

## HACIA UNA RELACIÓN ÚNICA PARA EL ESTUDIO DEL ESTADO TRÓFICO DE LAGOS Y EMBALSES CON THEMATIC MAPPER

C. Doña (\*), J. A. Domínguez (\*\*) y V. Caselles (\*).

(\*) *Dpto. Física de la Tierra y Termodinámica. Facultad de Física. Universidad de Valencia. Doctor Moliner, 50. 46100-Burjassot (Valencia). Vicente.Caselles@uv.es*

(\*\*) *Centro de Estudios Hidrológicos (CEDEX). Paseo Bajo de la Virgen del Puerto, 3. 28005-Madrid.*

### RESUMEN

Hasta ahora el estudio del estado trófico de lagos y embalses se ha realizado mediante relaciones empíricas y por tanto válidas para cada lago o embalse. Mientras que lo conveniente sería obtener una relación empírica pero universal, que valiera para cualquier lago o embalse.

El presente trabajo constituye un primer paso en esta línea. Para ello, se han utilizado dos experiencias realizadas en dos lagos con estados tróficos muy diferentes: La Albufera de Valencia, con un estado trófico muy acusado (reflectividades TM2 del 10 al 12%), y los lagos del Parque Regional del Sureste de Madrid (PRSE), con un estado trófico leve (reflectividades TM2 del 1 al 4%).

Como resultado se han obtenido relaciones empíricas para la clorofila a, las partículas en suspensión o seston y la transparencia, aplicables a lagos y embalses desde un estado trófico leve hasta un estado trófico acusado.

### ABSTRACT

Till now, the study of trophic state of lakes and reservoirs has been made by means of empirical relationships, and therefore valid for each lake and reservoir. However, the convenient will be obtaining a universal empirical relationship applicable to any lake or reservoir.

The present work constitutes a first step in that line. Therefore, two experiences made in two lakes with a very different trophic state have been made: Albufera lagoon in Valencia, with a marked trophic state (TM2 reflectivities between 10 and 12%) and SE Regional Park lakes in Madrid (PRSE), with a light trophic state (TM2 reflectivities between 1 and 4%).

As a result, empirical relationships for chlorophyll a, seston and Secchi transparency have been obtained, which are applicable to lakes and reservoirs from a light to a marked trophic state.

**Palabras clave:** estado trófico, lagos, embalses, Thematic Mapper.

### INTRODUCCIÓN

El estado trófico de lagos y embalses ha sido objeto de estudio durante muchos años. El uso del sensor Thematic Mapper (TM) de Landsat es útil para la determinación de parámetros indicadores del estado trófico, como la concentración de clorofila a, la transparencia y el seston en el agua (Baban 1993; Cheshire *et al.* 1988; Dekker y Peters 1993; Lathrop *et al.* 1991; Lavery *et al.* 1993; Giardino *et al.* 2001; Mayo *et al.* 1995).

Caselles *et al.* 1986, publicaron un estudio sobre el estado trófico del lago de la Albufera (Valencia). Donde obtuvieron buenas relaciones para la clorofila a y el seston en un cierto intervalo de reflectividades. Pero no pudieron encontrar una buena relación para la transparencia.

Más recientemente, Domínguez *et al.* 2008, publicaron un estudio sobre el estado trófico de los lagos situados en el “Parque Regional del Sureste” (PRSE), situado a 20 km al SE de la ciudad de Madrid. En este caso se obtuvieron buenas relaciones para la clorofila a, el seston y la transparencia, en otro intervalo de reflectividades. La diferencia entre estos dos estudios es que los parámetros indicadores del estado trófico abarcan intervalos diferentes de reflectividades. En el presente estudio, se han tomado los datos de los parámetros de la Albufera y del PRSE y se han buscado relaciones únicas, que sirvan para ambos lugares.

