

SEGUIMIENTO DEL ESTADO TRÓFICO DE LOS EMBALSES DEL ALTO TAJO POR TELEDETECCIÓN

Ramón Peña Martínez, María Luisa Serrano Pérez

Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. MOPT.

Paseo Bajo de la Virgen del Puerto, 3. 28005-MADRID

Palabras clave: embalses, estado trófico, clorofila, teledetección, España.

ABSTRACT

UPPER TAJO BASIN RESERVOIRS TROPHIC STATE MONITORING BY REMOTE SENSING

Using Landsat 5 Thematic Mapper imagery corresponding four dates through summer 1992 (july 16th - september 18th) and direct measurements on the reservoirs on chlorophyll *a* (mg/m^3), Secchi disc depth transparency (m) and temperature ($^{\circ}\text{C}$), we make daily thematic maps from general application equations.

In addition, using the GIS Grass 4.0, we developed a multirate analysis, including differential images to evaluate the variations between dates and in the whole period for the three reservoirs.

Basically the trophic level was keep stable in the studied waterbodies as well as the transparency, with minor changes between dates through the remote sensing project period.

INTRODUCCIÓN

El año 1992 ha sido un año particularmente crítico dado que la ausencia de precipitaciones ha motivado no sólo situaciones de alarma en abastecimientos sino que ha agravado el proceso de eutrofización de muchos embalses, que en la época estival habitualmente presentan problemas de calidad y que, al reducirse mucho el volumen embalsado, llegan a niveles de calidad muy deficientes.

La Comisaría de Aguas del Tajo, siempre vigilante sobre la calidad de los recursos hídricos a su cargo, ha querido en esta ocasión hacer un seguimiento más intensivo de las mayores y mejores reservas de la cuenca, que se concentran en la zona de los embalses de Entrepeñas, Buendía y Bolarque, con una capacidad máxima de embalse de 2.500 hm^3 (Fig. 1).

Durante los meses de verano se han estado realizando tomas de datos limnológicos en los tres embalses citados y se ha querido completar estos estudios con el apoyo de la teledetección para poder generalizar los datos puntuales a toda la extensión de sus masas de agua.

Si bien hace algunos años que en España se vienen realizando trabajos de aplicación de la teledetección por satélite a la observación y cartografía temática de recursos na-

turales, más reciente es la experiencia desarrollada específicamente sobre las aguas epicontinentales. Ello es particularmente cierto en lo que se refiere al empleo de las imágenes digitales proporcionadas por el sensor "Thematic Mapper" de los satélites Landsat, habida cuenta de que las primeras imágenes TM disponibles datan de 1982.

Puede afirmarse, en efecto, que el CEDEX fue pionero en España cuando, en 1990, publicó los resultados del reconocimiento limnológico de todos los embalses de la cuenca del Tajo, efectuado en 1988 mediante el proceso de imágenes digitales Landsat TM, lo que constituye el antecedente más próximo del presente trabajo. En el verano de 1993 se ha efectuado un segundo reconocimiento limnológico de la cuenca del Tajo por teledetección, que está en fase de proceso de imágenes y que afecta de modo extensivo al conjunto de embalses de la cuenca.

MATERIAL Y MÉTODOS

Determinaciones directas de apoyo.

Para deducir y cartografiar los valores de cualquier variable limnológica de los embalses a partir de imágenes digitales Landsat es preciso contar con un apoyo de datos

obtenidos directamente, mediante el desarrollo de un plan de trabajos de campo, consistente en tomas de muestras de agua y determinaciones directas. La evaluación directa de las variables en estudio, realizada en un conjunto de puntos distribuidos en varios embalses correspondientes a una misma órbita, sirve de base para una extrapolación espacial de los datos obtenidos. Dicha extrapolación se aplica no sólo a los embalses donde se han efectuado las mediciones sino también a todos aquellos situados dentro de la misma órbita, aunque no hayan sido objeto de toma de muestras.

