

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 (*), J. A. Domínguez (**), N. Sánchez-Carnero (*) y J. Freire (*).

* Grupo de Recursos Marinos y Pesquerías, Universidad de A Coruña.
Campus de A Zapateira s/n, A Coruña. gcasal@udc.es

**Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX) Pº Bajo de Virgen del Puerto nº 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 marco 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 efectuó un vuelo en la Ría de Vigo (Galicia) con el sensor hiperespectral AHS. Durante esta campaña se realizó 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 permitieran calibrar los resultados obtenidos mediante teledetección. En el presente trabajo se presentan los resultados de una clasificación no supervisada a la que ha sido sometida la imagen hiperespectral y 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.

ABSTRACT

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 an unsupervised classification 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.

Palabras clave: hiperespectral, AHS, *Sargassum*.

INTRODUCCIÓN

Al severo impacto ecológico y al coste económico de las especies de plantas invasoras (Drake et al., 1989; Mooney and Cleland, 2001; Pimentel et al., 2002) hay que sumar la pérdida de diversidad biológica que estas especies provocan. (Pimm and Gilpin, 1989; Scott and Willcove, 1998). El desarrollo de técnicas innovadoras para su cartografiado es fundamental no sólo para entender su comportamiento y relaciones 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 hiperespectrales 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, 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, entre Cangas y Nigrán, hasta la zona más interna, entre Chapela y Palmás, además de parte de la Ría de Aldán (Fig.1).

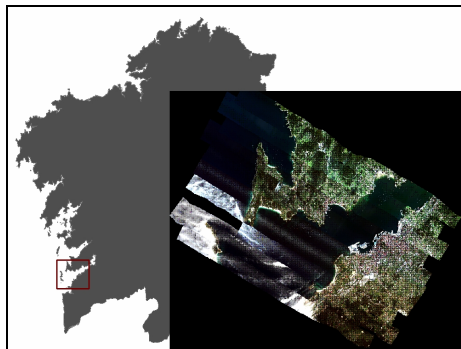


Fig. 1. Mapa de situación. Detalle de la zona de estudio.

Datos de campo

Para la adquisición de datos de reflectividad en el campo se utilizaron tres espectrorradiómetros: un espectrorradiómetro ASD FieldSpec FR y dos espectrorradiómetros Ocean Optics USB 2000, que permitieron obtener registros de reflectividad de superficies y del fondo marino. Todo el material utilizado fue cedido por el CEDEX (Centro de Estudios Hidrográficos), para su utilización en la campaña de campo.

Para la toma de datos en la superficie del agua el ASD fue colocado en la proa de la embarcación utilizada durante la campaña, minimizando la influencia de la luz reflejada por ésta (Fig.2). El soporte consistió en un dispositivo con un eje metálico curvado y una pletina que permitió controlar el ángulo acimutal mediante la proyección de la sombra del eje según su orientación al sol. Sobre el eje metálico se colocó otra estructura en la que se fijó la fibra óptica y una superficie lambertiana, un Spectralon del 25% con el fin de obtener la irradiancia solar (E_s). La superficie sobre la que se fijó la fibra óptica permitió controlar el ángulo cenital y nadiral mediante dos posiciones fijas a 40° . De esta forma se midió 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° , 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.



Fig. 2. Fotografía del soporte con la fibra óptica situado en la proa de la embarcación.

Las dos fibras ópticas de los espectrorradiómetros Ocean Optics USB 2000, utilizados para la obtención de los perfiles de radiancia de la columna de agua, se fijaron a un soporte con forma de T invertida, de manera que ambos receptores quedan orientados uno respecto al otro con un ángulo de 180° . A los extremos de la T se les colocaron pesos con el fin de obtener una medida perpendicular a la superficie del agua.

Con estos equipos se realizaron medidas sincronizadas a la adquisición de las imágenes hiperspectrales. Además cada punto de muestreo fue posicionado mediante GPS, se estimó la velocidad de viento, profundidad, 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 a la corrección atmosférica de las imágenes AHS, como de diferentes tipos de algas (sumergidas y en intermareal), 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% (Fig.3).

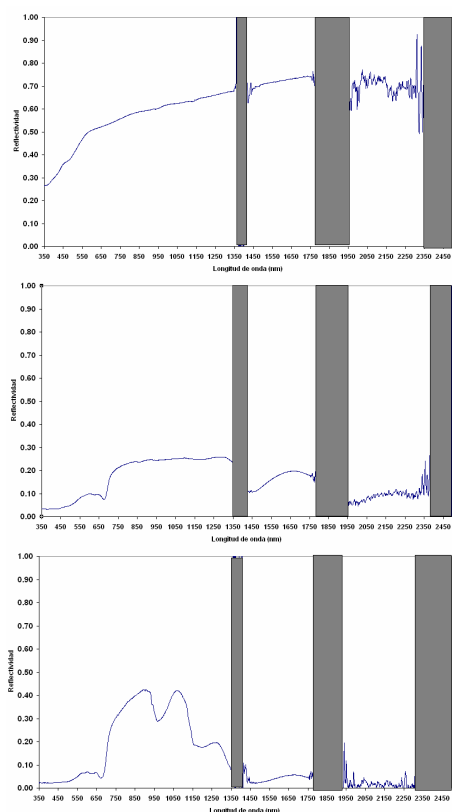


Fig. 3. Ejemplos de espectros obtenidos con el espectrorradiómetro ASD FieldSpec FR durante la campaña. Arena (arriba), roca (centro) y alga parda (abajo).

