

Respuesta espectral del agua ante diferentes concentraciones de sedimentos orgánicos e inorgánicos en la Bahía de Santander.

E. Castillo⁽¹⁾, R. Ferrer⁽¹⁾, V. Bayarri⁽¹⁾, J. Viguri⁽²⁾

⁽¹⁾ Grupo de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría. Departamento de Ingeniería Geográfica y Técnicas de Expresión Gráfica. Universidad de Cantabria. Avda. de los Castros s/n. 39005 Santander. CANTABRIA. E-mail: castille@unican.es

⁽²⁾ Departamento de Ingeniería Química. E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Cantabria. Avda. Los Castros s/n. 39005. Santander. CANTABRIA. E-mail: javier.viguri@unican.es

Resumen

La Bahía de Santander, situada en el norte de la Península Ibérica, es un elemento medioambiental de gran importancia en la Comunidad Autónoma de Cantabria. Los vertidos antropogénicos que se vienen produciendo desde 1850 han ido ganándole terreno al mar, lo que ha ocasionado una reducción paulatina del prisma de marea y cambios en la morfodinámica de la zona.

Tradicionalmente los sensores remotos satelitales han sido empleados para determinar parámetros sobre la calidad del agua. Sin embargo, el uso de sensores aerotransportados multi e hiperspectrales permitió explorar nuevos aspectos en zonas costeras. En el presente trabajo se han utilizado imágenes del sensor aerotransportado CASI perteneciente al Instituto Cartográfico de Cataluña (ICC), ya que permite configurar la resolución espacial y temporal según las necesidades del usuario, haciendo posible la captura de datos en condiciones óptimas de marea y luminosidad.

Teniendo en cuenta que las fuentes de contaminación y vertido son de diferente naturaleza en esta zona, el objetivo del trabajo es, por tanto, el estudio de los parámetros fisicoquímicos (contenido orgánico total, tipo de grano, humedad del sedimento, pH) y de los sedimentos inorgánicos (Pb y Zn). Las concentraciones de metales dependen de la capacidad de intercambio del suelo que se relaciona directamente con el contenido de materia orgánica y de arcilla. Pese a que los metales que se encuentran en bajas concentraciones no tienen características espectrales importantes en el visible y en el infrarrojo próximo (VNIR), que son las regiones en las que se centra el estudio, si se relacionan espectralmente con otras propiedades del suelo que sí son espectralmente activas, se pueden predecir las concentraciones de metales.

Este estudio viene motivado por la posibilidad de explotar espectralmente las imágenes facilitadas por este sensor con el propósito de generar nuevas técnicas que supongan una reducción económica del costoso proceso de toma de muestras y posterior análisis en laboratorio, así como la posibilidad de estudiar de manera global un parámetro de interés en la zona de trabajo y no de forma discreta (número de puntos de muestreo) que es como se viene realizando hasta el momento.

1. Introducción

Las imágenes multispectrales permiten extraer información espectral sobre los sedimentos orgánicos e inorgánicos en base a principios físicos que rigen la interacción de la luz con el agua. Son muchas las referencias bibliográficas que, en los últimos 30 años, hacen referencia a la determinación de parámetros sobre la calidad del agua pero no existe mucha experiencia en cuanto al comportamiento espectral de los sedimentos inorgánicos.

El uso de sensores aerotransportados ofrece resoluciones espectrales y espaciales mejores en comparación con la mayoría de sensores satelitales, y lo que es más importante, la toma de datos aerotransportados no está constreñida a órbitas regulares por lo que se puede registrar información en las mejores condiciones de marea siempre que la nubosidad lo permita. Estas ventajas hacen que los datos aerotransportados sean ideales para el seguimiento cuantitativo de los parámetros de interés en los que se centra nuestro estudio.