Los muestreos y determinaciones de campo han de efectuarse coincidiendo con el paso del satélite. Por ello, los trabajos han de programarse sobre la base del calendario previsto por la NASA para los distintos pasos orbitales del satélite. Además, la condición imprescindible de que el cielo se encuentre completamente libre de nubes sobre las zonas cubiertas por la órbita de interés a la hora de paso del satélite puede reducir considerablemente el número de fechas válidas para proceder a los trabajos de campo y al ulterior proceso de imágenes digitales.

Con anterioridad al inicio de los trabajos el CEDEX estableció un esquema de parámetros a medir y metodología a emplear que se facilitó al personal que realizó las determinaciones para la Comisaría del Tajo.

Las especificaciones propuestas para estas determinaciones adicionales al programa limnológico eran:

Fechas: coincidentes con las del calendario de pasadas del satélite Landsat-5 sobre la zona (cada 16 días, siendo la primera el 30 de junio).

Localización: en los puntos indicados a lo largo de los embalses citados.

Parámetros:

- concentración de Clorofila u en superficie y a 5 m de profundidad, ésta última con la intención de corregir el dato superficial con otro de la zona eufótica.
- transparencia (profundidad del disco de Secchi).
- temperatura del agua en superficie.
- concentración de sólidos en suspensión.

Método de trabajo: toma de muestras desde una embarcación, conservándolas en oscuridad y en frío.

Filtrado inmediato al finalizar los muestreos, y conservación de los filtros en hielo seco para su transporte.

Medidas espectrofotométricas en laboratorio y aplicación de la ecuación de Parsons & Strickland.

No se han tomado algunos datos que, en general, corresponden a puntos que han ido quedando en seco al ir descendiendo el nivel del agua embalsada. Igualmente los

datos de clorofila del 2 de septiembre faltan pues se perdieron las muestras en accidente de tráfico.

Evidentemente, para realizar el trabajo propuesto es necesario contar con la imagen TM que abarque los embalses del estudio. En este caso corresponde a la escena 200/32, es decir, Órbita 200. Fila 32.

Sin embargo, se ha podido ajustar al zona de interés dentro de una Miniescena de Landsat, que 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 40° 30' y O 2° 37' (Longitud del meridiano de Greenwich).

Como los sensores del satélite recogen información en longitudes de onda del espectro visible e infrarrojo, las fechas en que la zona estaba cubierta por nubes son inutilizable para los fines previstos. Ello hace que de todas las fechas posibles en el período de estudio, sólo se hayan podido aprovechar cuatro de ellas :

30 de junio. Cubierto

* 16 de julio. Casi despejado

1 de agosto. Muy nuboso

* 17 de agosto. Despejado

* 2 de setiembre. Despejado

* 18 de setiembre. Casi despejado

4 de octubre. Casi cubierto

Las fechas señaladas con un asterisco fueron las seleccionadas para la adquisición de las imágenes digitales.

Cartografía temática de los embalses

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. La primera se ha realizado con el programa GRASS 4.0, (Geographical Resources Analysis Support System). El análisis estadístico se ha realizado mediante el paquete estadístico STATPRO.

El desarrollo de los trabajos realizados puede esquematizarse como sigue:

— Carga de imágenes digitales (escenas TM en soporte de CCT) en ordenador HP 90001840 CH, a través de la unidad de cinta magnética.

— Transferencia de las imágenes digitales TM de la cuenca desde el ordenador HP 90001840 a la estación de trabajo gráfica HP-9000/340 CH. que carece de unidad de cinta magnética. Dicha transferencia se ha

efectuado a través de la red local de comunicaciones (LAN).

