

Herramienta para el estudio del estado de Eutrofización de masas de agua continentales

C. Doña¹, V. Caselles¹, J. M. Sánchez², A. Ferri¹ y A. Camacho³

¹ *Departamento de Física de la Tierra y Termodinámica. Facultad de Física. Universidad de Valencia. Doctor Moliner, 50. 46100-Burjassot*

² *Departamento de Física Aplicada. Escuela de Ingenieros Industriales. Universidad de Castilla la Mancha. Av. España, 02071, Albacete*

³ *Departamento de Microbiología y Ecología e Instituto Cavanilles de Biodiversidad y Biología Evolutiva. Universidad de Valencia. Doctor Moliner, 50. 46100-Burjassot*

Resumen

La calidad de las aguas continentales (lagos, embalses...) se está viendo mermada por el fenómeno de eutrofización. Se ha demostrado que la información obtenida desde satélite permite determinar variables que indican el estado trófico del agua, tales como la concentración de clorofila a, transparencia, y partículas en suspensión (seston).

Un estudio reciente, utilizando las diferentes bandas del sensor Thematic Mapper (TM), consigue relacionar la clorofila a, y la transparencia con la reflectividad de la banda 2, así como, las partículas en suspensión con la banda 4 (Doña et al., 2009). Siendo posible utilizar estos modelos para masas de agua con características desde el extremo hipereutrófico a oligotrófico.

En este trabajo se utilizan datos de una nueva campaña experimental en el Parque de L'Albufera para validar estas relaciones. Se comparan, en 15 puntos de muestreo, los valores medidos con los resultados obtenidos para cada parámetro utilizando el modelo. Los resultados de este análisis muestran la necesidad de redefinir esos modelos para adaptarlos a las condiciones de eutrofización de nuestra zona experimental.

Se obtienen nuevos modelos de clorofila a, seston y transparencia, mejor adaptados a las condiciones de eutrofia de la zona de estudio. Los resultados sobre L'Albufera muestran un error de estimación inferior al 12% para los tres parámetros analizados.

Este trabajo supone un paso más hacia la obtención de modelos que nos den información sobre el estado de calidad de aguas continentales sin tener que realizar medidas in situ. .

Palabras clave: estado trófico, Thematic Mapper, Albufera, clorofila.

Abstract

Tool For The Study Of The Trophic State Of Continental Water Bodies

Quality of continental water (lakes, reservoirs...) is being affected by the eutrophication phenomenon.

It has been demonstrated that remote sensing data allows us to estimate variables indicator of the trophic state, such as concentrations of chlorophyll, seston and transparency in the water.

A recent study using the different bands of the Thematic Mapper sensor, relates chlorophyll a and transparency with reflectivity in band 2, as well as seston with band 4 (Doña et al., 2009). These models can be used under water conditions ranging from oligotrophic to hypertrophic. Data from a new experimental campaign in L'Albufera Park were used to test those relationships. 15 sampling points were used to compare measured and modeled values of the different parameters. Results showed the necessity of redefining the models in order to adapt the previous equations to the new eutrophication conditions.

* Autor para la correspondencia: carolina.dona@uv.es

Recibido: 30-11-10; Aceptado: 28-09-11.

New models are obtained to calculate chlorophyll a, seston and transparency. Results over L'Albufera show an estimation error lower than 12% for the three parameters analysed.

This work is a step forward in the development of models to obtain information on the quality of continental water bodies without the necessity of ground data.

Key words: trophic state, Thematic Mapper, Albufera, chlorophyll.

Introducción

El agua es un recurso natural muy importante, y en algunos lugares empieza a ser escaso. Es por eso que se necesita cada vez más realizar un buen uso de ella, así como impedir su deterioro. La presión demográfica hace que se necesite un volumen mayor de este recurso y que produzcamos aguas de desecho (residuales) que en muchas ocasiones llegan a deteriorar la calidad de las aguas y el estado ecológico de los ecosistemas acuáticos. Este fenómeno es conocido como Eutrofización.

Etimológicamente el término eutrófico significa «bien nutrido». Fue por primera vez definida por Naumann en 1919 como «un incremento en el nivel de nutrientes, especialmente del fósforo y el nitrógeno» (Domínguez, 2002). Posteriormente se han ido añadiendo más definiciones, la mayoría con un factor en común, el incremento de nutrientes. Más recientemente, la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) ha definido la eutrofización como el enriquecimiento de sustancias nutritivas del agua que generalmente provoca cambios como el aumento en la producción de algas y otras plantas acuáticas, y el deterioro de la calidad del agua y del ecosistema acuático. Un parámetro que nos indica la calidad de agua es el fitoplancton cuya biomasa se correlaciona positivamente con el incremento de nutrientes. Así, nos basaremos en la clorofila *a*, [Chl-*a*], como indicador de la biomasa del fitoplancton. Este parámetro nos permite clasificar las masas de agua continentales

en un rango que va desde estado oligotrófico (niveles bajos de nutrientes) a estado hipereutrófico (alto contenido en nutrientes). La medida del seston es otro método de estimar la biomasa, aunque incluye, además de células vivas del plancton, restos celulares y productos de degradación, así como partículas inorgánicas en suspensión. Por último, la transparencia mide la zona fótica de una masa de agua, es decir, hasta donde penetra la luz solar, y por tanto, donde hay actividad fotosintética. También, la transparencia, determina el potencial de la producción primaria, y como consecuencia nos da información sobre el estado de eutrofia del sistema. En la Tabla 1 se muestran los valores límites para la clasificación trófica de la OCDE.

La Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE), establece que todos los países de la Unión Europea deben prevenir el deterioro, mejorar y recuperar el estado de las masas de agua superficiales y potenciar que estén en buen estado ecológico. Asimismo, establece que se deben preservar las zonas protegidas, teniendo en cuenta los datos científicos y técnicos disponibles. Según esto, en el lago de la Albufera de Valencia, se debería recabar información sobre su estado de calidad y aplicar las medidas correctoras oportunas (Romo *et al.*, 2008).

En recientes estudios se ha demostrado el uso del sensor Thematic Mapper (TM) de Landsat para la determinación de variables indicadoras del estado trófico, como la concentración de clorofila *a*, la transparencia y las partículas en suspensión o sestón en el agua (Doña, *et al.*, 2009; Domínguez *et al.*, 2009).

Tabla 1. Valores límite para la clasificación trófica de la OCDE ($\mu\text{g/l}$, m)

Categoría trófica	[Chl- <i>a</i>] media	[Chl- <i>a</i>] máxima	SD media	SD mínimo
Ultraoligotrófico	< 1	< 2,5	> 12	> 6
Oligotrófico	< 2,5	< 8	> 6	> 3
Mesotrófico	2,5-8	8-25	6-3	3-1,5
Eutrófico	8-25	25-75	3-1,5	1,5-0,7
Hipertrófico	> 25	> 75	< 1,5	< 0,7

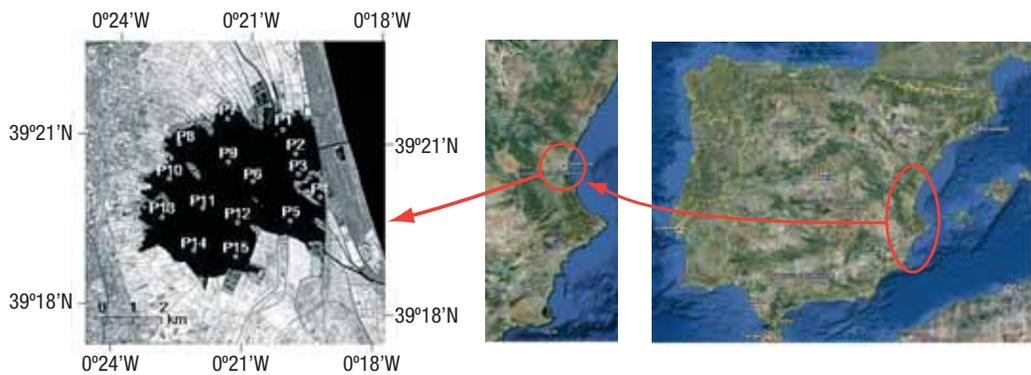


Figura 1. Localización del área de estudio y puntos de muestreo.

Con el presente trabajo se intenta validar el modelo establecido en el que utilizando las reflectividades de las bandas 2 y 4 podemos obtener la concentración de clorofila *a* y partículas en suspensión, y la transparencia, respectivamente (Doña *et al.*, 2009). Para ello se utilizan los datos obtenidos en dos nuevas campañas en L'Albufera.

Zona de estudio

El Parque Natural de la Albufera de Valencia constituye uno de los espacios naturales más representativos e interesantes de la Comunidad Valenciana, y se ha reconocido su valor en el ámbito nacional e internacional. La Albufera de Valencia (39° 20'N, 0° 20'W), localizada a unos 10 kilómetros del extremo sur de la ciudad de Valencia, constituye el mayor lago de la Península Ibérica (fig. 1).

El lago fue más extenso en el pasado pues, por una parte, tiende a colmatarse y, por otra, los cultivos de arroz le han ido restando superficie. En la actualidad puede estimarse su superficie en unas 2.320 hectáreas y su profundidad media es aproximadamente de 1,2 m (Romo *et al.*, 2008).

Es un antiguo golfo marino, cerrado por una restinga o cordón litoral y alimentado por las aguas dulces de barrancos, acequias, ríos (Turia y Júcar), y surgencias denominadas *ullals* (Soria *et al.*, 2002). El lago propiamente dicho, pertenece en su totalidad al término municipal de Valencia, por el este, la separa del Mediterráneo una estrecha franja arenosa de unos

1.200 metros cubierta de pinares de pino de Aleppo y monte bajo conocida como la Dehesa de El Saler, que constituye el dique natural de la laguna. A través de esta faja costera se abren los tres canales de desagüe o «golas» (de El Pujol, El Perellonet y El Perelló) que regulan mediante compuertas el nivel de las aguas del lago, según los valores más adecuados para el ciclo del cultivo del arrozal.

