

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.

M. L. Serrano Pérez¹, A. Camacho González², E. Vicente Pedrós², R. Peña Martínez¹.

1. Centro de Estudios Hidrográficos. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). P^o Bajo de la Virgen del Puerto, 3. 28005 Madrid. /Tel. 91 335 80 11 - 335 80 12. Fax: 335 79 94. E-mail: Maria.L.Serrano@cedex.es, Ramon.Pena@cedex.es.

2 Departamento de Microbiología y Ecología. Facultad de Biología. Universitat de Valencia. 46100 - Burjassot.

Tel. 96 3864381. Fax: 96 3983099. E-mail: antonio.camacho@uv.es, eduardo.vicente@uv.es.

Palabras clave: eutrofización, teledetección, calidad del agua, Júcar.

Key words: eutrophication, teledetection, water quality, Júcar.

ABSTRACT

REMOTE SENSING STUDY ON THE EVOLUTION OF THE TROPHIC STATE AT THREE RESERVOIRS FROM THE JUCAR RIVER BASIN DURING THE SUMMER PERIOD OF 1994 AND 1995.

In the summer of 1994, the Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) and Universitat de Valencia carried out a remote sensing (Landsat TM) study of the trophic state at the Beniarrés, Amadorio and Guadalest reservoirs, which belong to the Júcar river basin. Four parameters were evaluated at each reservoir: Chlorophyll a, Secchi transparency, suspended solids and temperature. An empirical relationship was established between the radiometric counting data provided by the sensor TM and "in situ" data, to enable the elaboration of thematic maps showing the studied variables surface variation. The image taking and processing was made on four dates: June 22th, July 8th, and July 24th of 1994 and July 11th of 1995. Finally, temporal evolution analysis was accomplished. The collection of water samples was carried out by Departamento de Microbiología y Ecología de la Universitat de Valencia and image processing by CEDEX.

INTRODUCCIÓN

Las zonas mediterráneas españolas, especialmente las situadas en el cuadrante sudeste de la península, disfrutan de escasas precipitaciones a lo largo del año, que por añadidura tienen un reparto muy irregular en el ciclo anual. Este hecho hace necesaria la construcción de embalses que permitan almacenar esos limitados recursos hídricos para ser utilizados en los extensos períodos secos. Dada la citada escasez, resulta imprescindible salvaguardar en la medida de lo posible la

calidad de las aguas. En esa línea se enmarcó un estudio de la eutrofización de diversos embalses auspiciado por la Confederación Hidrográfica del Júcar y realizado en los años 1994-95 a través de la adjudicataria TM-Consult, en los cuales el aumento del grado trófico se acentuó como consecuencia de una prolongada sequía.

El diagnóstico y seguimiento de la eutrofización de embalses requiere una serie de estudios convencionales de múltiples parámetros (oxígeno disuelto, pH, alcalinidad, amonio, nitratos, fósforo soluble, fósforo total, hierro ferroso y

férrico, manganeso, potencial redox, sulfato, ácido sulfhídrico, sílice, etc.).

Una solución alternativa es la utilización de la teledetección para identificar y evaluar algunos aspectos representativos del proceso de eutrofización (LILLESAND, 1979, SCARPACE *et al.*, 1979, MARTIN *et al.*, 1983, VERDIN, 1984, VERDIN 1985 LATHROP Y LILLESAND, 1986, ORTIZ Y PEÑA, 1987, PENA Y ORTIZ, 1987, ORTIZ Y PENA, 1989, PEÑA Y SERRANO, 1992).

La teledetección se basa en el estudio de la diferente respuesta de la radiación solar reflejada o emitida por la superficie terrestre en función de las distintas coberturas de dicha superficie, detectada por unos sensores a bordo de plataformas como satélites o aviones. La mayor parte de la energía solar que penetra en un lago o embalse es atenuada debido al proceso de absorción. Aunque sólo un pequeño porcentaje de la energía incidente es reflejada, esta radiación es el principal foco de interés en las investigaciones de calidad del agua por teledetección.

Cuatro parámetros limnológicos asociados con el fenómeno de la eutrofización se evalúan preferentemente a través de los sensores remotos: la clorofila a (mg/m³) como indicadora de la biomasa de algas, la transparencia del agua medida con el disco de Secchi (m), sólidos en suspensión (mg/l) (SHIEBE *et al.*, 1987, LATHROP, 1992) y la temperatura superficial del agua. El valor de algunas de estas variables es susceptible de cambiar en función del mayor o menor grado de eutrofización de la masa de agua.

El objetivo del trabajo es, obtener unas ecuaciones que sean capaces de predecir estos parámetros, aprovechando las correlaciones entre los valores de clorofila a, de transparencia y sólidos en suspensión, medidas "in situ" a lo largo de la superficie del embalse, con los valores de ND (niveles digitales) o unidades de respuesta de la radiación solar reflejada o radiación emitida por la superficie, detectados por el sensor TM para los mismos puntos. Posteriormente se elaboran unos mapas temáticos que muestran la variación superficial de las variables predictivas. Los mapas de temperatura se obtienen a partir del infrarrojo térmico, banda 6 del sensor TM de Landsat.

