos establecidos en estudios oceánicos (Fargion y Mueller, 2000). El tiempo transcurrido en la toma de las medidas de irradiancia solar, radiancia del agua y radiancia solar difusa fue inferior a un minuto en todos los puntos de muestreo, lo que asegura que las variaciones de iluminación fueran mínimas.

Las dos fibras ópticas de los espectrorradiómetros Ocean Optics USB 2000, utilizados para la obtención de los perfiles de irradiancia de la columna de agua, se fijaron a un soporte con forma de T invertida, de manera que ambos receptores quedan orientados uno respec-



**Figura 2.** Fotografía del soporte fijado a la proa de la embarcación con la fibra óptica del espectrorradiómetro ASD FieldSpec FR y la superficie lambertiana del 25%.



**Figura 3.** Soporte en forma de T invertida al que se fijaron las fibras ópticas de los espectrorradiómetros Ocean Optics USB 2000. Al soporte se le colocaron plomadas que permitían la toma de medidas perpendiculares a la superficie del fondo.

to al otro con un ángulo de 180°. A los extremos de la T se les colocaron plomadas con el fin de obtener una medida perpendicular a la superficie del agua (Fig. 3).

Con estos equipos se realizaron medidas sincrónicas al vuelo hiperespectral. Además, cada punto de muestreo fue posicionado mediante GPS, y se tomaron medidas de velocidad de viento, profundidad y visibilidad del fondo. A esta información se sumaron fotografías y videos tanto de la superficie como submarinos.

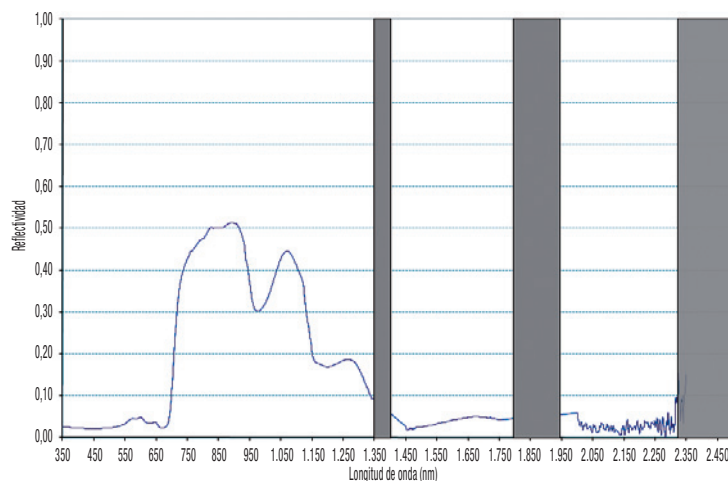
En momentos inmediatamente anteriores y posteriores al vuelo, se recogieron medidas de

reflectividad en la zona terrestre tanto de cubiertas de suelo o vegetación homogéneas, como apoyo al pre-tratamiento de las imágenes AHS, como de diferentes tipos de algas (sumergidas y descubiertas por la marea en el intermareal) (Fig. 4), con el fin de construir una librería espectral. Estas medidas se realizaron con el espectrorradiómetro ASD FieldSpec FR y como blanco de referencia se utilizó una superficie lambertiana del 99%.

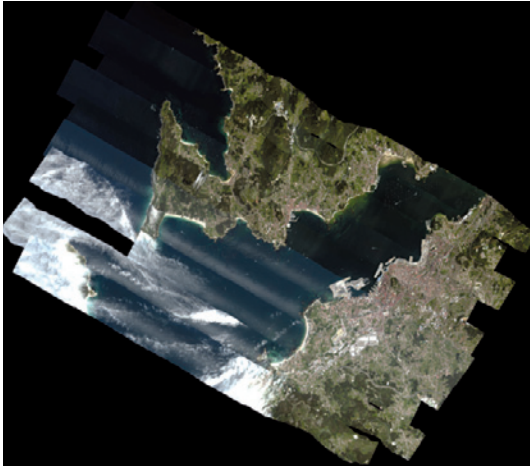
Para la obtención de datos de presencia y densidad de las comunidades algales que pudiesen ser comparados con las reflectividades medidas, se realizaron muestreos intermareales (en áreas identificadas previamente con presencia de *Sargassum muticum*) y submareales (en aquellos puntos donde se tomaron medidas de reflectividad de fondo). En ambos casos se estimó la abundancia relativa de los diferentes tipos de algas mediante cuadrados de 50 × 50 cm.