En las últimas décadas del siglo XX, sin embargo, lo que fue una zona eminentemente rural se ha convertido en una de las áreas más dinámicas de la Comunidad Valenciana, con la consiguiente generación de importantes conflictos con la conservación de este espacio natural. Así, los núcleos que rodean al lago han experimentado un fuerte crecimiento (consecuencia del desarrollo agrario, turístico o industrial) aumentando la presión urbanística, humana e incrementando la contaminación sobre el espacio natural, principalmente del agua. La intensificación de la agricultura y la transformación de cultivos tradicionales han generado conflictos en relación con el agua principalmente, y el aterramiento de terrenos húmedos; asimismo la creciente afluencia de visitantes y la presencia de enclaves costeros turísticos de importancia han dado lugar igualmente a problemas ambientales importantes.

A partir del reconocimiento del parque en régimen jurídico como *Parque Natural* por decreto de la Generalitat Valenciana de 8 de julio de 1986 y su incorporación cuatro años más tarde a la lista de humedales de importancia internacional designada por el Gobierno español, como hábitat de aves acuáticas (Soria *et*

Tabla 2. Puntos de muestreo en L'Albufera

Pto. muestreo	lat (N)	long (W)	UTM30 X (m)	UTM30 Y (m)
P1	39°21'16.38"	0°20'11.90"	729465	4359525
P2	39°20'51.46"	0°19'59.26"	729795	4358775
P3	39°20'27.62"	0°19'48.74"	730065	4358025
P4	39°20'4.34"	0°19'21.58"	730755	4357335
P5	39°19'36.37"	0°20'6.24"	729705	4356435
P6	39°20'19.26"	0°20'49.26"	728625	4357725
P7	39°21'22.29"	0°21'32.47"	727545	4359645
P8	39°20'57.17"	0°22'32.95"	726105	4358835
P9	39°20'38.95"	0°21'35.57"	727515	4358295
P10	39°20'17.36"	0°22'47.79"	725805	4357605
P11	39°19'39.49"	0°22'6.27"	726825	4356465
P12	39°19'31.21"	0°21'12.81"	728115	4356225
P13	39°19'32.50"	0°23'0.06"	725535	4356195
P14	39°18'57.90"	0°22'14.94"	726645	4355175
P15	39°18'54.12"	0°21'10.68"	728205	4355085

al., 2002), la Albufera ha sido motivo de muchos estudios que en menor o mayor medida intentan mejorar su estado en todos los ámbitos. A nivel estatal, mediante el Plan Hidrológico de la Cuenca del Júcar, se ha intentado mejorar la calidad del agua del lago, aportando caudales externos, aunque no llegando a los objetivos propuestos la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE).

El lago de la Albufera es un sistema hipereutrófico. Tiene la particularidad de disponer de puertas o «golas» que posibilitan la renovación periódica de sus aguas. Estos flujos de agua dentro del lago determinan la evolución anual del sistema (Caselles *et al.*, 1986).

Medidas y métodos

Se ha dividido la zona en 15 sectores (tabla 2), intentando que los puntos de muestreo estén lejos de la orilla y que abarquen todos los tipos de masas de agua existentes en el lago (fig. 1). La metodología consta de dos partes, por un lado un trabajo en el laboratorio de tratamiento de las muestras recogidas en los distintos puntos seleccionados de la Albufera, y por otro lado un procesamiento de imágenes de satélite.

Trabajo de campo

Se seleccionaron dos días para la campaña en base al calendario de paso del satélite por la

zona y a las condiciones meteorológicas. Los días elegidos fueron el 20 de julio y el 5 de agosto de 2010. Se intentó que el momento central del periodo de muestreo (toma de muestra del punto 7 u 8 de los 15 totales) coincidiera con el paso del satélite por la zona.

En cada punto se realizó el trabajo siguiente:

- Anotación de las coordenadas geográficas (GPS).

- Recogida de 0,5-1 L de agua para el análisis del material en suspensión.

- Filtrado del volumen máximo posible sobre filtro de fibra de vidrio marca Whatman de 47 mm de diámetro, anotación del mismo y recogida de filtro en tubo.

- Medida del disco de Secchi.

Tanto las botellas como los tubos con los filtros se conservaron refrigeradas en una nevera hasta su análisis, el cual comenzó el mismo día de la toma de muestras.

La medición de los pigmentos fotosintéticos, clorofila *a* (mg/m³), se realizó siguiendo Método tricromático de Strickland y Parsons (1968) para clorofilas algales.

Para determinar las partículas en suspensión (seston, mg/l) se utilizó un método gravimétrico (diferencia de pesada) (APHA/AWA/WEF 1995).

En cuanto a la medida de la transparencia, se realizó *in situ* mediante un disco de Secchi (SD).

En la Tabla 3 se muestra un resumen de los resultados de la nueva campaña en intervalos para cada parámetro.

