

ANÁLISIS HISTÓRICO DE LOS PATRONES SUPERFICIALES DE TURBIDEZ DEL CURSO BAJO DEL RÍO GUADALQUIVIR DESDE 1984 A 2008

I. Amezttoy, J. Bustamante, R. Díaz-Delgado y D. Aragonés.

*Laboratorio de SIG y Teledetección (LAST-EBD) - Estación Biológica de Doñana, CSIC.
C/Americo Vespuccio S/N, 41092, Sevilla. i.amezttoy@ebd.csic.es*

RESUMEN

En el periodo 2003-2007 el Laboratorio de SIG y Teledetección de la Estación Biológica de Doñana (LAST-EBD) realizó trabajo de campo simultáneo con la adquisición de datos de satélite, Landsat TM y ETM+, en el río Guadalquivir con el objetivo de estudiar, entre otros parámetros, la evolución histórica de su turbidez entre 1984 y 2008. Se ajustaron modelos predictivos tipo GAM por un procedimiento por pasos a la turbidez, medida en NTU y transformada logarítmicamente, $\log(\text{NTU}+0.01)$. Para el caso del río, el mejor modelo predictivo (75% de la varianza) se consigue con la banda 3 (630-690 nm) que indica una relación lineal entre la reflectancia en el rojo y la turbidez. En la actualidad, de las 300 imágenes útiles disponibles en el banco de imágenes del LAST-EBD se ha aplicado el modelo de turbidez a 80 y se han obtenido algunos resultados parciales que reflejan, a falta de completar la serie histórica, algunas características del comportamiento y patrones superficiales de la turbidez del río Guadalquivir. Este estudio se enmarca dentro del proyecto "Propuesta Metodológica para Diagnosticar y Pronosticar las Consecuencias de las Actuaciones Humanas en el Estuario del Guadalquivir" coordinado por el Dpto. de Ecología y Gestión Costera (ICMAN-CSIC).

ABSTRACT

During the period 2003-2007 the Laboratory of GIS and Remote Sensing Doñana Biological Station (LAST-EBD) conducted field work simultaneously with the acquisition of satellite data, Landsat TM and ETM +, in the Guadalquivir river in order to study the historical evolution of turbidity between 1984 and 2008. Predictive models were adjusted by a GAM rate proceeding steps. Turbidity was measured in NTU and logarithmically transformed, $\log(\text{NTU} + 0.01)$. The best predictive model (75% of the variance) was achieved with Landsat band 3 (630-690 nm) indicating a linear relationship between its reflectance and the turbidity. The model was applied to 80 images and some preliminary conclusions were made to explain the behaviour and superficial patterns of the turbidity. The application of the model in the rest of the images will help to a better understanding of those preliminary outputs. This study is part of the project "Methodological proposal for diagnosing and predicting the consequences of human activity on the estuary of the Guadalquivir" coordinated by the Department of Ecology and Coastal Management (ICMAN-CSIC).

Palabras clave: procesamiento imágenes, turbidez, Landsat, series temporales.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este estudio consiste en reconstruir los niveles de turbidez superficial del río Guadalquivir, desde la presa de Alcalá, al norte de la ciudad de Sevilla, hasta su desembocadura en el Océano Atlántico. Para ello se utilizó la banda 3 (630-690 nm) de Landsat TM y ETM+ dada su relación lineal entre la reflectividad y la turbidez (Bustamante, et. al. 2008).

A falta de procesar la serie histórica completa (300 imágenes), el modelo se ha aplicado a 80 imágenes comprendidas entre los años 1984 y 2008 y se han obtenido algunos resultados parciales para los hidroperiodos comprendidos entre 2004 y 2006.

MATERIAL Y MÉTODOS

El área de estudio se encuentra incluida en la escena del satélite Landsat 202-34 (path/row), de las que el LAST-EBD dispone de 300 imágenes TM y ETM+.

La base cartográfica de referencia utilizada corresponde a la "Ortofotografía digital de Andalucía (color) 1:10000" 1998-1999.