Si esto se realiza en varias fechas, la introducción de los mapas resultantes obtenidos en un sistema de información geográfica permite la realización de un estudio multitemporal en el que se analiza la evolución del grado de eutrofización durante todo el período de estudio.

Dentro de este objetivo se pretende comparar varias ecuaciones desarrolladas por distintos métodos:

A. Regresiones ajustadas para cada embalse y fecha de

B. Regresiones obtenidas mediante la normalización de imágenes de varias fechas, de aplicación más generalizada a todos los embalses.

C. Regresiones entre niveles digitales y datos "in situ" para una fecha y aplicadas en imágenes de otras fechas (previamente normalizadas).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El norte de la provincia de Alicante, incluido en el ámbito de la Confederación Hidrográfica del Júcar constituye una zona de transición hacia un clima extremadamente árido al avanzar hacia el sur. En este marco se encuentran tres de los embalses incluidos en el mencionado estudio, dos de los cuales, Amadorio (16 hm' de capacidad máxima) y Guadalest (13 hm³), se dedican básicamente al abastecimiento de la población de las importantes zonas turísticas de la comarca de La Marina. El otro embalse, Beniarrés (27 hm'), está situado más al interior y sus aguas son dedicadas principalmente al riego de las zonas hortofrutícolas del sur de la provincia de Valencia.

El embalse de Amadorio, situado muy próximo al mar, en las cercanías de la población de La Vila-Joiosa, recoge las aguas de los ríos Sella y Amadorio, cuyos aportes coinciden prácticamente con momentos puntuales de fuertes precipitaciones. Los aportes de vertidos de aguas residuales son relativamente escasos, limitándose a los vertidos de pequeñas poblaciones o urbanizaciones aguas arriba que en la mayoría de los casos no llegan al embalse. Ocasionalmente recibe bombeos de aguas procedentes del Canal del Bajo Algar, al que llegan también aportes diluidos de aguas residuales.

El embalse de Guadalest está situado en la cabecera de un estrecho valle abierto al mar, limitado por las Sierras de Xorta, Aitana y Serrella al norte, sur y oeste respectivamente. Este valle resulta relativamente húmedo dada su exposición a los vientos de levante y las altas montañas que los rodean, lo que hace que, pese a la corta distancia que lo separa del embalse de Amadorio, las precipitaciones sean más frecuentes. A pesar de ello, dada su reducida cuenca, los aportes superficiales son bastante escasos, alimentándose el embalse tanto de los caudales aportados aguas arriba por los pozos de Beniarrés como de las aguas bombeadas desde el nacimiento del río Algar aguas abajo. Los aportes de aguas residuales son actualmente casi nulos, dado que las pequeñas poblaciones de su cuenca disponen de sistemas de colección.

El embalse de Beniarrés se encuentra en el interior de la provincia de Alicante, aún más al norte que los anteriores. A

diferencia de ellos, recibe permanentemente caudales de agua, aportados por el río Serpis, si bien éstas llegan al embalse fuertemente contaminadas como consecuencia de los vertidos, depurados o no, de la zona situada aguas arriba, en la que existen poblaciones importantes (Alcoi, Cocentaina, ...) con elevada actividad industrial manufacturera, a los que cabe añadir el aporte de vertidos altamente contaminantes de industrias agropecuarias del vino y del aceite.

Muestreo y métodos analíticos

Se eligieron cuatro fechas, 22 de junio, 8 y 24 de julio de 1994 y 11 de julio de 1995, todas ellas en época estival por ser las que daban una mayor garantía de no nubosidad en la zona. Las fechas de muestreo se hacían coincidir con aquellas marcadas para el paso del satélite Landsat 5 (aproximadamente cada 16 días).

El muestreo se iniciaba con la obtención de perfiles verticales de diversos parámetros en dos puntos del embalse, próximos a la presa y a la cola respectivamente. Los parámetros medidos, oxígeno, temperatura, conductividad y penetración luminosa se obtenían mediante el uso de las sondas adecuadas. A continuación, y en un intervalo de ± 1 hora en torno a la hora de paso del satélite, con la ayuda de un potente motor fuera borda se visitaban los distintos puntos de muestreo establecidos en el interior del embalse. En cada uno de esos puntos, previamente fijados para conseguir una buena representación de toda la superficie del embalse, se determinaba la temperatura superficial y la transparencia del agua (mediante el disco de Secchi), tomándose además muestras de agua para la determinación de la concentración de clorofila a y sólidos en suspensión.

La determinación de la clorofila a se hacía sobre dos tipos de muestras, una superficial y otra tomada mediante un tubo de plástico que integraba la columna de agua en los dos metros más próximos a la superficie. Las muestras así tomadas eran depositadas en botellas de plástico de 1,5 litros de capacidad, conservadas inmediatamente en la oscuridad a baja temperatura y filtradas el mismo día a través de un filtro de fibra de vidrio GF/F (Whatman). La clorofila se extraía durante 24 horas a -20°C colocando los filtros en tubos que contenían 5 ml de acetona 90%: DMSO (1:1), y la absorbancia de los extractos clarificados se determinaba entre 350 y 850 nm utilizando un espectrofotómetro Beckman DU-7 conectado a un sistema de informatización de datos. La concentración de clorofila se determinaba utilizando el método tricromático de Strickland y Parsons (JEFFREY AND HUMPHREY, 1975).