Tabla 3. Intervalo de reflectividades de los canales 2 y 4 del sensor TM, y de las medidas correspondientes a cada parámetro, para los dos días de campaña

Zona	TM2 (%)	TM4 (%)	[Cla] (mg/m ³)	Seston (mg/l)	Transp. (m)
Albufera	[4,9-7,9]	[2,8-5,6]	[23,9-99,0]	[42,3-86,8]	[0,10-0,30]
Las Madres	[0,7-1,2]	[0,1-0,4]	[0,6-2,8]	[1,2-8,9]	[3,3-4,3]
El Campillo	[1,4-3,3]	[0,4-1,0]	[10,7-38,2]	[12,1-18,0]	[1,0-1,3]
El Porcal	[3,0-4,2]	[1,0-1,4]	[39,0-81,5]	[20,2-15,6]	[0,5-0,8]

Tratamiento de imágenes

El sensor utilizado fue el Landsat 5 TM. Las imágenes para este trabajo se extrajeron de la página Web <http://glovis.usgs.gov/>. Las dos imágenes empleadas corresponden al path y row 198 y 33, respectivamente, y a las fechas 20/07/2010 y 05/08/2010 (coincidentes con las medidas en superficie)

Para la corrección atmosférica de las imágenes se aplicó el método Gilabert *et al.*, 1994. Se decidió utilizar este método debido a que se desarrolló para superficies oscuras, como puede ser el agua, y espesores ópticos pequeños (Domínguez, 2002). Una vez obtenidas las reflectividades se clasificaron los píxeles como *tierra* o *agua* utilizando un umbral en la banda 4. Esto es porque en esta parte del espectro el agua presenta menores valores de reflectividad que el resto de superficies.

A continuación se aplicaron las relaciones obtenidas en Doña *et al.* (2009). Los resultados obtenidos para las dos fechas indican que existe la necesidad de modificar la ecuaciones de Doña *et al.* (2009) para adaptarlas a estas condiciones de eutrofización. En las Tablas 3-5 se incluyen los resultados de cada parámetro para cada fecha, pudiéndose observar la no correlación entre valores estimados y observados.

Para la readaptación de los modelos se eligen de manera aleatoria el 50% de los valores de una base de datos integrada por las medidas realizadas por el Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX) en la campaña del 3-4 de Julio del 2000 en los lagos del Porcal, las Madres y el Campillo situados en el «Parque Regional del Sureste» (Madrid), y las nuevas medidas realizadas en L'Albufera. A partir de estos datos se trata de redefinir las relaciones entre las reflectividades en las respectivas ban-

das y el parámetro a estudiar. Empleando un tratamiento estadístico, y de entre todas las pruebas realizadas, se ha elegido aquel modelo que ha ofrecido los mejores resultados.

Finalmente, con el restante 50% de los datos, se ha realizado una validación del funcionamiento del modelo propuesto.

Resultados

En la figura 2 se representan los puntos experimentales empleados para la elaboración de los modelos, siguiendo la formulación que mejor correlación ofrece en cada caso.

Los nuevos modelos obtenidos son:

$$(Clf.a) = \left[\left((1,06 \pm 0,14) \cdot \ln(TM2) \right) + (1,80 \pm 0,22) \right]^2 \left(\frac{mg}{m^3} \right) \quad [2]$$

$$Transparencia = \left[(4,59 \pm 1,09) \cdot (TM2)^{(-1,53 \pm 0,05)} \right] (m) \quad [3]$$

$$(Seston) = \left[\left((2,28 \pm 0,14) \cdot \ln(TM4) \right) + (4,97 \pm 0,15) \right]^2 \left(\frac{mg}{l} \right) \quad [4]$$

Aplicando estas nuevas ecuaciones a los datos reservados para la validación se llega a los resultados mostrados en la figura 3 (ver Anexo 1 para la descripción cuantitativa de los puntos):

En las gráficas de la figura 3, se ha distinguido los puntos que corresponden a los datos de las nuevas campañas. Los nuevos modelos reproducen valores aceptables de cada parámetro para la gestión de calidad del agua, exceptuando la [Cla], que con un RMSE de 20 mg/m³ no se podría realizar la clasificación de la masa de agua según los intervalos establecidos por la OCDE. Los resultados estadísticos de esta validación se recogen en la Tabla 4. En resumen se obtienen unos errores inferior-