El presente trabajo engloba todo el proceso necesario para estudiar la reflectancia espectral del agua conteniendo diferentes concentraciones de sedimentos orgánicos e inorgánicos a partir de datos

multiespectrales; desde la toma de datos por parte del sensor CASI, pasando por la calibración radiométrica y geométrica de las imágenes, las correcciones atmosféricas, los diferentes métodos de análisis espectral de dichos datos, y todos los procesos de calibración y validación hasta llegar a generar un mapa de estimación de los parámetros de interés.

Se ha dispuesto de puntos de calibración y validación tomados y analizados por el grupo de Química de la Universidad de Cantabria e imágenes multiespectrales del sensor CASI con longitudes de onda comprendidas entre los 408 y 954 nm.

Los objetivos que se han establecido en el presente trabajo han sido:

- Realizar un seguimiento y acotación en lo que a niveles digitales (NNDD) respecta del proceso de calibración radiométrico, geométrico y de las correcciones atmosféricas de las imágenes CASI.
- Estudiar las correlaciones existentes entre los sedimentos orgánicos e inorgánicos de la zona, con el fin de determinar cuántas y cuáles son las bandas con las que se consiguen los mejores resultados en cada uno de los métodos analizados (bandas simples, cocientes espectrales, análisis de componentes principales clásico, análisis de componentes principales robusto)
- Valorar la precisión como función del parámetro analizado y su correlación con el medio como el umbral a partir del cual los resultados comienzan a ser más imprecisos.
- Valorar la precisión como función del método empleado en el ajuste en función de la naturaleza del parámetro que se este analizando.

2. Localización de la zona de estudio

El trabajo se ha desarrollado en la Bahía de Santander (Fig. 1), que se trata de una depresión con un ecosistema de gran riqueza tanto desde el punto de vista biológico como socioeconómico. En su entorno se concentran unos 250.000 habitantes, el 50% de la población de la Comunidad Autónoma de Cantabria. Debido a la dinámica de rellenos del hombre a partir de 1850, con los que se trataba de ganar terreno al mar y a la actividad de la minería del hierro en el arco sur de la bahía hacia 1875, se produjeron cambios en la morfodinámica del entorno y la bahía comenzó a colmatarse, con los consiguientes trastornos para hacer que la navegación sea segura. Por otro lado, debido al

aporte de sedimentos del río Miera (también conocido como ría de Cubas o Estuario del río Cubas), apareció una estructura singular llamada el puntal de Somo, que es una barra de arena con una longitud mayor a 2,5 Km cuyo ancho medio emergido es 250 m que podría provocar que se cegase el acceso desde la bahía a mar abierto.

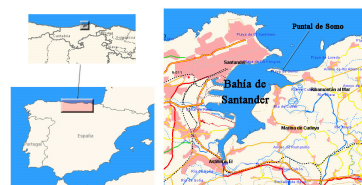


Figura 1: Localización de la Bahía de Santander en el contexto de España.

De esta forma y dado que los sedimentos de la Bahía actúan como trampa para todos aquellos productos que no se quedan en la columna de agua en primera instancia, estos pueden contener un alto grado de contaminantes esperando pasar a la cadena trófica, ser devueltos a la columna de agua o simplemente ser colocados en un medio más favorable para su movilización.

Por esto es necesario investigar la presencia de los contaminantes en sedimentos y sus efectos en el medio, buscando evaluar parámetros que puedan informar sobre la calidad de un sedimento. Se ha probado que los sedimentos son una herramienta importante para medir el impacto del hombre sobre el medio

3. Material y Métodos

3.1.- Sensor aerotransportado CASI

El CASI es un sensor óptico de barrido multiespectral basado en un dispositivo CCD bidimensional, con una dimensión espacial (columnas del CCD) y otra espectral (filas del CCD). Permite la selección de bandas para obtener información espacial y espectral. El rango de longitudes de onda sobre las que opera va desde los 405 nm hasta 950 nm. En la dimensión espacial ofrece 288 filas, cada una correspondiente a una franja de 1,8 nm. En cuanto a la dimensión espacial disponemos de 612 columnas, de las que 512 pasan a generar la imagen que tratamos y el resto se utiliza para la calibración de los datos.