El objetivo de nuestro trabajo ha sido, pues, dar un paso más hacia una relación única para el

estudio del estado trófico de lagos y embalses mediante el sensor TM de Landsat.

## MEDIDAS Y MÉTODOS

**Datos de suelo:** El estudio se ha realizado a partir de los datos de la campaña del día 22 de Julio de 1985 en la Albufera (Valencia), (para más detalle ver Caselles *et al.* 1986) y de los datos obtenidos por el Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX) de la campaña del 3-4 de Julio del 2000 en el PRSE (Madrid), (para más detalle ver Domínguez *et al.* 2008).

Los datos de suelo utilizados consisten en: clorofila a ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), transparencia (disco de Secchi, en cm) y seston ( $\text{mg}/\text{l}$ ). Obtenidos en diferentes puntos de muestreo, repartidos por la totalidad de los lagos objeto de estudio (Tablas 1 y 2).

La clorofila a se emplea para estimar la biomasa algal. La determinación cuantitativa ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) se basa en el análisis espectrofotométrico de extractos de clorofila en una solución 1:1 de acetona 90% y dimetilsulfóxido, según el método tricromático de Strickland y Parsons (1968).

La medida del seston es otro método de estimar la biomasa, aunque incluye partículas muertas, inertes o degradadas. En el caso de la Albufera, se realizó con un contador de partículas “Coulter” modelo ZM (Caselles *et al.* 1986). Y en el estudio del PRSE se realizó mediante un filtro de fibra de vidrio (Domínguez *et al.* 2008).

La transparencia fue medida con el disco de Secchi. Éste es un disco, de color blanco (Albufera) o alternando cuadrantes blancos y negros (PRSE), de 20 cm de diámetro. La estimación de la transparencia es la medida de las profundidades a las que el disco desaparece al descenderlo y aparece al elevarlo. La transparencia puede estar afectada por el color del agua, las algas y sedimentos en suspensión. Si existen concentraciones de materia orgánica elevadas, el descenso de transparencia medido con el disco de Secchi no es lineal.

**Corrección atmosférica:** En el caso de la Albufera, la corrección atmosférica de las imágenes digitales del sensor TM de Landsat 5 se llevó a cabo utilizando el método de puntos de reflectividad constante, propuesto por Caselles y López-García (1989). Los resultados aparecen en la tabla 1.

En cambio, para las imágenes digitales del TM en el caso del PRSE se utilizó el método de

Gilabert *et al.* (1994). Los resultados en este caso aparecen en la tabla 2.

**Tabla 1.-** Reflectividades en los canales 2 y 4 del TM y datos de suelo de la campaña del día 22 de Julio de 1985 en la Albufera (Valencia).

| TM2  | TM4 | Secchi | Clf.a                      | Seston                   |
|------|-----|--------|----------------------------|--------------------------|
| (%)  | (%) | (cm)   | ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) | ( $\text{mg}/\text{l}$ ) |
| 10,2 | 7,1 | 23     | 346                        | 56                       |
| 10,2 | 8,1 | 21     | 506                        | -                        |
| 10,2 | 7,8 | 23     | 260                        | 51                       |
| 9,9  | 6,5 | 21     | 514                        | -                        |
| 11,4 | 8,1 | 25     | 210                        | 43                       |
| 9,9  | 7,1 | 18     | 578                        | 80                       |
| 9,5  | 6,5 | 22     | 486                        | 67                       |
| 10,2 | 7,5 | 20     | 542                        | 67                       |
| 10,8 | 8,4 | 20     | 317                        | 61                       |
| 10,2 | 8,4 | 15     | 515                        | -                        |
| 9,9  | 7,5 | 18     | 451                        | -                        |
| 9,5  | 7,1 | 18     | 717                        | 75                       |
| 9,9  | 7,1 | 18     | 630                        | -                        |
| 10,2 | 6,8 | 25     | 397                        | 56                       |
| 9,9  | 6,8 | 22     | 462                        | 71                       |
| 9,9  | 7,5 | 20     | 611                        | 67                       |
| 10,2 | 8,1 | 20     | 488                        | 56                       |
| 11,7 | 8,4 | 28     | 213                        | 37                       |
| 9,9  | 7,5 | 22     | 499                        | -                        |
| 9,5  | 6,8 | 23     | 475                        | -                        |

## RESULTADOS

Se han obtenido buenas correlaciones para los datos de clorofila a y de transparencia con la reflectividad de la banda 2 del TM. Y para el sentón con la reflectividad de la banda 4 del TM.

