

TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN APLICADAS AL ESTUDIO DE LOS RÍOS TINTO Y ODIEL

Chica-Olmo, M(*), Rodríguez-Espejo, F.(*),
Abarca-Hernández, F.(*), Gutiérrez de la Cámara,
M.J.(**), Fernández-Renau, A.(**), Morreira-
Madueño, J :M. (***), Fernández-Palacios, A. (***),
Sánchez-Rodríguez, E.(****)

rsgis@carpanta.ugr.es

(*)Universidad de Granada/IACT. Laboratorio
RSGIS. Avda. Fuentenueva s/n. 18071 Granada.

(**) INTA. (***) Agencia de Medio Ambiente.
Junta Andalucía. (****) Universidad de Sevilla.

Resumen. En este trabajo se presentan los resultados del tratamiento de imágenes Landsat TM y ATM Daedalus-1268 dirigido a la caracterización de la calidad del agua y al estudio de la hidrodinámica del estuario de los ríos Tinto y Odiel. La metodología aplicada se basa en la correlación de los parámetros físico-químicos y biológicos del agua con los valores radiométricos de las imágenes. El tratamiento de imágenes Landsat TM ha permitido estudiar la hidrodinámica del estuario, obteniendo la zonificación del mismo atendiendo a su homogeneidad temporal. Asimismo, se han aplicado técnicas de regresión múltiple y geoestadísticas (Cokrigaje) para estimar la distribución espacial de parámetros de calidad. A partir del procesamiento de las imágenes ATM se ha obtenido una primera aproximación del contenido en clorofila, y de la distribución de temperaturas en el estuario.

Abstract. In this work we present the results of the Landsat TM and Daedalus image processing focus on the characterization of the water quality and on the study of the estuary hydrodynamic of the Tinto and Odiel rivers. The applied methodology is based on the correlation between parameters of water quality and the radiometric values of the images. The processing of a image set has allowed us to study the estuary hydrodynamic, obtaining the estuarine zones according to the degree of temporal homogeneity. Also, multiple regression and geostatistic techniques (Cokriging) has been applied to estimate the spatial distribution of quality water parameters. The ATM Daedalus image processing has enable us to obtain a first approximation of the chlorophyll and temperature distribution in the estuary.

Palabras clave: Teledetección, Landsat TM, Daedalus-1268, cokrigaje, regresión múltiple

INTRODUCCIÓN

El estuario de los ríos Tinto-Odiel se localiza en el Golfo de Cádiz, siendo una zona de gran valor medioambiental donde algunos sectores se han declarado zonas protegidas por la Junta de Andalucía. Por otra parte, en este área se desarrollan un gran número de actividades socio-económicas: puertos (Huelva y Punta Umbría), infraestructuras turísticas (Punta Umbría, Mazagón), industria petroquímica, zonas de agricultura intensiva, etc. Todas estas actividades afectan a la calidad del agua e influyen en la dinámica del estuario (Ojeda, 1992).

El uso de sensores multiespectrales para el estudio de aguas costeras está ampliamente documentado en la bibliografía científica. Los datos radiométricos registrados en las imágenes han servido para caracterizar espectralmente la calidad del agua teniendo en cuenta la correlación entre radiometría y parámetros físico-químicos o biológicos, como clorofila, sólidos en suspensión, turbidez, etc. Este análisis correlatorio posibilita estimar la distribución espacial de dichos parámetros en la zona estudiada.

En este trabajo se han aplicado técnicas de tratamiento de imágenes para estudiar la dinámica del estuario a través del análisis de la turbidez en base a su correlación con la banda TM2 del Landsat. El análisis de componentes principales de las bandas agrupadas según su estado mareal ha permitido zonificar el estuario atendiendo a su homogeneidad temporal. Además, considerando la correlación entre radiometría y parámetros de calidad de agua, se ha estimado la distribución espacial de estos parámetros mediante regresión múltiple y la técnica geoestadística multivariante denominada Cokrigaje. El procesamiento de imágenes de alta resolución ATM ha permitido obtener una primera aproximación del contenido de clorofila y de la distribución de la temperatura a través de cocientes de bandas.