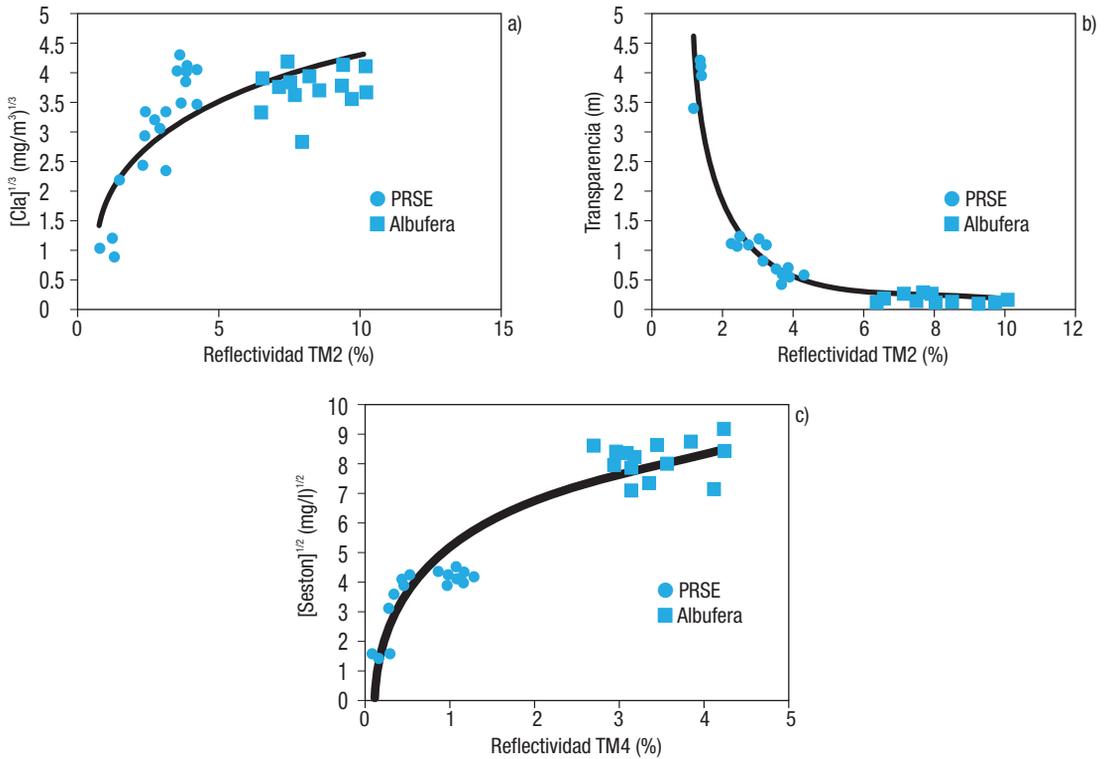


Figura 2. Representación de los valores utilizados para la modelización de los distintos parámetros: a) clorofila $(mg/m^3)^{1/3}$, b) seston $(mg/l)^{1/2}$ y c) transparencia (m), respecto a la reflectividad en la banda adecuada. En los tres casos se superpone mejor el ajuste por regresión a los datos.

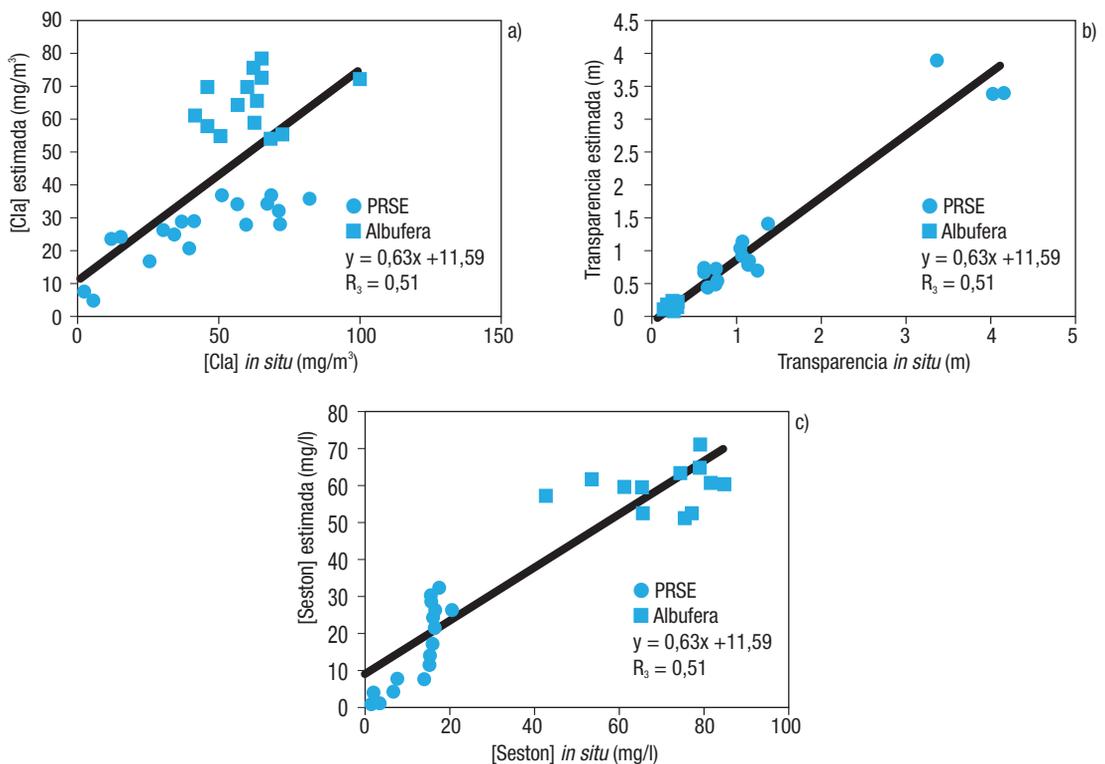


Figura 3. Representación de los valores estimados y observados de: a) Clorofila (mg/m^3) , b) seston (mg/l) y c) transparencia (m), con el modelo obtenido y su coeficiente R^2 de correlación.