Metodología de teledetección

Se ha seleccionado una miniescena flotante dentro de la escena 1981033 de Landsat TM. Dicha miniescena comprende una zona de 68 km en sentido Este-Oeste y 55 km. en sentido

Norte-Sur (2284 x 1835 píxeles de imagen), con unas coordenadas de centro de imagen de N $38^{\circ} 40'$ y O $0^{\circ} 15'$ (longitud del meridiano de Greenwich).

En el conjunto global del proceso de datos hay que distinguir dos tareas básicas: de un lado, el tratamiento y manejo de las imágenes Landsat TM; de otro, el análisis estadístico de regresión múltiple entre datos TM y datos de campo (Figura 1). La primera se ha realizado con el programa GRASS 4.1, (Geographical Resources Analysis Support System). El análisis estadístico se ha realizado mediante el paquete estadístico STATPRO. En el proceso de datos podemos distinguir las siguientes etapas:

1. Carga de imágenes digitales en la base de datos del sistema de información geográfica GRASS.
2. Identificación en las imágenes de los píxeles de los puntos de muestreo y extracción de los valores radiométricos multispectrales de los píxeles correspondientes a esos puntos de muestreo y a los ocho píxeles circundantes.
3. Análisis estadístico de regresiones lineales múltiples mediante un procedimiento de iteración selectiva. Como variables independientes figuran los ND registrados en las

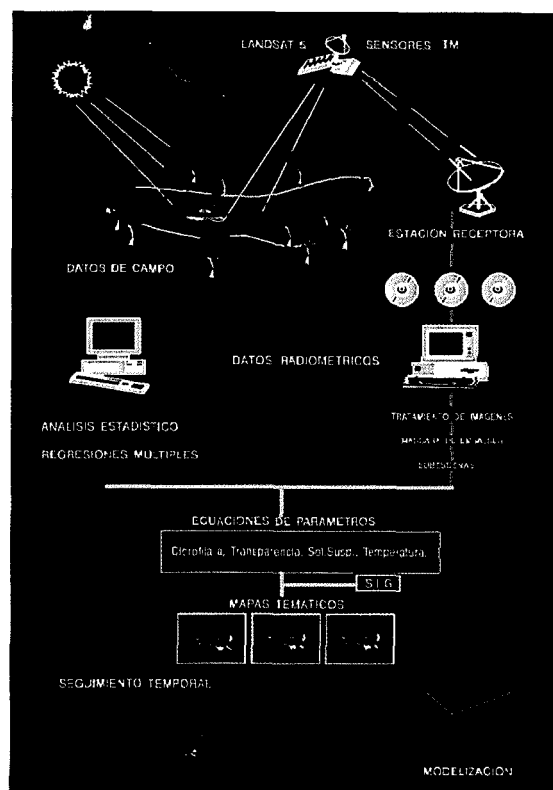


FIGURA 1.- Esquema resumen de la metodología

FIGURE 1.- Methodological scheme.

bandas espectrales TM, mientras que la variable dependiente es la concentración de clorofila superficial, profundidad de Secchi o sólidos en suspensión.

4. Cartografía de la temperatura, relacionando directamente la radiación emitida por la superficie de la tierra en el infrarrojo térmico (banda o TM) con la temperatura (BARTOLUCCI, 1985) y corrección de la tabla ND/T°C con datos reales de campo.

5. Definición de una máscara tierra-agua utilizando un "valor umbral" en la banda 4 (infrarrojo cercano) para su aplicación en todas las bandas.

6. Cálculo de imágenes resultado, aplicando las ecuaciones de regresión para clorofila a, transparencia, y sólidos en suspensión.

7. Reclasificación del mapa resultado en diez categorías para facilitar su interpretación y atribución de una leyenda o código de colores a dichas categorías. Debido a las condiciones muy diferentes del embalse de Beniarrés, en todos los parámetros salvo la temperatura, se han definido unos rangos distintos para este embalse.

8. Superposición a la cartografía temática de cada embalse de la imagen del terreno que le rodea, eligiéndose para ella tonos de gris. En la figura 2 se muestran ejemplos de mapas temáticos resultantes.

Normalización de imágenes

La radiación electromagnética se ve notablemente afectada por los distintos componentes de la atmósfera. Esta dispersión afecta de forma distinta a las imágenes de distintas fechas, por tanto, cuando se realizan estudios multitemporales con imágenes de varias fechas, ha de abordarse una corrección de esta dispersión atmosférica (CHUVIECO, 1990). Una forma de realizar la corrección de las imágenes es mediante la normalización de los niveles digitales de distintas escenas a otra, que se elige como referencia.

