

DETECCIÓN DE ESTRUCTURAS MARINAS MESOESCALARES CON EL SENSOR AHS EN EL ESTRECHO DE GIBRALTAR

I. Pérez –González (*), E. de Miguel (*), M. Bruno (**), C. M. García (**), A. Ruiz-Verdú (*),
C. Robles-González (*) y O. Gutiérrez de la Cámara (*).

(*)*Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (I.N.T.A.). Ctra Ajalvir s/n, Torrejón de Ardoz, 28850 (Madrid).
perezgi@inta.es*

(**)*Departamento de Física Aplicada, Universidad de Cádiz, 11510 Puerto Real, (Cádiz).*

RESUMEN

En el marco del proyecto CTM2005-08142-C03, para el análisis integral del ecosistema marino del Estrecho de Gibraltar, el Área de Teledetección del INTA adquirió, en septiembre de 2008, una serie de imágenes hiperespectrales con el sensor AHS (Airborne Hyperspectral Scanner) sobre las masas de agua comprendidas entre Punta Camarinal y Tarifa (Cádiz). Dentro del proyecto global, el objetivo de esta adquisición es la descripción y catalogación de estructuras y procesos hidrodinámicos meso y sub-mesoescalares de alta frecuencia y la distribución de plancton asociada, ligados a la interacción entre el forzamiento de la marea y la topografía submarina. La adecuación del sistema AHS-INTA a los objetivos perseguidos en esta fase del proyecto radica en: i) posibilidad de extraer información del dominio reflectivo y térmico del espectro; ii) alta resolución espacial (hasta 2m), que permite identificar patrones mesoescalares y sub-mesoescalares; iii) la posibilidad de adquirir las imágenes durante fases determinadas de la marea, permite diferenciar los patrones asociados a cada una de ellas. Una vez procesadas las imágenes obtenidas durante la campaña, se han obtenido mosaicos de temperatura superficial del mar y de Componentes Principales del espectro del visible. En ellos, se identifican las estructuras térmicas generadas por la interacción topografía-marea y la actividad en el dominio reflectivo asociada.

ABSTRACT

On the 17th and 19th of September 2008, the Remote Sensing Laboratory at INTA acquired a series of hyperspectral images over the coastal area between Punta Camarinal and Tarifa (Cádiz). The objective of this campaign, within the framework of project CTM2005-08142-C03 for the integral analysis of the marine ecosystem of the Strait of Gibraltar, is the description of high frequency meso and sub-mesoscale hydrodynamic structures and processes and the phytoplanktonic distribution associated, linked to tide-topography interaction. The feasibility of the study of such phenomena through the INTA-AHS system lies in: i) the possibility of simultaneous information retrieval from the reflective and thermal domains of the spectrum; ii) its high spatial resolution (up to 2m) enables the identification of meso and submesoscale patterns; iii) the possibility of image acquisition during different tidal phases permits the comparison of the patterns associated to each phase. After image processing, sea surface temperature and Principal Components of the visible part of the spectrum mosaics have been obtained, where thermal structures triggered by tide-topography interaction and the associated reflective activity can be identified.

Palabras clave: teledetección, AHS, mar, mesoescalar.

INTRODUCCIÓN

Los días 17 y 18 de septiembre de 2008 el Área de Teledetección del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (I.N.T.A.) adquirió una serie de imágenes hiperespectrales sobre las masas de agua comprendidas entre Punta Camarinal y Tarifa (Cádiz). Esta campaña se encuadra dentro del marco del proyecto CTM2005-08142-C03 para el análisis integral del ecosistema marino del Estrecho de Gibraltar.

Dentro del proyecto global, el objetivo principal en la descripción y catalogación de

estructuras hidrodinámicas en el polígono Fase Camarinal, es probar la hipótesis de la presencia de flujos pulsantes de masas de agua costeras hacia el centro del canal, ligados al ciclo de la marea y la distribución de plancton asociada. La importancia de procesos de alta frecuencia en la generación de afloramientos y su contribución en la variabilidad de la clorofila superficial en el Estrecho de Gibraltar, ha sido planteado en Macías et al. 2007 en el estudio de la distribución de pigmentos fitoplanctónicos en el Mar de Alborán, utilizando imágenes SeaWiFS en el marco de este mismo proyecto. En este trabajo se propone la utilización de imágenes de sensores aeroportados para la adecuada caracterización

espacio-temporal de estructuras con escalas características inferiores a las resueltas por imágenes de satélite, ampliamente utilizadas en el estudio de los principales patrones de circulación general de esta región (ej. Parada y Cantón 1998).