Tabla 4. Parámetros estadísticos de la validación de los modelos, teniendo en cuenta la base de datos completa y solo los datos de La Albufera

		BIAS ^a	RMSE ^b	MAD ^c	MADP ^d (%)
[Cla] (mg/m ³)	TODO	-6	19	15	12
	ALB	7	15	12	6
[Seston] (mg/l)	TODO	-0,9	11	8	8
	ALB	-8	15	13	5
Transparencia (m)	TODO	-0,04	0,23	0,14	5
	ALB	0,002	0,05	0,04	7

$$^a \text{ Biased Estimator: } BIAS = \sum_{i=1}^n (P_i - O_i) / n$$

$$^b \text{ Root Mean Square Difference: } RMSD = \left[\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 / n \right]^{1/2}$$

$$^c \text{ Mean Absolute Difference: } MAD = \sum_{i=1}^n |P_i - O_i| / n$$

$$^d \text{ Mean Absolute Porcentual Difference: } MADP = \sum_{i=1}^n |P_i - O_i| / \bar{O}$$

res a 20 mg/m³ para la clorofila, a 15 mg/l para el seston y a 25 cm para la transparencia, o en términos relativos inferiores al 12% en todos los casos. Estos indicadores son incluso más favorables cuando los modelos se aplican solamente a los datos de L'Albufera. En este caso los errores relativos son del 6, 5, y 7 %, para la clorofila, seston y transparencia, respectivamente.

Con los modelos obtenidos podemos realizar mapas temáticos del lago, y de esta forma realizar un seguimiento de la evolución de cada parámetro por toda la extensión de nuestra área de estudio. En la figura 4 se muestran los mapas temáticos obtenidos para las dos fechas de estudio de este trabajo.

En próximos trabajos se tratará de completar la validación de este modelo con nuevas campañas experimentales, así como extender la aplicación de los modelos a sensores de mayor resolución espacial. También se podrían introducir mejoras en el método experimental empleado en el análisis de las muestras.

Conclusiones

El sensor TM del Landsat es útil para la determinación de variables indicadoras del esta-

do trófico del agua, como la clorofila a, transparencia y seston.

Con este trabajo se ha demostrado que existen condiciones de eutrofia para las que los modelos descritos por Doña *et al.* (2009) necesitan ser modificados. Para ello se han utilizado los datos recogidos en dos fechas distintas en L'Albufera de Valencia. Como resultado se obtienen unos nuevos modelos que reproducen mejor los valores observados de los distintos parámetros, ofreciendo una mejor correlación que la observada con los modelos anteriores.

La validación en la zona de L'Albufera muestra unos errores relativos inferiores al 12% para la estimación de la clorofila, el seston o la transparencia, a partir de los nuevos modelos obtenidos.

En cuanto a los mapas temáticos obtenidos de la zona de estudio, se puede observar que la masa de agua es hipertrófica tanto en valores de clorofila *a*, mayores de 25 mg/m³, como en valores de transparencia, menores de 70 cm.

Con este artículo se logra dar un paso adelante para la obtención de una herramienta que nos de información sobre el estado ecológico de las masas de agua, según la Directiva Marco del Agua (European Comisión, 2000), sin la necesidad de realizar medidas *in situ*.