Al representar los datos de clorofila a frente a los valores de reflectividad y teniendo en cuenta el significado estadístico de los valores del coeficiente de determinación,  $R^2$ , y del error cuadrático medio, RMSE, la mejor relación que se ha obtenido es (Figura 1):

$$\left(\frac{\text{Clf.a}}{\text{mg}/\text{m}^3}\right)^{1/3} = [(0.73 \pm 0.02)\text{TM2} + (0.88 \pm 0.12)] \quad (2)$$

con  $R^2=0.96$  y  $\text{RMSE}=0.13\text{mg}/\text{m}^3$ .

Para las partículas de seston, la mejor relación obtenida es la siguiente (figura 2):

$$\left(\frac{\text{P.seston}}{\text{mg}/\text{l}}\right)^{1/2} = [(1.62 \pm 0.07) \ln(\text{TM4}) + (4.28 \pm 0.08)] \quad (3)$$

con  $R^2=0.92$  y  $\text{RMSE}=0.4 \text{ mg}/\text{l}$ .

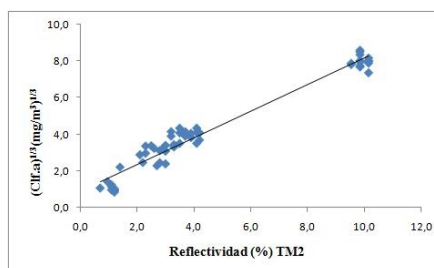
Finalmente, para la transparencia también se ha obtenido una buena correlación (Figura 3), a diferencia del estudio de la Albufera:

$$\text{Transparencia (cm)} = (380 \pm 1) (\text{TM2})^{-(1.27 \pm 0.03)} \quad (4)$$

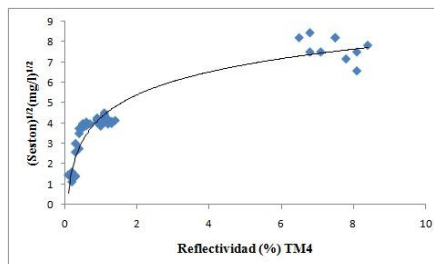
con  $R^2=0.96$  y  $\text{RMSE}=1.2$  cm.

**Tabla 2.-** Reflectividades de las bandas 2 y 4 del TM y datos de suelo de la campaña del 3-4 de Julio del 2000 en el PRSE (Madrid).