- Identificación, en pantalla, de los píxeles correspondientes a los puntos de muestreo. Una vez localizados estos puntos, se ha realizado la extracción de los valores radiométricos multiespectrales correspondientes a los píxeles de los puntos de muestreo y a los ocho píxeles circundantes. Ello permite un listado de datos por bandas espectrales TM, que constituyen, junto con los datos de determinaciones directas, la base para las regresiones estadísticas múltiples. Dicho listado se incluye en el Anexo II.
- Análisis estadístico de datos, consistente en regresiones lineales múltiples mediante un procedimiento de iteración selectiva. Como variables independientes figuran los valores de "conteo" radiométrico registrados en las bandas espectrales TM, mientras que la variable dependiente es la concentración de clorofila o la profundidad de Secchi. La iteración consiste en la agregación progresiva y selectiva de variables independientes. La primera variable elegida es aquella que muestra el mayor coeficiente de correlación simple con la variable independiente, así como el menor de error típico de la estima. En cada paso subsiguiente, la variable que se incorpora a la ecuación es la que reúne unos requisitos análogos a la precedente, pero conjuntamente con la(s) variable(s) anterior(es). Igualmente se eliminan las variables que en cada momento han pasado a representar menos peso en el ajuste que se va consiguiendo. El proceso se da por concluido cuando la mejora obtenida es muy pequeña o negativa (ORTIZ & PEÑA, 1987).
- Cuando el análisis de regresión entre datos de campo y valores radiométricos no ofrece un ajuste satisfactorio o simplemente, como en este caso se desea obtener una ecuación multitemporal para los embalses en las distintas fechas, se procede a la aplicación de un proceso de "normalización" de la imagen, que pretende eliminar las diferencias entre imágenes debidas a las distintas condiciones atmosféricas, ángulo de incidencia solar, etc.
- Delimitación de contornos de embalses, estableciendo un valor "umbral" que se empleará para crear una máscara para eliminación del terreno circundante, por eliminación automática de todos los valores de píxeles superiores al umbral utilizado para la delimitación de contornos de embalse y, en general, de todos aquéllos situados fuera del área ocupada por ma-

sas de agua.

- Cálculo de imágenes-resultado, aplicando las ecuaciones de regresión para clorofila a y transparencia, mediante los módulos correspondientes del paquete que se utiliza.
- Atribución de un código de colores a una serie de intervalos numéricos, elegidos para ofrecer una gama de dieciséis categorías que identifican y agrupa a todos los niveles posibles. Ello facilita la interpretación de las imágenes resultantes de las combinaciones de bandas.
- Superposición a la cartografía temática de cada embalse de la imagen del terreno que le rodea, eligiéndose para ella tonos de gris, con el fin de que no se interfieran con los colores correspondientes a las categorías que identifican los rangos de concentración de clorofila (mg/m^3) y de profundidad de Secchi (m).

Normalización de imágenes.

Cuando se ha efectuado la normalización de las imágenes, se ha tomado como fecha de referencia la del 18 de septiembre, más completa de datos de campo, que son base de la calibración de las ecuaciones, y mejor ajuste clorofila-datos radiométricos; estas bandas normalizadas se utilizaron para desarrollar con ellas la ecuación de clorofila que ha sido aplicada con carácter general, salvo en el caso del 2 de septiembre, que presenta falta de datos (por pérdida de muestras en accidente de tráfico), en que se aplicó la desarrollada para el 17 de agosto.

Para ajustar la mejor ecuación general de transparencia se procedió a normalizar todas las fechas tomando como referencia la del 16 de julio. Con todas esas bandas normalizadas se desarrolló la ecuación que se ha aplicado con carácter general.

En dichos procesos se han obtenido los histogramas de imagen, las frecuencias relativas de cada valor radiométrico, y se han extraído los valores correspondientes a unas frecuencias del 99.9%, 99.95%, 99.99%, es decir, los valores que identifican los puntos de máxima reflectancia de las áreas de imagen en contraste, y, del mismo modo, los de mínima reflectancia relativa. Se realiza una regresión lineal entre las bandas (de referencia y a normalizar), ponderando 8 veces los niveles más bajos. Mediante esta ecuación se obtiene la banda "corregida" o "normalizada", que viene a resultar equivalente radiométricamente a la de referencia, que se toma como origen.