Debido a la ausencia de datos de campo en la fecha del 22 de junio, y en base a los ajustes obtenidos se normalizaron las imágenes tomando como referencia las del 24 de julio. Las bandas normalizadas se han utilizado para aplicar en ellas las ecuaciones obtenidas el 24 de julio.

Por otro lado, en un intento de obtener una ecuación de aplicación general se han realizado dos procesos paralelos de normalización de imágenes. En primer lugar las imágenes del 22 de junio y 8 de julio se han normalizado utilizando como referencia la fecha del 24 de julio. A continuación se procedió a normalizar las escenas del 24 de julio y 22 de junio a la imagen del 8 de julio. La imagen del 22 de junio no se puede utilizar como referencia por no existir datos "in situ" de esta fecha exacta para realizar la comparación posterior. La

normalización se ha realizado siguiendo el método del investigador estadounidense David Eckhardt del US Bureau of Reclamation, (ECKHARDT, 1988)

Estudio de la evolución temporal

Una vez obtenidas las imágenes resultado, se lleva a cabo el estudio de la evolución temporal de los parámetros estudiados en

TABLA 1. Resumen de ecuaciones para cada embalse y fecha por separado del año 1994, las obtenidas a partir de la normalización de imágenes con respecto al 8 de julio y al 24 de julio del 94 y las ecuaciones obtenidas para 1995.

TABLE 1. Summary of equations for each reservoir and date in 1994; those obtained after image normalization in the same dates and the general ones for 1995.

	8 de julio de 1994	24 de julio de 1994
Amadorio	Clf (B2) $r^2=0.72$	Clf (B3,B4,B1) $r^2=0.86$
	Se (B4, B2) $r^2=0.95$	Se (B4,B2,B3) $r^2=0.84$
	Ss (B1,B4) $r^2=0.67$	Ss (B3,B1) $r^2=0.9$
Beniarrés	Ln(clf) (B1) $r^2=0.86$	Clf (B3,B1) $r^2=0.46$
	Se (B1) $r^2=0.78$	Se (B1,B2) $r^2=0.74$
	Ln(Ss) (B1) $r^2=0.90$	Ss (B2) $r^2=0.46$
Guadalest	Clf (B2,B3,B1) $r^2=0.71$	Ln(Clif) (B3,B1) $r^2=0.88$
	Se (B1,B2) $r^2=0.78$	Se (B4,B1) $r^2=0.94$
	Ss (B3) $r^2=0.49$	Ss (B2) $r^2=0.82$
General	Normalización	
	Ln (Clf) (B1,B3,B2) $r^2=0.89$	Ln (Clf) (B1,B3,B2) $r^2=0.89$
	Se (B1,B3,B4) $r^2=0.82$	Se (B1,B3,B4) $r^2=0.82$
	Ln (Ss) (B1,B3) $r^2=0.78$	Ln (Ss) (B1,B3) $r^2=0.78$
General	11 de julio de 1995	
	LN (Clf) (B1,B4) $r^2=0.97$	
	Se (B1,B3) $r^2=0.82$	
	Ln (Ss) (B1,B3) $r^2=0.83$	

cada fecha (Peña y Serrano, 1994). Para ello se georreferencian todas las fechas a una de ellas para hacer "superponibles" todos los mapas.

Se utilizan herramientas de análisis del sistema de información geográfica que permiten calcular mapas de aumento o disminución de cada parámetro. Esto se realizó entre fechas sucesivas y entre la primera y la última de 1994 y por otro lado entre el 8 de julio del 1994 y 11 de julio de 1995. Se muestran ejemplos en la figura 3.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El tratamiento de las bandas de cada una de las fechas del estudio por separado ha permitido llegar en todos los casos a ecuaciones muy satisfactorias para cada embalse, fecha y parámetro estudiado para el año 1994. En principio resulta lógico si se tiene en cuenta que cada fecha de pasada tiene abundante información sobre los parámetros.

La tabla 1 muestra un resumen de las bandas que intervienen en las regresiones junto con el coeficiente de determinación o variación explicada (r^2). En el año 1995 fue posible el establecimiento de una ecuación aplicable a los tres embalses. Se han obtenido los valores medios de los embalses en las distintas fechas. Los resultados se presentan en la Tabla 2. Conviene subrayar que la información obtenida para cada embalse responde a las condiciones que el mismo presentaba en una fecha determinada (indicada en cada mapa), de tal modo que los resultados numéricos de concentración de clorofila, de transparencia del agua y de sólidos en suspensión pueden diferir de los valores medios estivales. Un embalse puede, en efecto, presentar diferencias en biomasa de algas entre distintas fechas a lo largo del verano.