Para el desarrollo de la aplicación, se ha dispuesto de una serie temporal de imágenes Landsat TM cedidas por la "Agencia de Medio Ambiente" de la Junta de Andalucía junto con datos de muestreo de calidad de aguas. Por otro lado, se ha utilizado un conjunto de imágenes aerotransportadas, ATM, adquiridas por el INTA en dos vuelos llevados a cabo simultáneamente a la toma de datos, en el contexto del Proyecto Europeo TOROS (Tinto

Odiel Rivers Ocean Study).

IMÁGENES AEROTRANSPORTADAS

El INTA ha adquirido imágenes aerotrasportadas ATM para analizar la distribución espacial de parámetros físicos y químicos del agua. Estas imágenes han sido adquiridas con un escáner multiespectral Daedalus 1268 (DS-1268) con configuración CZCS, simultáneamente a la toma de datos de campo (Junio 97, Abril 1998), obteniéndose imágenes de 7 m. de resolución espacial.

A partir de estas imágenes se ha hecho una primera aproximación de la distribución de la clorofila (Fig.1), para ello se ha calculado el cociente entre los canales 3 y 2 ($0.55 \mu\text{m} / 0.49 \mu\text{m}$). Realmente, este cociente también podría ser correlacionado con otras fuentes de variación de la reflectancia, tales como sólidos en suspensión, componentes disueltos, rugosidad de la superficie del agua. La interpretación de la imagen obtenida muestra que los valores máximos de dicho cociente se encuentran en el Río Tinto, y los mínimos en el océano (frente Punta Umbría).

La distribución de la temperatura de la superficie del agua ha sido estimada utilizando el canal ATM $8.5\mu\text{m}-13\mu\text{m}$ (infrarrojo térmico). La resolución de la información es de 0.2°C , con una precisión de sensor de 0.25°C . En las imágenes obtenidas se observa una transición suave de la temperatura desde la parte alta del río (20.5°C) hasta el océano (14°C , 4km mar adentro), interrumpida únicamente en la confluencia de los ríos, debido a las corrientes existente en la zona.



Figura 1. Cociente entre los canales verde y azul de la imagen ATM ($0.55 \mu\text{m} / 0.49 \mu\text{m}$)



Figura 2. Distribución de la temperatura en la confluencia de los ríos Tinto y Odiel

Debido al elevado número de canales multiespectrales se aplicó la transformación de componentes principales para interpretar la imagen. Se comprobó que las tres primeras componentes representan la principal fuente de variabilidad espectral del agua del estuario, asociadas con los parámetros de calidad, brillo del agua, sólidos en suspensión y clorofila.

IMÁGENES LANDSAT TM

Para este estudio se ha dispuesto de 15 imágenes Landsat TM comprendidas en el período 1.985-1.996, junto con datos de campo simultáneos a la adquisición de las imágenes. Esta información ha sido procesada y ha permitido un riguroso estudio de la zona desde un punto de vista multitemporal. A continuación se describen las tareas llevadas a cabo siguiendo la metodología propuesta por Ojeda et al. (1994), Ojeda et al. (1995).

Caracterización de la dinámica costera

Como paso previo al tratamiento de las imágenes, ha sido necesario separar las zonas de agua y de tierra. Para ello, se ha segmentado el canal medio infrarrojo (Landsat TM5) en dos clases que definen una máscara binaria, la cual aplicada al conjunto de las imágenes ha permitido excluir las zonas de tierra en cálculos posteriores.

Se ha elegido la turbidez como parámetros indicador de la dinámica costera ya muestra fácilmente los patrones de circulación del agua en el estuario. Aunque la identificación de la turbidez es posible usando algunos canales del visible (TM1, TM2, TM3), se ha elegido la banda TM2 porque está afectada en menor medida por la

dispersión atmosférica y por la batimetría que la banda TM 1, y a su vez proporciona más información del agua que la banda TM3 (Ojeda et al. 1994; Ojeda et al. 1995).