Las imágenes fueron tomadas por el ICC el día 3 de junio de 2004, entre las 11 y las 13 horas, haciendo

coincidir una marea astronómica muy baja con un período de tiempo en el que el sol está alto (capacidad de penetración alta); siguiendo una dirección de vuelo de aproximadamente 135°, con la que se trató de tener el sol de cara o de espaldas; para reducir, entre otros, el efecto provocado por el destello de las olas o efecto *glint* (Tabla 1.).

Tabla 1: *Especificaciones técnicas del sensor CASI*

Campo de visión	34.5° a lo ancho/0.077° a lo largo
Rango espectral	545nm entre 400 and 945nm
Filas espectrales	288 en intervalos de 1.9nm
Resolución espectral	2.2 nm en los 650nm
Apertura	F/2.8 a F/11.0
Rango dinámico	4096:1 (12 bits)
Ruido de base	1.0 ND
Relación Señal ruido	420:1 pico
Precisión de la calibración	470 - 800 nm +/-2% absoluta 430 - 870 nm +/-5% absoluta
Salida de datos	840 Kbytes a 1Mbyte/segundo

Existen múltiples referencias que muestran el potencial del CASI para obtener información temática del territorio, a pesar de no captar información radiométrica en las regiones del infrarrojo medio y térmico. El hecho de poder configurar un conjunto de bandas estrechas, le confiere una alta resolución espectral y una gran capacidad de adaptación a objetivos concretos y de discriminación de elementos del territorio.

Los datos proporcionados por el sensor fueron corregidos atmosférica, geométrica y radiométricamente para lo cual fue necesario realizar un muestreo radiométrico en campo y disponer datos de la columna atmosférica.

3.2.- El espectroradiómetro ASD-FR.

Se llevaron a cabo una serie de medidas radiométricas en campo (tierra y agua) con un espectroradiómetro ASD-FR (Analytical Spectral Devices-"Full Resolution") propiedad del Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX), en el intervalo comprendido entre los 400 y los 1000 nm.

Este espectroradiómetro es la versión antigua del actual FieldSpec Pro FR y la selección de bandas fue hecha en base a las características afines a las del sensor CASI y en base a experiencias previas del CEDEX con ambos sensores.

El trabajo realizado por el Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX) ha servido para la realización de la corrección atmosférica 6S de la forma más óptima posible al igual que los datos facilitados por el Centro de Investigación y Medio Ambiente (CIMA). El código atmosférico 6S presenta la peculiaridad de ser un modelo físico que no se basa en ningún satélite específico, localización o tipo de objeto pero necesita mucha información adicional para su correcta aplicación.

El 6S fue desarrollado para realizar correcciones atmosféricas en las longitudes de onda cortas y trata mejor que otros modelos la dispersión atmosférica durante la transferencia radiativa. Se ha observado que en las bandas próximas a los 700 nm, es decir, a la región del infrarrojo el resultado de aplicar la corrección atmosférica no ha sido tan fino como en las bandas del visible lo que se corresponde con las características de este tipo de correcciones.

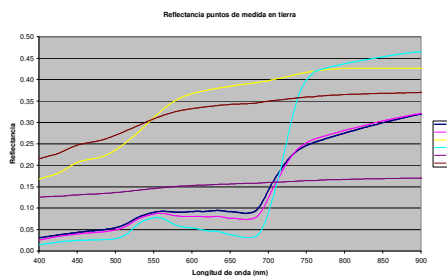


Figura 2: *Firmas espectrales de los puntos muestreados en suelo.*

La entrada de la luz se realiza a través de una fibra óptica de 3 m de longitud, cuyo Field of View (FOV) o campo de visión se modifica mediante lentes. En nuestro caso el FOV ha sido de 8°.

Se utilizó un protocolo diferente para las medidas de agua y tierra obteniéndose firmas espectrales para cada uno de los puntos muestreados (Fig. 2.). Se muestrearon zonas de suelo desnudo, arena seca, asfalto,....