Se han desarrollado ecuaciones de regresión más generales con los datos de campo de todas las fechas y los valores de las bandas normalizadas en dos casos (normalización con referencia del 8 de julio y del 24 de julio de 1994 (resumen en la tabla 1). En ambos casos, dichas ecuaciones integran mejor las diferencias de orden de magnitud de los parámetros. En un intento de realizar ecuaciones para cada fecha integrando los tres embalses en el año 1994, resultaba difícil combinar el embalse de Beniarrés (claramente eutrófico) con los otros dos, debido a que los niveles de clorofila y sólidos en suspensión son mucho mayores que los de Amadorio y Guadalest (valores muy bajos). A esto se le une el hecho de que la respuesta radiométrica en general de estos dos últimos embalses es mayor que en Beniarrés. La causa de ello podría ser una diferente composición química del agua que altere las respuestas espectrales ya que los niveles de sólidos en suspensión determinados "in situ"

no son mucho mayores en estos dos embalses como para que interfieran en la firma espectral. Ello impide una correlación adecuada de los datos. La normalización de imágenes permite utilizar una población mayor de datos, al combinar información de varias fechas, lo que mejora la correlación de los datos de campo y los de las bandas de los tres embalses. Aún así, conviene subrayar que las ecuaciones resultantes en las dos pruebas de normalización siendo estadísticamente satisfactorias, son resultado de una correlación de datos, pero no responde a un sentido físico ya que hace corresponder valores altos de clorofila y sólidos en suspensión y valores bajos de

TABLE 2. Mean values of parameter estimated by remote sensing for the referred dates. Mean values of maps after image normalization in July 8th and 24th are also showed.

	Fecha	Superficie	Clorofila	Secchi	Sol. Sus.	Temp.
		ha	mg/m ³	m	mg/l	C
AMADORIO	22 jun	46.44	2.62	2.31	4	-
	8 jul	35.82	1.73	2.24	3	27.2
	8 jul	Norm	1.10	2.02	3.8	-
	24 jul	38.52	2.35	2.40	5	28.2
	24 jul	Norm	2.80	1.27	-	-
BENIARRRES	22 jun	160.11	233.90	0.43	35	-
	8 jul	141.21	155.45	0.58	21	27.3
	8 jul	Norm	96.5	0.75	17.1	-
	24 jul	134.55	258.11	0.44	37	28.4
	24 jul	Norm	146.9	0.5	23.1	-
GUADALEST	22 jun	38.7	1.27	2.94	2	-
	8 jul	34.29	1.79	3.08	2	26.9
	8 jul	Norm	1.44	3	2.07	-
	24 jul	35.73	2.36	3.15	2	28.2
	24 jul	Norm	5.1	2.91	2.1	-

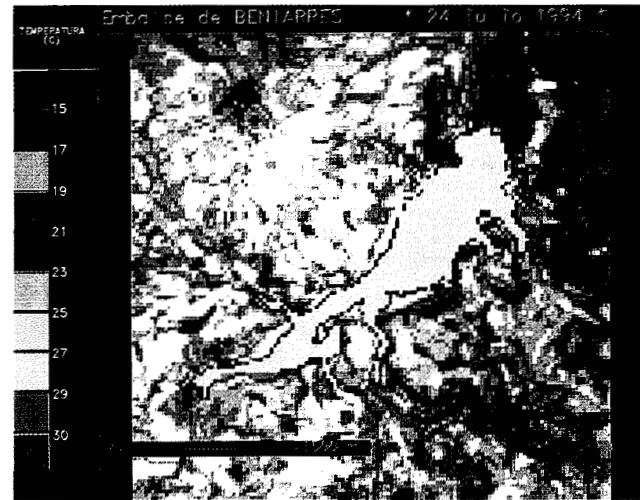
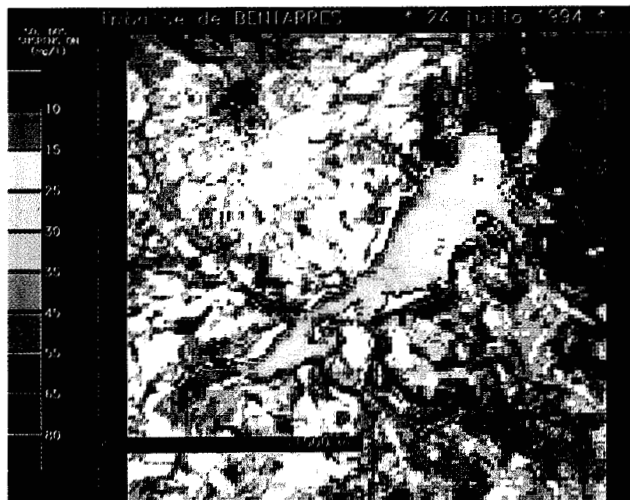
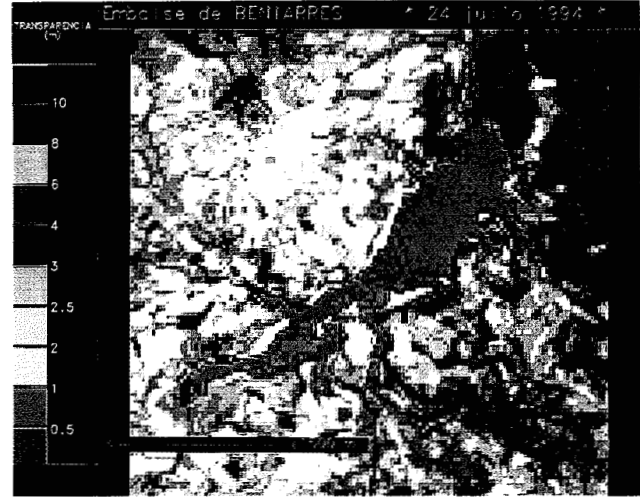
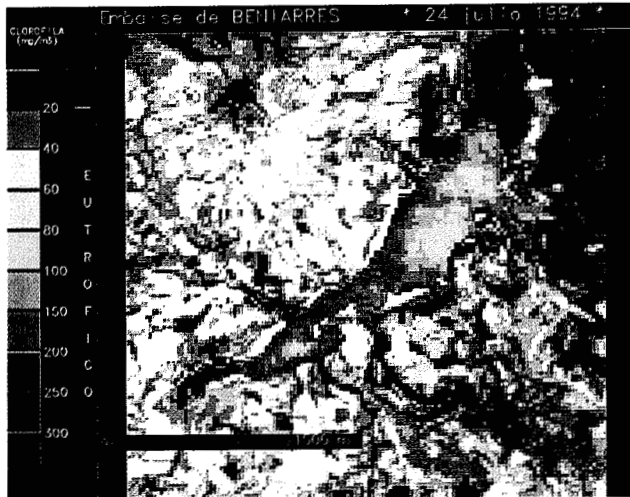