El INTA dispone, de manera operacional desde 2005, del sensor *Airborne Hyperspectral Scanner* (AHS), un radiómetro de 80 bandas que cubre el dominio reflectivo y térmico del espectro (Tabla 1). Su cobertura espectral permite la caracterización de estructuras hidrodinámicas a través la temperatura superficial del mar (SST) extraída de sus canales emisivos y simultáneamente de la actividad fitoplanctónica asociada a ellas a través de los canales reflectivos. La alta resolución espacial de las imágenes obtenidas, de hasta 2m, y la posibilidad de elegir el momento de adquisición de las mismas, hacen que el sistema AHS-INTA sea especialmente adecuado para la consecución de los objetivos de esta fase del proyecto.

Se describe en este trabajo el proceso de adquisición y tratamiento para la obtención de imágenes térmicas y reflectivas de la zona de estudio.

EL SISTEMA AHS-INTA

El sistema AHS-INTA consta del conjunto de instrumentos, herramientas de software y procedimientos necesarios para producir imágenes desde los requerimientos iniciales de los usuarios. Puede encontrarse información detallada sobre este sistema en Fernández-Renau, Gómez y de Miguel 2005 y Gómez et al. 2007. Sus elementos fundamentales son:

- 1) Plataforma. Aeronave CASA-212 del INTA, equipada para campañas de teledetección.
- 2) AHS. Radiómetro hiperspectral de barrido mecánico (*line scanner*).
- 3) Sistema GPS/IMU.
- 4) Equipo de calibración de laboratorio.

DESARROLLO DE LA CAMPAÑA

Se realizaron 2 vuelos diarios durante dos días, coincidiendo cada vuelo diario con el inicio de la fase de corriente de marea saliente (hacia el Atlántico) y con el momento justo después de la máxima corriente de marea saliente. En cada vuelo se realizaron 5 pasadas, cubriendo en un tiempo medio de 50 minutos un área total de unos 20 km² junto a la costa entre Punta Camarinal y Tarifa. Para evitar efectos bidireccionales de brillo, los vuelos de la mañana se realizaron con una orientación NW/SE

(paralelos a la costa) y los de la tarde con una orientación NE/SW (perpendiculares a la costa).

Tabla 1.- Características espectrales del AHS.

	rango (nm)	ancho (FWHM, nm)	??? (mínimo)	nº bandas
PORT 1-VIS/NIR	0.43 ? 1.03	28	16	20
PORT 2A	1.55 ? 1.64	90	8	1
PORT 2-SWIR	2.00 ? 2.54	13	150	42
PORT 3-MIR	3.3 ? 5.4	300-400	110	7
PORT 4-TIR	8.2 ? 12.7	400-500	160	10

Dentro de las posibilidades de operación del AHS y dadas la características de la campaña, se configuró el AHS para una resolución en el nadir de 6.9 m, con una cobertura transversal de 5500 m.

Durante las horas de vuelo se registraron algunas nubes por debajo del nivel del sensor en el primer día y nubes por encima del nivel de vuelo, en ambos. No se tomaron medidas in situ de la atmósfera, por lo que se caracterizará mediante fuentes externas (ej. AERONET, MODIS...)

CALIBRACIÓN Y GEORREFERENCIACIÓN

Las imágenes obtenidas durante la campaña se transformaron a radiancias en el sensor (Ls) en el proceso de calibración radiométrica que se realiza en las instalaciones del INTA. La georreferenciación se realizó siguiendo el procedimiento habitual de Área de Teledetección del INTA, que garantiza una exactitud del orden de 1 píxel (Fernández-Renau, Gómez y de Miguel 2005).

METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE TEMPERATURAS SUPERFICIALES

Para obtener SST a partir de los datos de Ls, se empleó la herramienta ATCOR4 (Richter 2008), basada en el código de transferencia radiativa MODTRAN. En este rango espectral los parámetros relevantes para la corrección atmosférica son vapor de agua (WV), estimado en 2.9gr/cm² según imágenes MODIS disponibles para los días de vuelo y emisividad de la superficie, 0.98 para el agua en el canal AHS térmico de referencia.