3.3.- Captura de muestras químicas

Los puntos muestreados (intermareales y submareales) son los que aparecen indicados en la Fig. 3, destacando de dichos puntos su accesibilidad e independencia espacial. Para ello se utilizó un muestreador cilíndrico de acero inoxidable que proporciona muestras de sedimento inalterable hasta 25 cm. Se disponía en total de 29 muestras de las cuales 4 eran intermareales y 25 submareales.



Figura 3: Puntos muestreados in situ.

3.4.- Metodología

Se han estudiado diferentes procedimientos para analizar la información de las 36 bandas, teniendo en cuenta experiencias previas se decidió emplear algoritmos con orden creciente de complejidad para poder valorar la fiabilidad de cada uno de ellos y poder estudiar sus resultados.

Se han estudiado los métodos siguientes:

- Análisis de bandas simples
- Cocientes espectrales
- Análisis de componentes principales clásico
- Análisis de componentes principales robusto

Antes de aplicar cada uno de los métodos anteriormente descritos se estudió la correlación que presentaban los datos para poder entender posteriormente respuestas espectrales muy similares para parámetros distintos (Tabla 2).

Se puede observar que existe una correlación bastante alta entre todos los parámetros y especialmente entre los tipos de grano y los metales pesados. Todos los métodos tienen un tratamiento estadístico con el que es posible estimar la precisión obtenida por el mismo a partir de las muestras de campo que sirven para calibrar cada uno de ellos. Es necesario, por tanto emplear dos grupos de muestras diferentes, unas para la fase de calibración y otras para la de validación de los resultados.

En la fase de calibración se establecieron relaciones estadísticas entre los datos muestreados en campo para cada uno de los métodos observándose muy buenos resultados al utilizar técnicas robustas.

A fecha de redacción del artículo, esta pendiente de realizar la campaña de validación de campo, con la

que poder valorar los resultados obtenidos y extraer conclusiones, si bien *a priori* los resultados parecen que pueden llegar a ser muy satisfactorios.

Tabla 2: Correlación existente entre algunos de los parámetros analizados.

	humedad	gravas	arenas	limos/arcillas
humedad	1.000	-0.099	-0.887	0.887
gravas	-0.099	1.000	0.068	-0.094
arenas	-0.887	0.068	1.000	-1.000
limos/arcillas	0.887	-0.094	-1.000	1.000
Pb	0.648	-0.036	-0.617	0.617
Zn	0.796	-0.114	-0.694	0.695
MnO	0.686	-0.167	-0.610	0.613
COT	0.588	0.065	-0.582	0.579
pH	-0.268	-0.124	0.405	-0.401
LOI	0.746	0.100	-0.732	0.728

4. Referencias

- [1] BABEY, S.K., RAYMOND, J. S.. Radiometric calibration of the Compact Airborne Spectrographic Imager (CASI). Canadian Journal of Remote Sensing. Vol. 18, No. 4, Octubre 1992.
- [2] COLOMINA, I., TALAYA, J., BAULIES, X.. The N.O.S.A. project and concept for sensor orientation. 3 rd International Workshop HIGH PRECISION NAVIGATION, Stuttgart.1995.
- [3] MOBLEY, C.D. Estimation of the remote-sensing reflectance from above-surface measurements. Applied Optics Vol 38, N°36, pp. 7442-7454. 1999.
- [4] ITRESS Research Limited (2002) Airborne Hyperspectral Remote Sensing Systems and Solutions. ITRESS Research Inc.
- [5] PEREZ, F., ALAMÚS, R., PALÀ, V., ARBIOL, R. TALAYA, J. El sistema CASI-ICC: un sensor multiespectral aerotransportado con capacidades cartográficas. Descargado de www.icc.es.
- [6] RIEDMANN, M., ROLLIN, E. Laboratory calibration procedure of the Compact Airborne Spectrographic Imager (casi-2) owned by NERC. Natural Environment Research Council. Descargado de www.nerc.ac.uk el 3 de noviembre de 2003.
- [7] RICHARDS, J.A., (1999). "Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction", Springer-Verlag, Berlin, Germany, p. 240.