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 cuadrantes de 50x50 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), 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 3200 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. 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 se encuentran parcialmente cubiertas. Además estas últimas imágenes aparecen afectadas por *sunglint*.

Las características del área de estudio, una ría en forma de embudo con orientación SW-NE y con una abertura máxima de menos de 8 km, y la orientación de las pasadas del vuelo (120° y 300°), provocaron un “arrastré de fotones” que afectó a las áreas marinas situadas inmediatamente después de la zona terrestre en la dirección del vuelo.

Análisis de las imágenes

Una vez adquiridas las imágenes fueron sometidas a una corrección geométrica, utilizando el MDT generado con las cotas extraídas de los mapas topográficos 1:5000, y una corrección radiométrica, con los datos recogidos con el espectrorradiómetro ADS FieldSpec FR. Ambas correcciones fueron llevadas a cabo por el equipo del INTA.

Antes de ser sometidas a los análisis y con el fin de eliminar la variabilidad espectral correspondiente a la zona terrestre, se aplicó una máscara de tierra a todas las imágenes. Además las zonas afectadas por *sunglint* fueron también enmascaradas. Las imágenes resultantes fueron sometidas a un análisis visual que permitió definir áreas de referencia o entrenamiento para cada una de las tipologías de fondo.

A continuación, se realizó una clasificación no supervisada de cada una de las imágenes por separado. Para cada imagen se definieron 20 clases mediante el método de análisis cluster k-medias. En un primer paso el análisis se realizó con 20 bandas de la imagen correspondientes a longitudes de onda de entre 0.4567 a 1.300 micrómetros, visible e IR cercano. Ya que en los resultados obtenidos se observó un importante efecto de los fotones “arrastrados” desde tierra, especialmente en las bandas correspondientes al infrarrojo, el análisis se repitió utilizando únicamente las bandas correspondientes al espectro visible (entre 0.4567 y 0.800 micrómetros).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos con el análisis cluster, correspondiente al espectro visible, permitieron realizar una clasificación óptima de los hábitats bentónicos de la Ría de Vigo a profundidades inferiores a 10 m. Las áreas cubiertas por algas y fanerógamas marinas, así como las zonas con roca desnuda se cartografiaron correctamente. En el caso del sustrato arenoso, la clasificación permitió diferenciar subclases (arena limpia, arena con materia orgánica depositada, arena gruesa o cascajo, etc.), así como identificar estructuras de ripples.

Este primer análisis permitió también identificar en algunas áreas en las que se conocía la presencia de *Sargassum muticum* una clase específica para esta especie. Aunque este resultado no es definitivo, pues sólo 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.

Aunque se han obtenido resultados satisfactorios, en todas las clasificaciones pudo observarse el “efecto de la profundidad”. Áreas cubiertas por un sustrato homogéneo fueron cartografiadas como diferentes sustratos, presentando una distribución que sigue las líneas batimétricas de la zona (Fig. 4). Este resultado remarca la necesidad de utilizar la “reflectividad de fondo” definida por (Mobley, 1994) para estudios bentónicos.

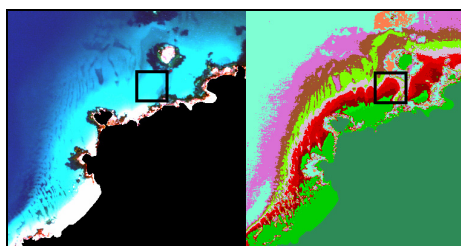


Fig. 4. Detalle de la cartografía obtenida mediante clasificación no supervisada. Se observa un área homogénea de arena (derecha) y su clasificación siguiendo la batimetría (izquierda).

Los resultados obtenidos en los análisis han permitido observar también el efecto de los fotones “arrastrados” desde la zona terrestre. Aunque en menor grado que en el infrarrojo, las bandas de longitudes de onda del espectro visible se ven afectadas por esta entrada de fotones por lo que las áreas costeras adyacentes a la zona terrestre quedan “cegadas”, impidiendo realizar una clasificación de hábitats bentónicos.

Todos los resultados presentados en este artículo se corresponden con la primera parte de un proceso de análisis aún en desarrollo, con el que se esperan obtener resultados más precisos.

BIBLIOGRAFÍA

- Drake, J.A., Money, H.A., di Castri, F.; Groves, R.H.; Kruger, F.J.; Rejmánek, M. and Williamson, M.. 1989. *Biological Invasions. A Global Perspective*. John Wiley & Sons, Chichester, U.K.
- Fargion, G. S., and Mueller, J. L. 2000. Ocean Optics Proto-cols for Satellite Ocean Color Sensor Validation, Revision 2, *NASA/TM-2000-209966*.
- Mobley, C.D., and others.1994. Comparison of numerical models for computing underwater light fields. *Appl. Opt.* 32: 7484-7504.
- Mooney, H.A. and Cleland, E. E. 2001. The evolutionary impact of invasive species. *Procedures of Nat. Acad. Sci.* 98 (10), 5446-5451.
- Pimentel, D., Lach, L., Zuning, R., and Morrison, D. 2002. Environmental and economic cost associated with non-indigenous species in the United States. *Bioscience.* 50: 53-65
- Pimm, S.L.; and Gilpin, M.E. 1989. Theoretical issues in conservation biology. , in: J. Roughgarden, R. May and S. A. Levin (eds), *Perspectivas in Ecological Theory*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 287-205.
- Scott, J.M. and Wilcove, D.S. 1998. Improving the future for endangered species. *Bioscience.* 48(8): 579-580.