La segmentación del canal TM2 de la serie temporal ha permitido identificar, cualitativamente, las principales estructuras de turbidez en el estuario mediante el análisis visual de las imágenes obtenidas.

Zonificación del estuario según el grado de homogeneidad temporal

Para hacer posible la comparación cuantitativa de las imágenes de partida, en primer lugar, ha sido necesaria su normalización. Se ha realizado una corrección atmosférica relativa de las 15 imágenes siguiendo el método descrito por López-García y Caselles (1987). Como resultado consideramos todas las imágenes tomadas bajo las mismas condiciones atmosféricas y azimut solar.

Tras excluir las zonas de tierra aplicando la máscara binaria anteriormente descrita, se ha segmentado la banda TM2 de cada imagen para obtener los distintos niveles de turbidez. Las imágenes resultantes se han filtrado mediante un filtro de mayoría (3x3), eliminando píxeles aislados, lo que les confiere una mayor homogeneidad espacial. Las imágenes resultantes se han agrupado según su situación hidrodinámica, considerando únicamente marea baja o marea alta. En marea baja, se han observado grandes variaciones dependiendo del tiempo transcurrido desde la marea baja teórica, por lo que este grupo se ha dividido en dos subgrupos (más o menos de 1.30-2h desde la marea baja teórica). De cada uno de los tres grupos se ha seleccionado la banda TM2 a las que se les ha aplicado una transformación de componentes principales. Como resultado se han obtenido tres PC1 que representan el promedio de cada situación hidrodinámica. Esta metodología ha permitido clasificar las aguas del sistema estuario-océano en varios grupos de acuerdo al comportamiento hidrodinámico (Figura 3).

Estimación de parámetros de calidad del agua

A partir de la correlación entre los información radiométricos y los datos de muestreo de parámetros de calidad de agua se ha estimado su distribución espacial. Para ello, se han aplicado dos procedimientos regresión múltiple y Cokrigeaje, comparando los resultados obtenidos por ambas metodologías.

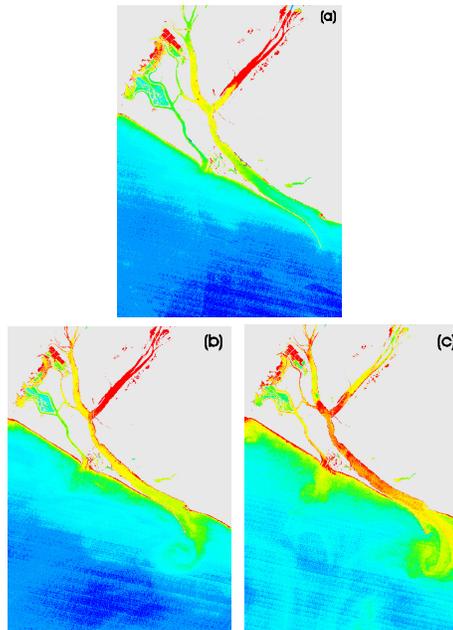


Figura 3. Zonificación según homogeneidad temporal : a) marea alta, b) marea baja, menos de 2h de la bajamar teórica, c) marea baja, más de 2h de la bajamar teórica

El método de regresión múltiple establece un modelo de estimación del parámetro de calidad de agua (variable dependiente) a partir del conjunto de las bandas radiométricas (variables independientes). Este modelo se expresa como una combinación lineal de los datos radiométricos por los coeficientes de regresión. Las ecuaciones resultantes permiten estimar los parámetros en cualquier pixel de la imagen.

También se ha aplicado el método geoestadístico Cokrigeaje para estimar los parámetros de calidad del agua en el área a partir de la información radiométrica (caso anterior), y por la información complementaria aportada por los datos experimentales de muestreo de dichos parámetros. La utilización de las técnicas geoestadísticas en teledetección son cada vez más frecuentes debido a las múltiples posibles aplicaciones y a la bondad de los resultados obtenidos (Chica-Olmo y Abarca, 1998).