Esta técnica es una adaptación simplificada de la que

aplica el investigador estadounidense David Eckhardt del US Bureau of Reclamation, (ECKHARDT, 1988).

Análisis estadístico y ecuaciones representativas.

El desarrollo de ecuaciones ha comprendido un amplio análisis estadístico que se ha iniciado con el propósito de desarrollar ecuaciones de aplicación general, que es un objetivo deseable cuando se trata de estudios multitemporales como el presente.

El tratamiento de las bandas de cada una de las fechas del estudio no permitió llegar a ecuaciones conjuntas satisfactorias, lo que en principio resulta lógico si se tiene en cuenta que cada fecha de pasada tiene parámetros distintos, no sólo de navegación, aunque poco importantes, sino de condiciones atmosféricas (vapor de agua, partículas en suspensión, etc.) y del propio ángulo de inclinación solar, parámetros todos ellos que tienen diversa influencia en el conteo radiométrico que efectúan los sensores del satélite.

Por ello se han ido desarrollando ecuaciones, en primer lugar de clorofila, para fechas aisladas, pero el principal obstáculo que se encuentra en embalses de este tipo, con niveles muy bajos de clorofila, es el estrecho rango de los datos que dificulta la correlación con los datos radiométricos, su índice es bajo en todas las fechas, y no permite una extrapolación fiable a la generalidad de las superficies. Por eso los ajustes no eran muy buenos, obteniéndose mejores resultados utilizando el logaritmo natural, $\ln(\text{clf})$, en lugar de los valores directos de concentración.

En cuanto a la transparencia cabe decir que la correlación ha sido en general buena en todas las fechas y esta circunstancia ha permitido seleccionar la primera fecha como referencia y desarrollar una ecuación general multitemporal con los datos normalizados con ella.

Las ecuaciones que finalmente se han aplicado para elaborar los mapas temáticos han sido las siguientes:

— Clorofila a

Ecuaciones con bandas normalizadas al 18.09.92:

$$\ln(\text{Clf}) = 6.2715 + 0.2775*B2NS - 0.1883*B1NS - 0.0109*B3NS$$

[Coef. determinación: 0.7074 ; Desv. típ. estima: 0.65] (aplicada en 16.07, 17.08 y 18.09)

[BxNS = bandas normalizadas al 18.09]

Ecuación del 17.08.92 (bandas normalizadas al 18.09.92):

$$\ln(\text{Clf}) = 0.1411*B3NS - 2.6213$$

[Coef. determinación: 0.5000; Desv. típ. estima:

0.83] (aplicada en 02.09.92)

[BxNS = bandas normalizadas al 18.09]

— Transparencia de Secchi

Ecuación con bandas normalizadas al 16.07.92

$$se = 11.66903 - 0.3662*B2NJ + 0.614*B1NJ$$

[Coef. determinación: 0.6976; Desv. típ. estima: 0.33] (aplicada a 16.07, 17.08, 02.09 y 18.09)

[BxNJ = bandas normalizadas al 16.07]

— Temperatura

Para la evaluación y cartografía de temperatura de la superficie de los embalses, el proceso de datos es más sencillo y consiste en una calibración de los datos de conteos digitales de la banda infrarroja térmica TM (BARTOLUCCI, 1985). Los valores calibrados son sometidos a una corrección lineal en función de la humedad relativa y la temperatura del aire correspondientes a la fecha de la imagen (PRICE, 1983), utilizando los datos de Radiosondeos meteorológicos del INM.

Ecuaciones de temperatura con corrección atmosférica

$$16.07.92 - T^{\circ}\text{C} = 0.5128*B6 - 44.257$$

$$17.08.92 - T^{\circ}\text{C} = 0.4783*B6 - 41.1544$$

$$02.09.92 - T^{\circ}\text{C} = 0.4721*B6 - 39.9974$$

$$18.09.92 - T^{\circ}\text{C} = 0.4631*B6 - 38.962$$

[B6 = banda 6 TM]

Estudio multitemporal de embalses.