### Imágenes del sensor AHS

Las imágenes fueron adquiridas entre las 8:46 y las 11:21 h del 21 de junio de 2008 mediante el sensor aerotransportado AHS (*Airborne Hyperspectral Scanner*). Este sensor es un escáner lineal de tipo whiskbroom, que registra la radiación procedente de la superficie en 80 bandas espectrales dentro de las ventanas atmosféricas del visible al infrarrojo térmico (entre 0,43 y 12,5 micrómetros). En este



**Figura 4.** Espectro de un alga medido con el espectrorradiómetro ASD FieldSpec FR.



**Figura 5.** Mosaico del vuelo hiperspectral realizado con el sensor AHS. El mosaico comprende 10 pasadas válidas de 18 km de longitud. En la zona externa de la Ría aparecen zonas afectadas por nubosidad y *sun glint*.

caso el sensor estaba instalado en una aeronave CASA-212-200 del INTA (Instituto Nacional de Técnicas Aeroespaciales) e integrado con un equipo GPS/INS POS-AV 410. El vuelo se realizó a una altura de 32.000 pies lo que permitió obtener una resolución espacial de 2,5 m. Se realizaron en total 10 pasadas válidas con una longitud total de 18 km (Fig. 5). A partir de las 11:00 h el área comenzó a cubrirse por una nubosidad baja, por lo que las imágenes correspondientes a la zona más externa de la

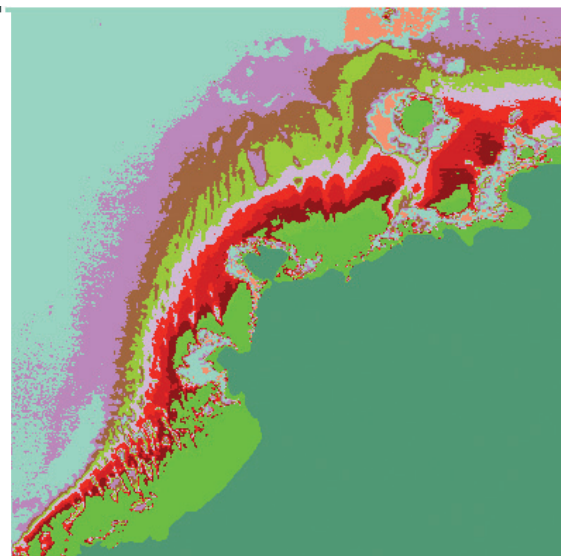
Ría se encuentran parcialmente cubiertas y afectadas por *sun glint*.

### Análisis de las imágenes

El tratamiento previo de las imágenes fue realizado por el INTA en 3 fases: a) corrección geométrica utilizando un MDT de 5 metros de tamaño de píxel (SIXPAC, Xunta de Galicia), b) corrección radiométrica, y c) una corrección atmosférica con ATCOR 4 (Richter, 2004).

Posteriormente, a las imágenes se les aplicó una máscara terrestre y batimétrica, utilizando la isobata de 10 m, con el fin de eliminar la variabilidad espectral que aportarían a la clasificación dichas zonas. Las zonas afectadas por *sun glint* fueron también enmascaradas.

Con el objetivo de evaluar los resultados obtenidos con diferentes clasificaciones, se utilizó una de las pasadas en la que se conocía la presencia de *Sargassum muticum* en grandes extensiones, según observaciones recogidas en la campaña de campo. A la imagen elegida se le aplicó una clasificación no supervisada *cluster k-means* que agrupa los píxeles de la imagen en un número predefinido de clases, basándose en la distancia mínima entre ellos. Aunque el objetivo del análisis fue identificar un grupo reducido de clases espectralmente di-



**Figura 6.** Detalle de la imagen resultado de la clasificación no supervisada *cluster k-means*. Imagen original (izquierda), y cluster con 20 clases (derecha) donde se aprecia el efecto de la profundidad en la clasificación, marcado por franjas de diferente coloración de tierra a mar.

ferentes, en muchos casos la variabilidad espectral dentro de las clases supera a la variabilidad entre las mismas, por lo que el análisis se realizó para 20 y 10 clases. A esta imagen también se le aplicó una clasificación supervisada *Spectral Angle Mapper* que calcula la similitud entre dos espectros comparando espectros desconocidos con otros de referencia, en nuestro caso de estudio, entre los espectros de la imagen y los medidos en el campo, respectivamente. Para esta clasificación se utilizaron espectros de arena, roca y varias especies de algas, entre ellas, *Sargassum muticum*. En ambas clasificaciones se emplearon las 20 primeras bandas entre 0,4567 y 1,0094 micrómetros.