En este caso se ha utilizado el método de Cokrigeaje (Journel y Huighbregts, 1978) basado en un modelo de corregionalización entre las datos

experimentales y la información radiométrica. En este caso de estudio se ha coestimado el parámetro sólidos en suspensión a partir de una imagen Landsat TM y los resultados analíticos de 34 muestras de agua tomadas "in situ" simultáneamente a la adquisición de la imagen. La fecha de registro de la imagen utilizada es el 9 de Septiembre de 1995, correspondiente a una situación hidrodinámica de refluo, con una diferencia horaria con la bajamar de 2 horas y 28 minutos, y un coeficiente de marea de 1.06.

La estimación de la distribución espacial es obtenida resolviendo el sistema de cokrigeaje en el que intervienen los datos experimentales de una vecindad, el dato radiométrico del pixel estimado, y el modelo de coregionalización establecido a partir de los variogramas experimentales. Finalmente, el valor estimado del parámetro de calidad es una combinación lineal de las variables anteriores y los ponderadores obtenidos en la resolución del sistema de cokrigeaje.

Los resultados obtenidos han sido comparados con los que proporciona el método de regresión múltiple. En la Figura 4 se presentan dos perfiles a lo largo del río Odiel y el estuario correspondientes a la estimación obtenida por regresión múltiple y cokrigeaje pasando por los puntos donde se conocía la realidad terreno. Se puede observar en la gráfica que existen diferencias, en algunos casos, significativas entre los valores obtenidos por ambos métodos. Reseñar que el cokrigeaje es un estimador exacto, como revela la Figura 4, donde se aprecia la coincidencia de valores en los puntos experimentales.

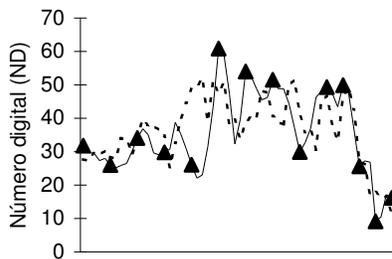


Figura 4. Perfiles de la distribución de sólidos en suspensión obtenida mediante regresión múltiple (línea punteada) y cokrigeaje (línea continua). Datos de campo se indican con ♦

Aunque en la aplicación que se ha presentado únicamente se trata el parámetro sólidos en suspensión, la metodología propuesta puede ser

aplicada considerando cualquier otro parámetro de calidad de agua que este correlacionado con la información radiométrica. El Cokrigeaje como método de estimación geoestadístico minimiza la varianza del error de estimación, y es insesgado, pues busca la solución tal que el valor medio de los errores tiende a 0.

BIBLIOGRAFÍA

- Chica-Olmo, M. y Abarca, F., 1998, Radiometric coregionalization of Landsat TM y SPOT images. *Int. Journal of Remote Sensng*, 19, 997-1006
- Curran, J.P., 1988, The semivariogram in Remote Sensing : an introduction. *Remote Sensing of Environment*, 24, pp. 493-507
- Journel, A.G. y Huighbregts, C.J., 1978, *Mining Geostatistics*. Academic Press. London
- López-García, M.J., Caselles, V., 1987, Un método alternativo de corrección atmosférica. 2ª Reunión Nacional del grupo de trabajo en teledetección, pp. 163-176.
- Ojeda Zújar, J., Sánchez-Rodríguez, E., Fernández-Palacios, A., Moreira-Madueño, J.M., 1995, Study of the dynamics of estuarine and coastal waters using remote sensing. The Tinto-Odiel estuary, SW Spain. *Journal of Coastal Conservation*. EUCC ; Opulus Press Uppsala, pp. 108-118.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido posible gracias a la financiación del programa europeo Environment and Climate (ENV4-CT96-0217) y a la Agencia de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.