La imagen de referencia utilizada para posteriores correcciones geométricas fue una Landsat ETM+ (18-07-2002) que fue georreferenciada respecto a la ortofoto mediante el modelo de Palà y Pons con un RMSE test de 12.95m.

En cuanto al resto de imágenes de la serie histórica la corrección geométrica se hizo por obtención semi-automática de puntos de control utilizando el módulo AutoSync de Erdas Imagine. La calidad de las imágenes se verificó superponiendo capas vectoriales de control correspondientes a líneas de carretera bien distribuidas en la escena que fueron digitalizadas en la ortofoto.

A partir de las imágenes corregidas se aplicó el modelo simple de corrección radiométrica propuesto por Pons y Solé-Sugrañes, en nuestro caso con un MDE plano dado el bajo rango altitudinal de la zona de interés.

Finalmente, se aplicó una normalización radiométrica de toda la serie, mediante un procedimiento semiautomático basado en una regresión de mínimos cuadrados para cada banda (Aragón, et al., 2005), usándose para ello zonas pseudo-invariantes (Hall *et al.* 1991). Como referencia se usó la misma imagen que en la corrección geométrica.

Preparación de las capas necesarias para el análisis
Máscara de las masas de agua

En este caso se utilizó el módulo de extracción de segmentos (clasificación orientada a objetos) incluido en las versiones ENVI 4.4. y posteriores. Se usan las características espaciales y espectrales de las imágenes para obtener segmentos que se pueden clasificar con posterioridad. La máscara (Figura 1) se creó usando la misma imagen que se usó como referencia en el paso de georreferenciación.

Los pasos seguidos fueron los siguientes:

- Cálculo de segmentos: Este paso divide la imagen en segmentos correspondientes a objetos del mundo real. Para ello es necesario definir el “nivel de escala” que definirá los bordes de cada objeto. El valor que mejor define los bordes del río es de 85.

- Clasificación de los segmentos basada en sus características 1) espectrales y 2) espaciales:

- 1) Se fija un umbral de la banda 5 para diferenciar los segmentos que contienen agua de los que pertenecen a tierra seca.
- 2) Aplicación del criterio elongación, que se define como el ratio existente entre el perímetro mayor y el menor de un segmento. Por tanto este criterio servirá para diferenciar objetos alargados como en el caso del río.

- Exportación del vector creado y retoque manual para la creación de una máscara más precisa.

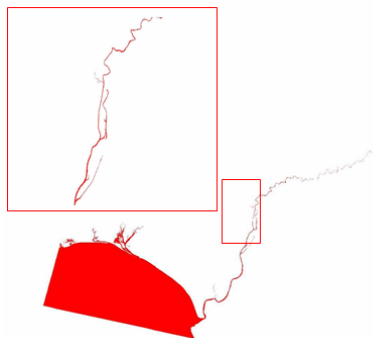


Figura 1.- Máscara de agua.

Vector de puntos para la extracción de datos

Primero se digitalizó una línea sobre la máscara de agua que va desde la desembocadura del Guadalquivir hasta más allá de la Presa de Alcalá (límite discriminable del río). La línea se creó considerando 1) que el recorrido de la misma se acercara lo máximo posible al centro río para evitar posibles interferencias que se puedan dar en el borde y 2) que la línea pasara lo más cerca posible de aquellos puntos en los que existen datos auxiliares (Red de Monitorización de Variables Ambientales, ICMAN, Figura 2), que sirvan para futuras calibraciones y validaciones de los modelos. La longitud total de la línea es de 160 kilómetros.

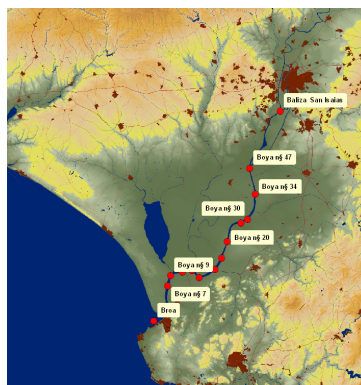


Figura 2.- Red de Boyas del ICMAN-CSIC.

Sobre la línea creada se distribuyen de manera equidistante cada 250 metros una serie de puntos que servirán para obtener los datos y perfiles de turbidez (Figura 3).