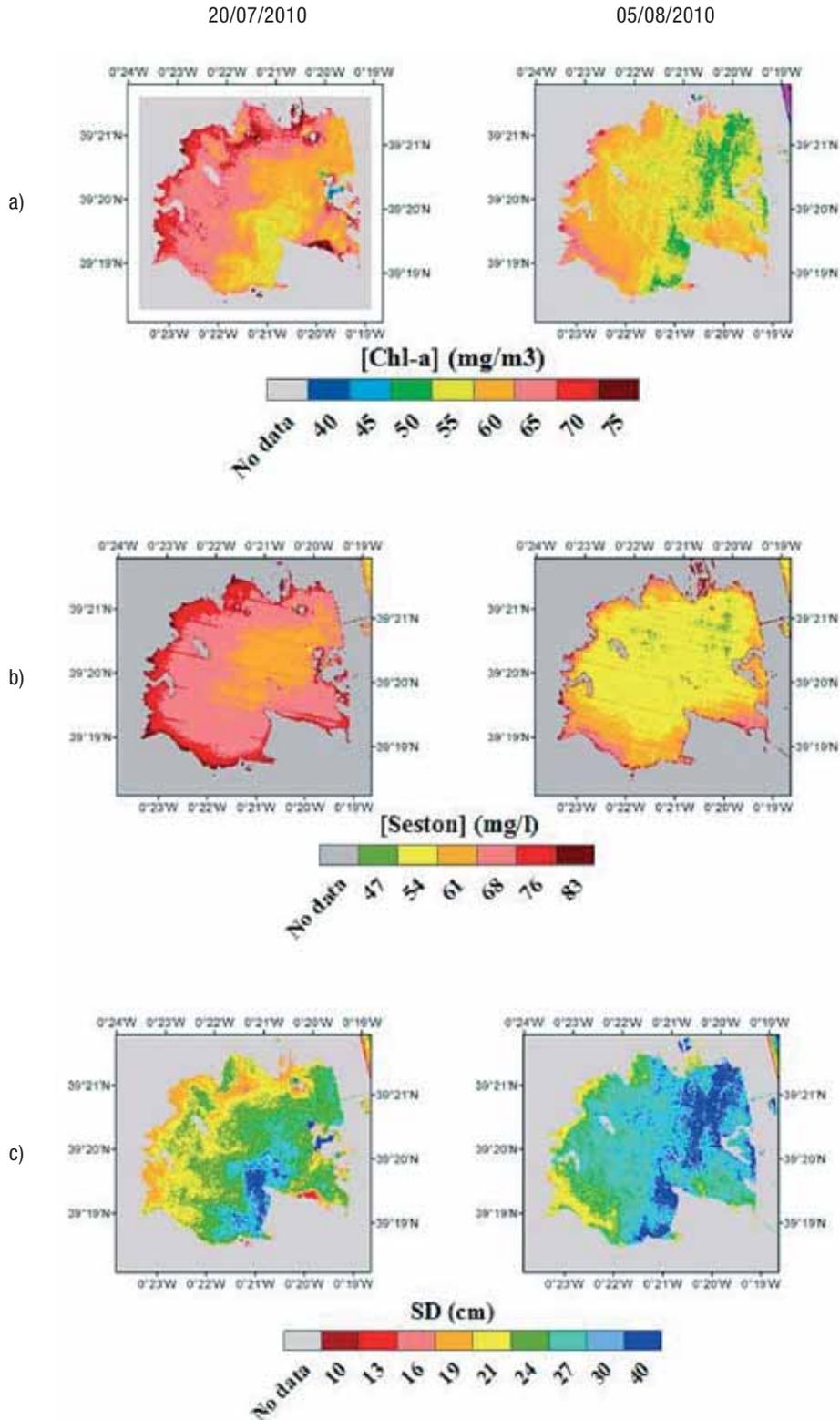


Figura 4. Mapas temáticos de la zona de estudio para las dos fechas de estudio (izq. –der.) de los diferentes parámetros: a) Clorofila (mg/m³), b) seston (mg/l) y c) transparencia (m).

ANEXO I.

Información detallada de los resultados estimados y observados

Comparación de los resultados obtenidos de Clorofila *a*. Valores observados y estimados con los diferentes modelos en las diferentes campañas. Los valores en blanco corresponden a los puntos utilizados para la construcción del modelo.

20/07/2010			05/08/2010		
[Cla] obs. (mg/m ³)	[Cla] est. (mg/m ³) Modelo Doña <i>et al.</i> , 2009	[Cla] est. (mg/m ³) Modelo propuesto	[Cla] obs. (mg/m ³)	[Cla] est. (mg/m ³) Modelo Doña <i>et al.</i> , 2009	[Cla] est. (mg/m ³) Modelo propuesto
49,9	193		46,0	189	57,4
58,8	136	70,2	37,5	219	
55,7	225		60,5	203	
—	—		74,2	231	
45,3	160	70,2	61,3	215	58,9
52,6	120		71,5	185	56,0
99,0	157	72,7	53,5	219	
68,6	215		23,9	268	
63,9	208	77,5	40,5	273	61,8
72,2	176		55,5	234	
64,6	160	72,7	50,4	168	55,3
61,9	94		56,8	231	
61,7	204	75,2	48,8	272	
46,9	186		55,7	304	63,9
62,2	91,4	65,1	67,5	182	54,4

Comparación de los resultados obtenidos de seston. Valores observados y estimados con los diferentes modelos en las diferentes campañas. Los valores en blanco corresponden a los puntos utilizados para la construcción del modelo.

20/07/2010			05/08/2010		
[seston] obs. (mg/l)	[seston] est. (mg/l) Modelo Doña <i>et al.</i> , 2009	[seston] est. (mg/l) Modelo propuesto	[seston] obs. (mg/m ³)	[seston] est. (mg/m ³) Modelo Doña <i>et al.</i> , 2009	[seston] est. (mg/m ³) Modelo propuesto
74,8	45,8		42,3	36,7	57,8
74,2	41,9		62,8	37,0	
83,0	49,3		61,1	37,8	
—	—		51,1	42,4	
85,0	43,2			52,9	39,9 61,9
86,8	41,0		74,8	35,8	52,1
78,4	50,5	71,7	53,3	38,6	
72,1	48,3		49,8	37,5	
84,0	45,4	61,1	64,9	37,8	59,9
73,8	44,7		70,0	36,1	
75,8	42,8	52,7	65,0	34,7	53,5
68,4	43,0		63,9	40,1	
81,1	44,9	61,1	66,3	36,1	
77,2	46,8		73,9	40,1	63,8
78,4	46,4	64,9	61,6	39,6	59,9

Comparación de resultados obtenidos de transparencia. Valores observados y estimados con los diferentes modelos en las diferentes campañas. Los valores en blanco corresponden a los puntos utilizados para la construcción del modelo.