FIGURA 2. Mapas temáticos finales de los parámetros estudiados en el embalse de Beniarrés el 24 de julio de 1994
 FIGURE 2. Final thematic maps for the studied parameter in Beniarrés in July 24, 1994.

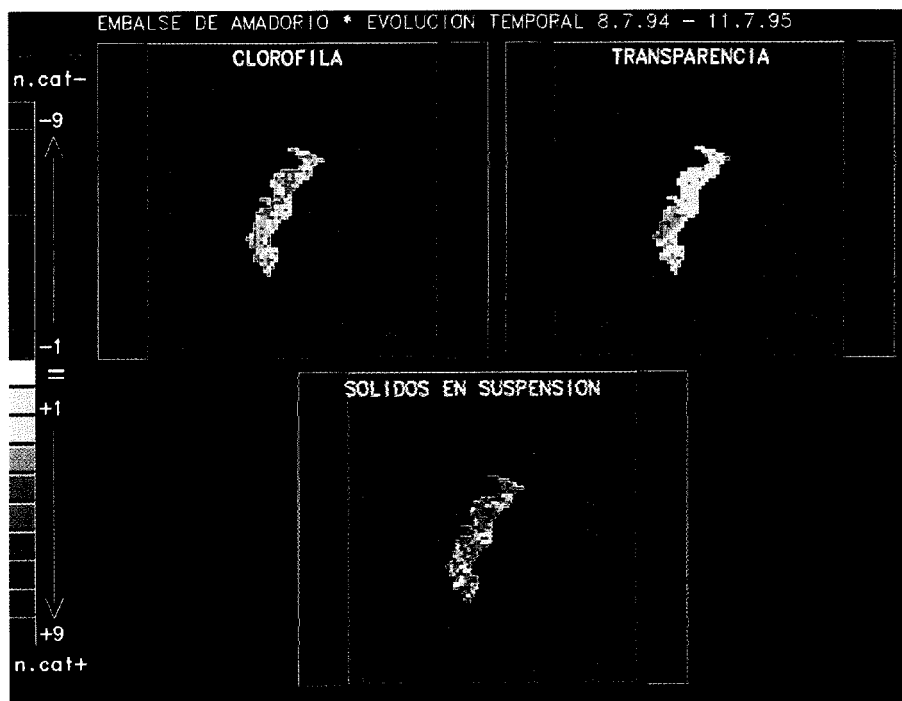
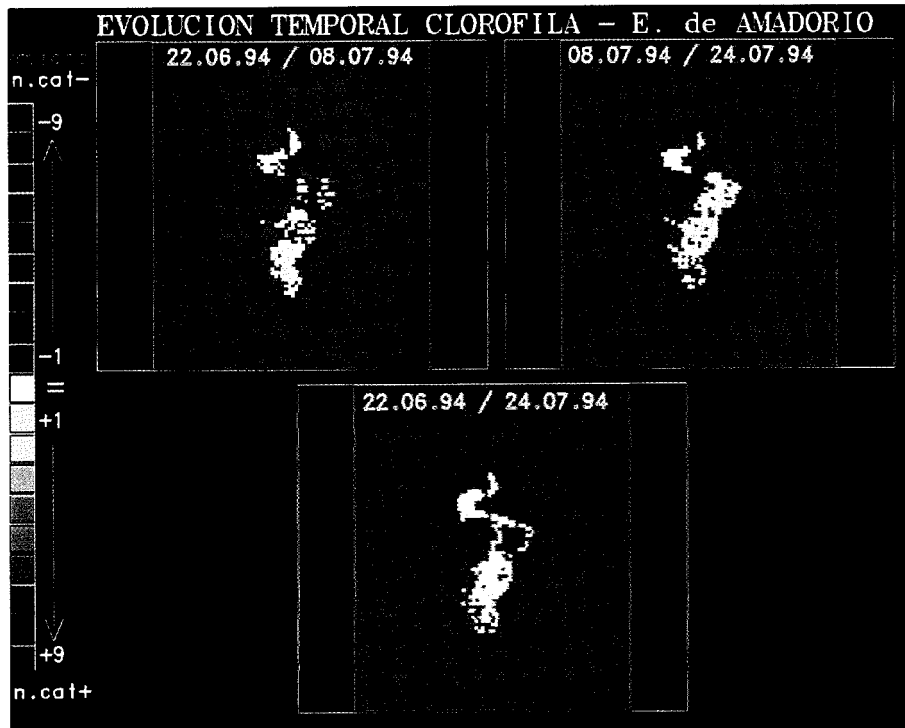