Debido a la falta de datos de WV in situ, se realizó un análisis de sensibilidad para estimar el error introducido por la incertidumbre en el valor real de este parámetro en el cálculo de SST. Para ello, se ejecutó la corrección atmosférica con valores variables de WV y se calculó la SST media extraída por ATCOR4 en una región de una imagen para cada ejecución. En la Figura 1 puede verse que para el rango de WV esperado en la zona (entre 2 y 2.9

gr/cm^2) el error asociado a la incertidumbre en el valor real de WV es del orden de 0.5°C .

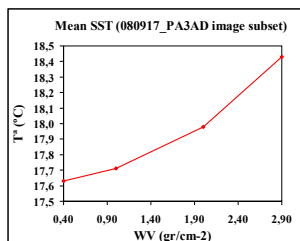


Figura 1.- Análisis de sensibilidad de la corrección atmosférica del término a diferentes WV.

Se ha observado que las imágenes AHS presentan un ruido altamente correlacionado espectralmente en los canales térmicos, que se caracteriza espacialmente por un patrón de bandeo horizontal en la imagen. Para estimar la magnitud de este error en términos de SST, se obtuvo la desviación estándar de SST en zonas de diferentes pasadas en las que no se observa estructura térmica como medida del error en las temperaturas relativas. En promedio, este error es de 0.3°C .

METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE ESTRUCTURAS SUPERFICIALES EN EL DOMINIO REFLECTIVO

El parámetro fundamental en la corrección atmosférica del dominio reflectivo es la irradiancia solar, además de la transmisividad atmosférica, dominada por los aerosoles. Por otra parte, la reflexión especular puede dominar la señal en muchos píxeles (*sun glint*) sin aportar información sobre las condiciones físico-químicas del agua, dificultando el análisis estadístico de las escenas. Debido a la incertidumbre en el conocimiento de la atmósfera e iluminación real por la presencia de nubes los días de vuelo y a las dificultades añadidas por el *sun glint*, se optó por obtener patrones espaciales de variabilidad espectral que dieran cuenta de la actividad de la superficie del mar en la región visible del espectro, a partir del Análisis de Componentes Principales (PCA) de imágenes de Ls en este rango espectral.

Cada componente principal (PC) se obtiene mediante la combinación lineal, en cada píxel, de los valores de Ls centrada en la media de la imagen en cada banda (Ls') en el rango espectral considerado. En la inspección visual de cada una de las PCs, se observa que en la PC1 predominan las diferencias en el brillo general de la imagen y en la PC2 diferencias locales en la iluminación, con sombras

probablemente debidas a la presencia de nubes y con brillos en los bordes por el efecto del ángulo de observación del sensor. Por el contrario, la PC3 muestra estructuras que, como se explica a continuación, están relacionadas con el contenido en clorofila del mar ([Chla]).

Los coeficientes de las combinaciones lineales para las PC 1 a 3 de las imágenes de uno de los vuelos se muestran en la Figura 2. La PC1, que explica la mayor cantidad de varianza de la imagen, se asocia, como se ha visto, al brillo global y puede verse que sus coeficientes están prácticamente indiferenciados espectralmente. Se corresponde con efectos de sunglint de la superficie del mar y en muy poca medida a sus propiedades bioquímicas. En la PC2 la mayor contribución proviene de los canales donde la señal atmosférica es mayor, traduciéndose en un incremento del contraste entre los bordes y el centro de la imagen. Se observa que los coeficientes de mayor magnitud de la PC3 corresponden a las bandas de mayor absorción y reflexión de la clorofila, con signos opuestos. De esta forma, píxeles de la imagen con mayor [Chla], que tienen una Ls' menor en las bandas de absorción y mayor en las bandas de reflexión que los píxeles con menor [Chla] tendrán valores negativos en la PC3, tanto más negativos cuanto mayor sea la concentración de clorofila.

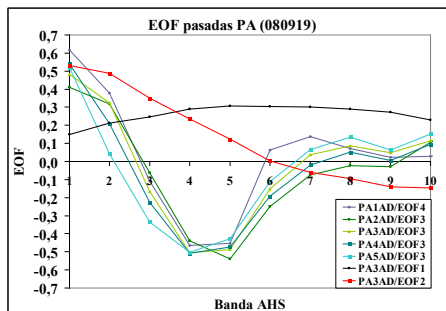


Figura 2.- Coeficientes de las PC 1 a 3.