20/07/2010			05/08/2010		
Transp. obs. (m)	Transp. est. (m) Modelo Doña <i>et al.</i> , 2009	Transp. est. (m) Modelo propuesto	Transp. obs. (m)	Transp. est. (m) Modelo Doña <i>et al.</i> , 2009	Transp. est. (m) Modelo propuesto
0,20	0,35		0,25	0,35	0,21
0,20	0,41	0,16	0,16	0,33	
0,12	0,33		0,20	0,34	
-	-		0,25	0,32	0,24
0,13	0,38	0,16	0,18	0,33	0,23
0,13	0,44		0,25	0,35	0,25
0,19	0,37	0,15	0,28	0,32	
0,15	0,33		0,30	0,29	
0,17	0,33	0,13	0,25	0,29	
0,15	0,36		0,25	0,31	
0,11	0,38	0,15	0,14	0,37	0,26
0,14	0,51		0,20	0,32	
0,12	0,34	0,14	0,30	0,29	
0,10	0,35		0,23	0,27	0,20
0,10	0,51		0,20	0,36	0,26

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al Ministerio de Ciencia e Innovación por la ayuda concedida (Proyecto CGL2010-17577/CLI y contrato Juan de la Cierva del Dr. J. M. Sánchez) y a la Generalitat Valenciana (Proyecto PROMETEO/2009/086). Así como la ayuda en el tratamiento de las muestras por parte de C. Rochera del Dpto. Ecología y Microbiología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad de Valencia.

Referencias

ANDREU, E. & CAMACHO, A., 2002 Recomendaciones para la toma de muestras de agua, biota y sedimentos en humedales Ramsar. *Ministerio de Medio Ambiente*. Madrid, Spain. 226 pp.

BABINGER, F. 2002, La creciente importancia medioambiental de los humedales a modo de revisión bibliográfica. *Observatorio Medioambiental*, 5: 333-347.

CASELLES, V., LÓPEZ GARCÍA, M. J. & 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, 10-11 de diciembre.

CHANDER, G., MARKHAM, B. L., HELDER, D. L. 2009, Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment* 113: 893-903.

CHUVIECO, E. 1990. Fundamentos de Teledetección Espacial. Rialp. Madrid. 453 p.

DOMÍNGUEZ, J. A. 2002, Estudio de la calidad del agua de las lagunas de gravera mediante teledetección (Study of gravel-pit ponds water quality with remote sensing). PhD thesis, University of Alcalá, Alcalá de Henares, Spain.

DOMÍNGUEZ, J. A., CHUVIECO, E. & SASTRE, A. 2009. Monitoring transparency in inland water bodies using multispectral images. *International Journal of Remote Sensing*. 30:1567-1586.

DOÑA, C., DOMINGUEZ, J. A., CASELLES, V. 2009, Towards a unique relationship for the study of the trophic state of lakes and reservoirs with Thematic Mapper. *Revista de Teledetección*, 32: 25-39.

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*. 327 (22.12.2000):1-72.

GILABERT, M. A., CONESE, C. & MASSELLI, F. 1994, An atmospheric correction method for the

- automatic retrieval of surface reflectances from TM images. *International Journal of Remote Sensing*, 15: 2065-2086.
- MIRACLE, M. R., SORIA, J. M., VICENTE, E. & ROMO, S. 1987, Relaciones entre la luz, los pigmentos fotosintéticos y el fitoplancton en la Albufera de Valencia, laguna litoral hipertrófica. *Limnetica*, 3: 25-34.
- PENA, R. & SERRANO, M. L. 1992. Evaluación del estado trófico de los embalses mediante imágenes digitales. *Ingeniería Civil*, 86:37-44.
- ROMO, S., GARCIA-MURCIA, A., VILLENA, M. J., SANCHEZ V., BALLESTER, A. 2008, Tendencias del fitoplancton en el lago de la Albufera de Valencia e implicaciones para su ecología, gestión y recuperación. *Limnetica* 27 (1): 11-28.
- SERRANO, M. L., CAMACHO, A., VICENTE, E., PEÑA, R. 1997, Estudio por Teledetección de la evolución del estado trófico de tres embalses del ámbito de la confederación hidrográfica del Júcar en el periodo estival de los años 1994 y 1995. *Limnetica*, 13 (1): 5-14.
- SORIA, J. M., VICENTE, E. 2002, Estudios de los aportes hídricos al parque natural de la Albufera de Valencia. *Limnetica* 2 (1 -2): 105-115.
- STRICKLAND, J. D. H. & PARSONS, T. R. 1972. A practical Handbook of seawater analysis. *Bul. Fish. Res. Bd. Of Canada, Ottawa*, 167: 311.