Figura 3.- Transecto creado para el cálculo de perfiles de turbidez.

Determinación de los niveles de turbidez

Se procesaron en total 80 imágenes de las cuales se presentan, a falta de procesar la serie temporal completa, los datos correspondientes a los años 2004, 2005, 2006 (26 imágenes en total). La elección de esos años es debida a que son los que mayor número de imágenes contienen por hidropereodo y por tanto las más útiles a la hora de interpretar los resultados.

El modelo $\text{Log}(T+0.01) = 1.195 + (14.45 \cdot B3)$ (Figura 4, Bustamante *et. al*, 2008) se aplicó usando la calculadora de MIRAMON v6.4c y al mismo tiempo se aplicó la máscara.

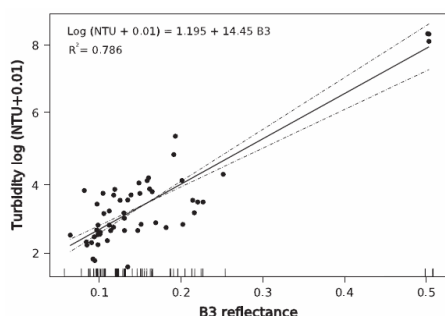


Figura 4.- Modelo turbidez para el río Guadalquivir.

Las imágenes resultantes se exportaron a un fichero reconocible por ArcGIS en donde se procedió a la obtención de datos y perfiles de turbidez. Para ello se utilizó el vector de puntos creado con anterioridad y el módulo “Spatial Analyst” de ArcGIS 9.3. El resultado fue un vector de puntos que incluye nuevos campos con los datos de turbidez para cada imagen y cada punto. A partir de esos puntos se

generan los perfiles correspondientes para cada fecha (Figura 5).

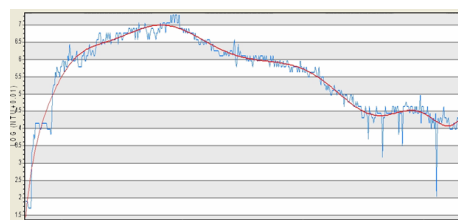


Figura 5.- Localización de cada punto frente al nivel de turbidez (Log NTU+0.01) para una determinada fecha. 21/01/2004.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De forma general se puede decir que el río en términos de turbidez, considerando el tramo que va desde la desembocadura hasta la presa de Alcalá, se puede dividir 4 zonas (Figura 6):

La desembocadura (Z1), el tramo que va desde Broa-Muelle de Bonanza hasta la Baliza de San Isaías (Z2), tramo entre la baliza de San-Isaías y el punto previo a la Presa de Alcalá (Z3) y el tramo aguas arriba de la presa (Z4).

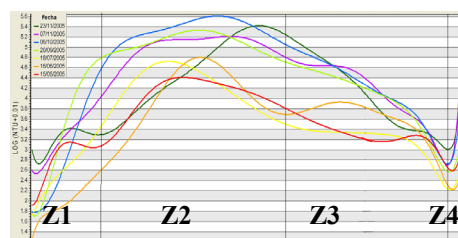


Figura 6.- Separación de los perfiles de turbidez por zonas. Mayo-Noviembre 2005.

- El primero, la desembocadura se caracteriza por un fuerte descenso en los niveles de turbidez, siendo Broa o el Muelle de Bonanza donde encontramos el punto de inflexión. Dicho descenso se puede dar de manera brusca o algo más suave dependiendo de la fecha.

- El segundo tramo es el que, para todos los casos, presenta mayores niveles con valores que van desde los 54 NTUs hasta máximos de 1800 NTUs. En algún caso puntual se han dado picos de turbidez que superan los 2000 NTUs. El perfil para este tramo tiene forma de campana; la turbidez comienza a aumentar a la altura de la Baliza de San Isaías. Dicho incremento se da por lo general de una manera constante y alcanza su máximo entre las boyas 28 y

13 (Figura 2). A partir de éstos puntos los niveles comienzan a descender dando paso a la primera zona (desembocadura).