## Resultados y discusión

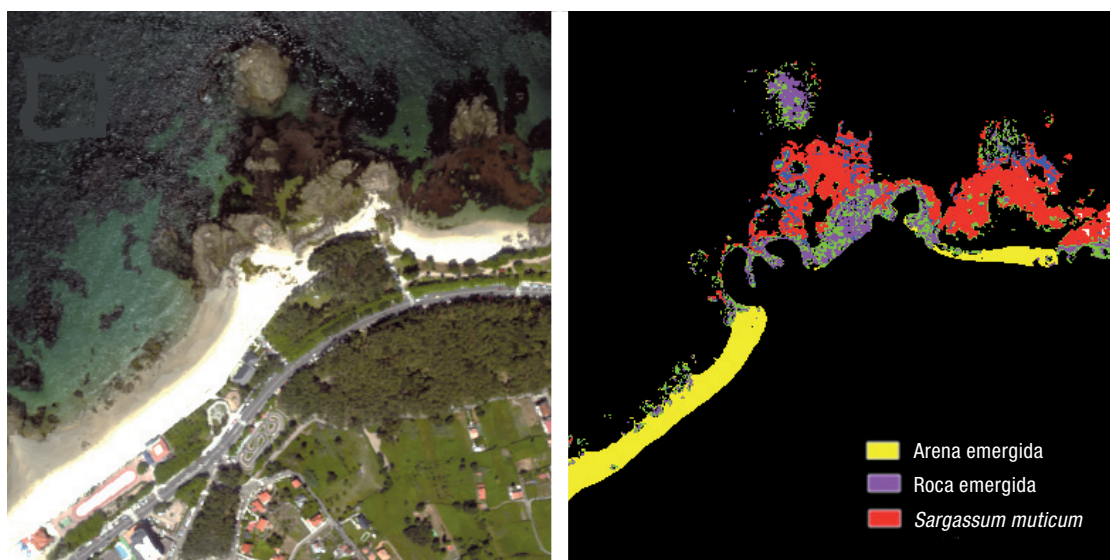
La clasificación no supervisada no muestra una separación efectiva de los sustratos aunque sí puede observarse claramente el efecto que la profundidad provoca en la clasificación. Áreas cubiertas por un sustrato homogéneo fueron cartografiadas como diferentes sustratos, presentando una distribución que sigue las líneas batimétricas de la zona (Fig. 6). Este resultado remarca la necesidad de utilizar la «reflectividad de fondo» definida por (Mobley, 1993) para estudios bentónicos.

El método de clasificación supervisada (*Spectral Angle Mapper*) permitió diferenciar los sustratos: roca emergida, arena emergida y alga (Fig. 7). Las extensiones de *Sargassum muticum* fueron reconocidas por la información recogida en la campaña de campo en el momento de adquisición de las imágenes. En algunas áreas en las que se conocía la presencia de este alga se observó una correlación con observaciones directas elevada (superior al 85% según la matriz de confusión).

Aunque este resultado no es definitivo, pues solo se observó en algunas zonas donde la especie era especialmente densa, nuevos análisis están siendo dirigidos a la cartografía de esta y otras especies en la zona de estudio. Las líneas de investigación a seguir, teniendo en cuenta estos resultados, consisten en la eliminación del efecto de la profundidad y en la aplicación de diferentes métodos de clasificación supervisada a modo de estudio comparativo, con el fin de establecer cuál de ellos proporciona una clasificación más efectiva.

## Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada por el Ministerio de Medioambiente y Medio Rural y Marino (SARGAL PROJECT 030/SGTB/2007/1.4),



**Figura 7.** Detalle de la imagen resultado de la clasificación supervisada (*Spectral Angle Mapper*). En la imagen se diferencian zonas de roca, arena y alga. La clase correspondiente a *Sargassum muticum* se puede establecer debido a observaciones directas de la zona y a que esta alga forma grandes extensiones.

Secretaría General para el Territorio y la Biodiversidad, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural Marino, INCITE (PROJECT 07MDS010CT) y por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER). Esta investigación fue también parcialmente financiada por una beca pre-doctoral del programa María Barbeito (Xunta de Galicia) y una beca de investigación de la Diputación de A Coruña.

## Referencias

- DRAKE, J. A., MONEY, H. A., DI CASTRI, F., GROVES, R. H., KRUGER, F. J., REJÁMAEK, M. & WILLIAMSON, M. 1989. *Biological Invasions. A Global Perspective*. John Wiley & Sons, Chichester, U.K.
- FARGION, G. S. & MUELLER, J. L. (editors). 2000. *Ocean Optics Proto-cols for Satellite Ocean Color Sensor Validation, Revision 2*, NASA/TM-2000-209966.
- MOBLEY, C. D., GENTILI, B., GORDON, H. R., JIN, Z., KATTAWAR, G. W., MOREL, A., REINERSMAN, P., STAMMENES, K. & STAVN, R. H. 1993. Comparison of numerical models for computing underwater light fields, *Appl. Opt.*, 32: 7484-7505.
- MOONEY, H.A. & CLELAND, E. 2001. The evolutionary impact of invasive species. *Proceedures of Nat. Acad. Sci.*, 98(10): 5446-5451.
- PIMENTEL, D., LACH, L., ZUNING, R. & MORRISON, D. 2002. Environmental and economic cost associated with non-indigenous species in the United States. *Bioscience*, 50: 53-65
- PIMM, S. L. & GILPIN, M. E. 1989. Theoretical issues in conservation biology. In: J. Roughgarden, R. May y S. A. Levin (eds), *Perspectivas in Ecological Theory*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 287-205.
- RICHTER, R. 2004. Atmospheric/Topographic Correction for Airborne Imagery. ATCOR-4 User Guide Version 3.1. DLR, Wessling, Germany, 75 pp.
- SCOTT, J. M. & WILCOVE, D. S. 1998. Improving the future for endangered species. *Bioscience*. 48(8): 579-580.