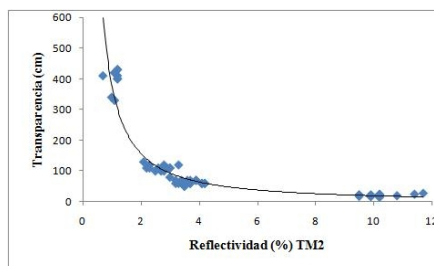
| TM2<br>(%) | TM4<br>(%) | Secchi<br>(cm) | Clf.a<br>(mg/m <sup>3</sup> ) | Seston<br>(mg/l) |
|------------|------------|----------------|-------------------------------|------------------|
| 1,2        | 0,1        | 400            | 0,6                           | 2,1              |
| 1,2        | 0,2        | 400            | 0,8                           | 1,2              |
| 1,2        | 0,2        | 430            | 0,8                           | 1,7              |
| 1,1        | 0,2        | 420            | 0,9                           | 2,5              |
| 1,2        | 0,2        | 410            | 0,9                           | 1,8              |
| 1,2        | 0,3        | 430            | 1,1                           | 1,9              |
| 0,7        | 0,3        | 410            | 1,2                           | 2,0              |
| 1,1        | 0,3        | 420            | 1,5                           | 6,6              |
| 1,1        | 0,3        | 330            | 1,9                           | 8,9              |
| 1,0        | 0,4        | 340            | 2,8                           | 7,5              |
| 1,4        | 0,4        | 120            | 10,7                          | 12,1             |
| 2,7        | 0,4        | 100            | 11,9                          | 13,9             |
| 3,0        | 0,5        | 110            | 13,5                          | 14,2             |
| 2,8        | 0,5        | 100            | 14,6                          | 15,0             |
| 2,2        | 0,5        | 110            | 14,8                          | 15,7             |
| 2,1        | 0,6        | 130            | 23,9                          | 14,9             |
| 2,3        | 0,6        | 120            | 25,9                          | 16,4             |
| 3,0        | 0,7        | 110            | 29,1                          | 15,7             |
| 2,8        | 0,9        | 120            | 29,9                          | 17,3             |
| 2,9        | 0,9        | 110            | 33,1                          | 17,1             |
| 2,6        | 0,9        | 110            | 33,7                          | 18,0             |
| 3,3        | 0,9        | 120            | 36,2                          | 16,2             |
| 2,3        | 1,0        | 110            | 37,7                          | 14,8             |
| 2,5        | 1,0        | 100            | 38,2                          | 15,6             |
| 3,0        | 1,0        | 80             | 39,0                          | 17,2             |
| 3,3        | 1,0        | 60             | 40,4                          | 16,1             |
| 3,5        | 1,1        | 50             | 42,9                          | 19,4             |
| 4,2        | 1,1        | 60             | 50,0                          | 16,6             |
| 4,1        | 1,1        | 60             | 42,9                          | 16,7             |
| 3,9        | 1,1        | 70             | 55,8                          | 20,2             |
| 3,7        | 1,2        | 70             | 59,0                          | 16,0             |
| 3,2        | 1,2        | 60             | 59,0                          | 15,6             |
| 3,7        | 1,2        | 60             | 63,9                          | 17,5             |
| 3,9        | 1,3        | 70             | 66,2                          | 15,8             |
| 3,5        | 1,3        | 70             | 67,5                          | 16,6             |
| 4,2        | 1,4        | 60             | 67,9                          | 17,0             |
| 4,1        | -          | 60             | 68,4                          | -                |
| 3,6        | -          | 70             | 70,1                          | -                |
| 3,7        | -          | 60             | 70,5                          | -                |



**Figura 1.-** Representación de la raíz cúbica de la clorofila a frente a los valores de reflectividad de la banda TM2.



**Figura 2.-** Representación de la raíz cuadrada de seston frente a los valores de reflectividad de la banda TM4.



**Figura 3.-** Representación de la transparencia frente a los valores de la reflectividad de la banda TM2.

## CONCLUSIÓN

El sensor TM de Landsat es útil para la determinación de parámetros indicadores del estado trófico del agua, como la concentración de clorofila a, transparencia y el seston.

En el presente trabajo, a diferencia de otros estudios, se ha intentado obtener una relación empírica de cada uno de los parámetros citados que sirva para cualquier lago o embalse. Para ello, se han utilizado dos experiencias realizadas en dos lagos con estados tróficos muy diferentes: La Albufera de Valencia, con un estado trófico muy acusado

(reflectividades del TM2 del 10 al 12%), y los lagos del PRSE de Madrid con un estado trófico leve (reflectividades TM2 del 1 al 4%).

Como resultado se han obtenido relaciones empíricas de los tres parámetros indicadores del estado trófico estudiados, aplicables a lagos y embalses desde un estado trófico leve hasta uno acusado.