- El tercer tramo, Presa de Alcalá-San Isaias, es variable; A veces se da un incremento variable y otras la turbidez aumenta de manera constante. La razón de la variación en el comportamiento de la curva puede ser debido a la apertura de compuertas de la presa o eventos relacionados con la precipitación. De todas maneras si se comparan los niveles de turbidez con el punto justo anterior (aguas arriba de la presa) se observa un aumento brusco de dichos niveles.

- El nivel de turbidez va disminuyendo hasta llegar a la presa, lugar en el que probablemente los niveles bajos de turbidez se den como consecuencia del poco movimiento de las aguas y la consecuente decantación de los sólidos en suspensión.

Tabla 1.- Valores de turbidez para cuatro fechas significativas (en LOG NTU+0.01).

20040121		20050208	
Min:	1.714.349	Min:	13.837
Max::	7.288.142	Max::	974.439
Sum:	27.105.303	Sum:	2.611.005
Mean:	5.554.365	Mean:	535.042
Std. Dev.	1.093.919	Std. Dev.	1.588.344
20051006		20060118	
Min:	1.761.585	Min:	1.525.407
Max::	5.682.134	Max::	6.532.373
Sum:	21.644.876	Sum:	2.115.769
Mean:	4.435.425	Mean:	4.639.844
Std. Dev.	1.065.104	Std. Dev.	1.311.904

Los valores máximos para la media se dan entre los meses de Noviembre y Febrero (Tabla 1), coincidiendo así con la temporada de lluvias en la zona del Guadalquivir. Los valores para las medias máximas oscilan entre 4.5 y 5.5 LOG (NTU+0.01), lo que equivale a niveles de turbidez de entre 90 y 250 NTUs. Los valores mínimos de la media se dan entre Junio y Julio (2004-2007) y oscilan entre 3.2 y 3.6 LOG (NTU+0.01), lo que equivale a niveles de turbidez entre 25 y 36 NTUs.

CONCLUSIONES

Los análisis realizados hasta el momento, a falta de completar la serie, demuestran que en el caso de la turbidez se pueden diferenciar patrones de comportamiento de la turbidez a lo largo del río.

Los resultados obtenidos se pueden interpretar desde un punto de vista somero, general. La cartografía de turbidez derivada de la serie temporal entera, una vez se haya aplicado el modelo a toda la serie, supondrá tener datos de muchas más fechas por hidroperiodo y por tanto la interpretación de los datos será mucho más exhaustiva.

Una vez se hayan obtenido todos los datos se analizarán, a parte de los patrones y estadísticas básicas, una serie de indicadores que reflejen posibles anomalías puntuales en los niveles calculados.

Finalmente, la integración de los datos en entornos como los SIG facilitan y mejoran la organización de los datos, su análisis e interpretación.

BIBLIOGRAFÍA

Aragonés, D., Díaz-Delgado, R., Bustamante, J. Tratamiento de una serie temporal larga de imágenes Landsat para la cartografía de la inundación histórica de las marismas de Doñana. *XI Congreso Nacional de Teledetección*, 21-23 septiembre 2005. Puerto de la Cruz. Tenerife.

Bustamante, J., Pacios, F., Díaz-Delgado, R., Aragonés, D. Predictive models of turbidity and water depth in the Doñana marshes using Landsat TM and ETM+ images. *Journal of Environmental Management* xx (2008) 1-7.

Chavez, P. S. 1988. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment* 24:459-479.

Chavez, P. S. 1996. Image-based atmospheric corrections. Revisited & improved. *Photogrammetric Engineering and R. S.* 62:1025-36.

Chuvieco, E. 2008 *Teledetección ambiental*. La observación de la Tierra desde el espacio. Barcelona: Ariel. 3ª edición actualizada.

Cristóbal, J., Pons, X., Serra, P. 2004. Sobre el uso operativo de Landsat-7 ETM+ en Europa. *Revista de Teledetección*, 21, 55-59.

Hall, F., D., Strebel, J. Nickenson, and S., Goetz. Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multitemporal, multisensor images. *Remote Sensing of Environment* 35, 11-27, 1991.