FIGURA 3. Ejemplos de evolución temporal. La primera muestra la evolución de clorofila en el embalse de Amadorio en las tres fechas estudiadas en el año 1994. En segunda se observa la variación de clorofila, transparencia y sólidos en suspensión entre 1994 y 1995.

FIGURE 3. Examples of temporal variation. Top: Chlorophyll evolution in Amadorio reservoir for the studied dates in 1994. Bottom: Variation in chlorophyll, transparency and suspended solid values between 1994 and 1995.

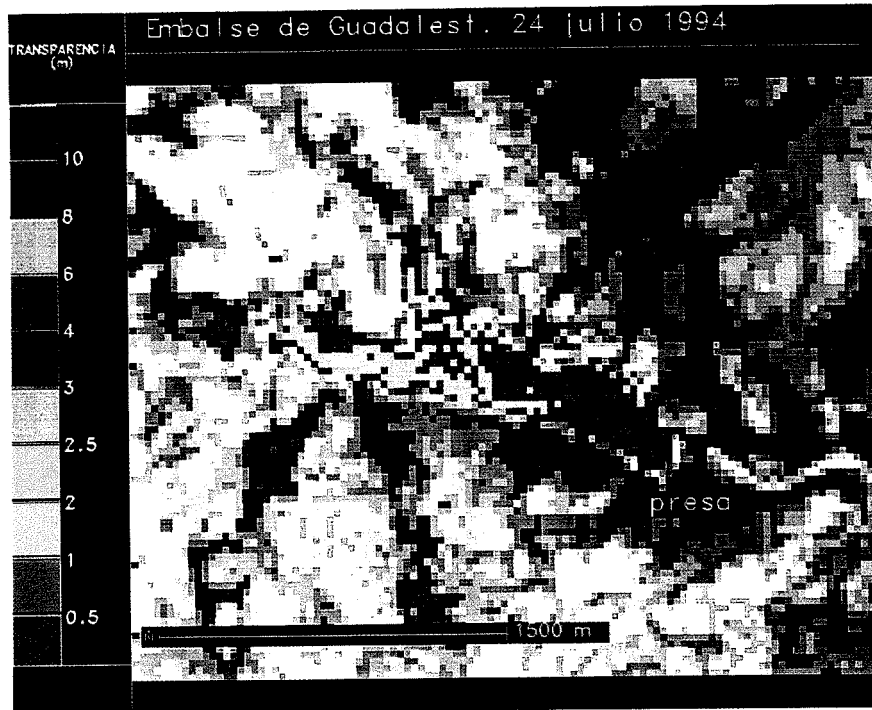


FIGURA 4. Mapa de transparencia de Guadalest resultado de aplicar la ecuación de regresión con los datos de la fecha de la imagen.

FIGURE 4. Guadalest reservoir transparency map obtained after the regression equation (July 24, 1994).



FIGURA 5. Mapa de transparencia de Guadalest obtenido a partir de la ecuación de normalización.

FIGURE 5. Guadalest reservoir transparency map obtained after normalization equation (July 24, 1994).

transparencia con valores bajos de respuesta radiométrica y viceversa. Como consecuencia de esto, al aplicar estas ecuaciones y comparar los mapas resultantes, con los mapas obtenidos a partir de ecuaciones individuales en cada fecha, si bien los resultados medios de los parámetros en cada embalse son muy parecidos (tabla 2), se observa en los mapas temáticos de cada embalse que la distribución espacial del parámetro no sigue el mismo patrón (figuras 4 y 5), es decir, el gradiente que aparece no refleja adecuadamente las variaciones locales de cada embalse. Un ejemplo lo tenemos en la figura 5 en la que se aprecia en el embalse de Guadalest que la transparencia medida con el disco de Secchi en el mapa obtenido con la imagen normalizada es menor en la zona de la presa que en áreas posteriores contrariamente a lo que ocurre en la realidad (24 de julio de 1994). Como se ha mencionado anteriormente, en el año 1995 los datos obtenidos se ajustaron mejor y fue posible la obtención de una ecuación de aplicación a los tres embalses.

CONCLUSIONES

Una primera conclusión es la aplicabilidad de la teledetección, al diagnóstico y seguimiento del estado trófico de embalses, siempre teniendo en cuenta que se estiman parámetros en la superficie del agua y referidos a una fecha concreta.