El presente trabajo necesita validarse con resultados obtenidos en otros lagos con estados tróficos intermedios (reflectividades del TM2 entre el 5 y el 9%); así pues, un segundo paso será verificar estas relaciones de los parámetros de calidad de agua en otras imágenes Landsat en las cuales existan masas de agua cuya reflectividad TM2 varíe entre el 5% y el 9%, e intentar obtener el error de aplicación de la metodología aquí propuesta, para que sirva como herramienta en el seguimiento del estado ecológico de las masas de aguas, según la Directiva Marco del Agua (European Commission, 2000).

## BIBLIOGRAFÍA

- Baban, S.M.J. 1993. Detecting water quality parameters in the Norfolk Broads U. K., using Landsat imagery. *International Journal of Remote Sensing*, no.14: 1245-1246.
- Caselles, V. and López-García, M.J. 1989. An alternative simple approach to estimate atmospheric correction in multitemporal studies. *International Journal of Remote Sensing*, no.10: 1127-1134.
- Caselles, V., López-García, M.J. and Soria, J.M. 1986. Estudio del estado trófico del lago de la Albufera (Valencia) a partir de imágenes del Landsat-5 (TM). *I Reunión Científica del Grupo de Trabajo de Teledetección*. Barcelona, España.
- Cheshire, H.M., Pelkey, P.D. and Vose, J.M. 1988. Multiple regression technique in the analysis of Landsat TM for water quality monitoring. *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*. 29-38.
- Dekker, A.G. and Peters, S.W.M. 1993. The use of the Thematic Mapper for the analysis of eutrophic lakes: a case of study in the Netherlands. *International Journal of Remote Sensing*, no.14: 799-821.
- Domínguez, J.A., Chuvieco, E. and Sastre, A. 2008. Monitoring transparency in inland water bodies using multispectral images. *International Journal of Remote Sensing* (in press).
- European Commission, 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*, n°.327 (22.12.2000):1-72.
- Giardino, C., Pepe, M., Brivio, P.A., Ghezzi, P. and Zilioli, E. 2001. Detecting chlorophyll, Secchi disk depth and surface temperature in a sub-alpine lake using Landsat imagery. *The Science of the Total Environment*, no.286: 19-29.
- Gilabert, M.A., Conese, C. and Masselli, F. 1994. An atmospheric correction method for the automatic retrieval of surface reflectances from TM images. *International Journal of Remote Sensing*, no.15: 2065-2086.
- Lathrop, R.G., Lillesand, T.M. and Yandell, B.S. 1991. Testing the utility of simple multi-date Thematic Mapper calibration algorithms for monitoring turbid inland waters. *International Journal of Remote Sensing*, no.12: 2045-2064.
- Lavery, P., Paattiaratchi, C., Wyllie, A. and Hick, P. 1993. Water quality monitoring in estuarine water using the Landsat Thematic Mapper. *Remote Sensing of Environment*, no.46: 268-280.
- López-García, M.J. and Caselles, V. 1990. A multitemporal study of chlorophyll-a concentration in the Albufera lagoon of Valencia, Spain, using Thematic Mapper data. *International Journal of Remote Sensing*, no.11: 301-311.
- Mayo, M., Gitelson, A., Yacobi, Y.Z. and Ben-Avraham, Z. 1995. Chlorophyll distribution in Lake Kinneret determined from Landsat Thematic Mapper data. *International Journal of Remote Sensing*, no.16: 175-182.
- Strickland, J.D.H., Parsons, T.P. 1968. *A practical handbook for seawater analysis*. (Ottawa: Fisheries Research Board).

## AGRADECIMIENTOS

Los autores deseamos expresar nuestro agradecimiento al MEC por la ayuda concedida (Proyecto CGL2007-64666-CLI). También queremos agradecer los comentarios realizados por la Prof. M.A. Gilabert (Universidad de Valencia).