Esta relación se confirmó transformando al espacio de las PCs de una de las imágenes espectros de agua de mar con diferentes [Chla] simulados con HYDROLIGHT 5 (Mobley y Sundman 2008). Se observa en la Figura 3 que la PC3 muestra una fuerte tendencia con [Chla], confirmando que las estructuras que se observan están relacionadas con la [Chla] del mar. La relación que muestran la PC1 y [Chla], puede explicarse por el aumento de la integral de la curva de reflectancia del agua con [Chla] crecientes y por el hecho de que la PC1 se construye como una media ponderada de los valores de Ls' de la imagen (Figura 2).

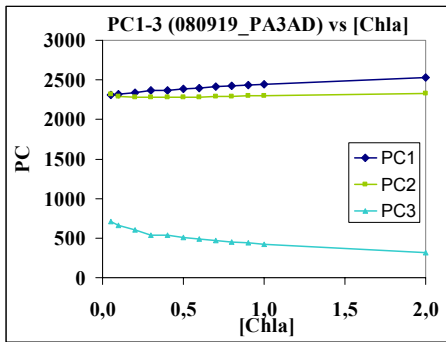


Figura 3.- Rotación al espacio de las PCs de espectros de agua de mar con [Chla] variable.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En la Figura 4 se muestran los mosaicos de SST(izda) y PC3(dcha) del día 19 de septiembre de 2008, como ejemplo de los productos finales del proceso de datos descrito. En ellos se diferencian claramente estructuras térmicas y reflectivas submesoescalares. A pesar del desfase temporal de 8 minutos en la adquisición de la imagen entre dos zonas de solape, el desfase espacial en la estructura caracterizada es mínimo, consiguiendo una visión prácticamente sinóptica de una escena dinámica.

Mediante el sistema AHS-INTA se han obtenido mapas de SST con un error relativo de 0.3°C, dominado por el ruido, y un error absoluto estimado $\leq 2^\circ\text{C}$, dominado por la interferencia atmosférica, que permiten identificar estructuras hidrodinámicas diferenciales debido al forzamiento de la marea. La actividad fitoplanctónica asociada, se evalúa a través de la PC3 de la Ls ya que la incertidumbre en la atmósfera, y sobretudo, en la iluminación real de la escena, no permiten realizar una corrección atmosférica fiable para la obtención de reflectancias en el visible.

BIBLIOGRAFÍA

Fernández-Renau A., Gómez J. A. y de Miguel E. 2005. The INTA AHS system. *Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites IX. Proceedings of the SPIE*, no. 5978: 471-478.

Gómez J.A., de Miguel E., Gutiérrez de la Cámara O. y Fernández-Renau A. 2007. Status of the INTA AHS sensor. *Proceedings 5th EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy*. Bruges, Belgium.

Macías D. *et al.* 2007. Surface chlorophyll distribution in NW Alboran Sea. *Journal of Marine Research*, no.65:523-543.

Mobley C.D. y Sundman L.K. 2008. Hydrolight 5 Ecolight 5 Users' Guide. Sequoia Scientific, Inc.

Parada M. y Cantón M. 1998. Sea surface temperature variability in the Alboran Sea from satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, no.19:2439-2450.

Richter R. 2008. Atmospheric/Topographic Correction for Airborne Imagery. *DLR Report*. DLR-IB 565-02/08, Wessling, Germany.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha sido financiado por el Plan Nacional de Investigación a través del proyecto CTM2005-08142-C03.

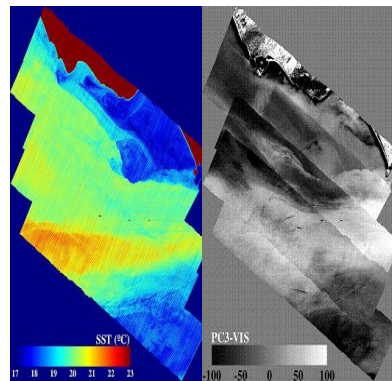


Figura 4.- Mosaico de SST (izda) y PC3 (dcha) del visible del vuelo de la mañana del 19 de septiembre de 2008.