Esta experiencia piloto pone de manifiesto que, mediante la adquisición de una imagen reducida, adaptada a la zona geográfica del estudio, es posible optimizar costes para la obtención de mapas temáticos de temperatura, transparencia, sólidos en suspensión y concentración de clorofila a cada una de las masas de agua. Asimismo se puede realizar el seguimiento de la evolución de los embalses a través de un período de estudio.

Esta herramienta, como es evidente, es tanto más útil cuanto mayor es la zona de estudio, por ejemplo una cuenca hidrográfica, y por tanto mayor número de masas de agua, pero siempre debe ser complementada con estudios de detalle sobre la columna de agua en diversos puntos para conocer más profundamente el proceso de eutrofización que experimenta un embalse determinado.

Otra conclusión es que la normalización de imágenes nos permite obtener una población de datos mayor al existir la posibilidad de combinar fechas distintas.

Una cuestión pendiente de resolver es la eliminación de factores, como la abundancia de sólidos disueltos en el agua, que afectan a la respuesta espectral del agua difícilmente separables de la respuesta debida a la propia concentración de clorofila, transparencia de Secchi, temperatura o concentración

de sólidos en suspensión y que en ocasiones dificultan la obtención de ecuaciones satisfactorias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARTOLUCCI, L.A. Proceedings of the 1st National Symposium R.S. Bagdad, Iraq. Oct 26-28, 1985 . Pp. 1-25. vol.1.
- CHUVIECO, E. 1990. Fundamentos de Teledetección Espacial. Rialp. Madrid. 453 p.
- ECKHARDT, D. 1988. A method of Landsat 5-TM imagery normalization for reservoir multivariate studies. Comunicación personal.
- JEFFREY, S. W. AND HUMPHREY, G. F. (1975) New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochem. Physiol. Pflanzen (BPP)* 167, 191-194.
- LATHROP, R.G.JR., 1992. Landsat Thematic Mapper monitoring of turbid inland water quality. *Photogr. Engin & Rem. Sens.*, 52: 671-680.
- LILLESAND, T.M., 1979. Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons. Inc. 612 p.
- LILLESAND, T.M., et al. 1983. Use of Landsat data to predict the trophic state of Minnesota lakes. *Photogr. and Rem. Sensing*. 49: 219-22.
- MARGALEF, R. 1983. *Limnología*. Omega. Barcelona 1019 p.
- MARTIN, R.H., E. O. BOEBEL, R.C. DUNST, O.D. WILLIAMS, M.V. OLSEN, R.W. MERIDETH, JR., AND F.L. SCARPACE, 1983. Wisconsin's Lakes. A Trophic Assessment Using Landsat Digital Data. WI DNR Report S00536601, Madison, Wisconsin, 124 p.
- ORTIZ, J.L. Y PENA, R., 1987. Remote sensing of limnological parameters in reservoirs. Workshop on "Landsat Thematic Mapper Applications", Frascati, Italia, Dic. ESA SP-1102.
- ORTIZ, J.L. Y PENA, R., 1989. Water quality monitoring in Spanish Reservoirs by satellite remote sensing. CEDEX.
- PEÑA, R. Y ORTIZ, J.L., 1987. Cartografía temática de embalses: aplicaciones limnológicas de las imágenes Landsat. In: Comunicaciones de la I Reunión Científica del Grupo de Trabajo de Teledetección. Inst. Inv. Geol. Jaume Almera. Barcelona, 1011 dic. 1986, p. 403-42
- PENA, R. Y SERRANO, M.L., 1992. Evaluación del estado trófico de los embalses mediante imágenes digitales. *Ingeniería Civil*. 86:37-44.
- PEÑA, R. Y SERRANO, M.L. 1994. Seguimiento del estado trófico de los embalses del alto Tajo por teledetección. *Limnética*. 10:69-81.

SCARPACE, F.L., K.W. HOLMQUIST, AND L.I. FISHER.
1979. Landsat analysis of lake quality. *Photogr. Eng. and Rem. Sensing*. 45 (5): 623-633.

SCHIEBE, F. R., J.A. HARRINGTON. JR., AND J.C. RITCHIE.
1987. Remote sensing of suspended sediments of Lake Chicot. Arkansas. U.S. Army Corps of Engineers. Sixth Remote Sensing Symposium. No. 2-4. 1987. Galveston. Tx. 77-85.

VERDIN, J.P., 1984. Limnological applications of multispectral remote sensing. USBR Report No. REC-ERC-85-2.51 P.

VERDIN, J.P., 1985 a. Monitoring water quality conditions in a large Western reservoir with Landsat Imagery. *Photogram. Eng. and Rem. Sensing* 51 (3): 343-353.

VERDIN, J.P., 1985 b. Multidate Landsat water quality models. Comunicación personal.

VERDIN, J.P., 1985 c. Mapping surface water quality patterns of Lake Havasu with Thematic Mapper imagery. *Appl. Sci. Refer. Memo.* No. AP. 85-4-2. USBR.