La utilización de un Sistema de Información Geográfica, como es el GRASS, permite realizar estudios de comparación que pongan de manifiesto la evolución de los parámetros a través de sucesivas imágenes de distintas fechas.

Para proceder al estudio comparativo la primera operación es hacer coincidentes y "superponibles" las imágenes digitales, lo que requiere llevar a cabo la georreferenciación de las mismas, es decir transformar su marco de "coordenadas de imagen" (columna, fila) en otras "coordenadas geográficas" (UTM por ejemplo), lo que produce un giro en la imagen, como se observa en la Figura 1, debido al ángulo que forma la órbita del satélite con el Norte geográfico. Sin embargo no se produce deformación pues la imagen digital ya se suministra corregida geoméricamente.

A partir de los mapas temáticos de cada fecha se han obtenido imágenes de diferencias, en las que codificadas cromáticamente se representan las áreas en que se han

producido cambios para mejorar o empeorar las condiciones del agua, tanto en lo que se refiere a concentración de Clorofila a, como a transparencia.

Estas diferencias se han obtenido entre fechas sucesivas y entre la primera y la última.

RESULTADOS

Mapas temáticos de embalses.

La aplicación de las ecuaciones a las distintas bandas de cada fecha da como resultado una serie de mapas temáticos de los parámetros, de los que son ejemplos las Figuras 2, 3 y 4.

Las reproducciones de los mapas temáticos han sido obtenidas mediante una impresora de transferencia térmica conectada como periférico a la estación de trabajo gráfica HP-9000-340-CH.

En la presentación de las imágenes se han establecido dos ventanas de imagen: una de ellas recoge la zona ocupada por el Embalse de Entrepeñas y la otra la de los de Buendía y Bolarque.

Para cada ventana se presentan tres mapas temáticos referentes a tres variables: a) concentración de clorofila, b) transparencia según el disco de Secchi, y c) temperatura del agua. En cada mapa se indica la escala gráfica del mismo, así como la fecha a que corresponde la imagen.

Para cada una de las tres variables representadas, se ha establecido un código de colores, en el que se distinguen diez rangos de valores (de amplitud no necesariamente constante), tal como se muestra en las correspondientes leyendas. La elección de colores se ha hecho de manera que el rojo represente el grado más eutrófico o la temperatura más alta.

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 y de transparencia del agua 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, aún cuando las fluctuaciones experimentadas se mantengan dentro del ámbito propio de una categoría trófica de las presentadas en los mapas temáticos.

Por tanto, para tener una orientación más exacta del estado medio de los embalses en las diferentes fechas, se han obtenido los valores medios a partir de los valores

reales de clorofila o transparencia en cada pixel y no el rango medio que produce mayores errores.

Estudio de la evolución multitemporal.

Se han elaborado unas imágenes compuestas de cuatro mapas de diferencias, cada una con las variaciones detectadas entre fechas (16.07 - 17.08; 17.08 - 02.09; 02.09 - 18.09) y una cuarta del período total (16.07 - 18.09), indicándose por colores las mejoras (tonos azulados crecientes) o empeoramientos (tonos anaranjados crecientes) detectados, así como las zonas sin cambio de categoría (rango de valores), que se representan en blanco (Figs. 5 y 6).

Los valores de la leyenda, entre -9 y +10 hacen referencia al cambio de categoría experimentado, es decir que una zona cuyo color corresponda, por ejemplo, a un valor -2 quiere decir que la categoría del parámetro considerado ha pasado a ser inferior en 2 unidades en la segunda fecha considerada respecto de la primera.

En síntesis, la evolución general es la siguiente:

Embalse de Entrepeñas:

Clorofila a:

Se aprecia un empeoramiento casi general entre julio y agosto, una mejora parcial hacia el inicio de septiembre y de nuevo empeoramiento al final del período. En el total del período se advierte un claro empeoramiento (una media de dos categorías), dentro de los límites bajos en que se mueven los valores en general.

Transparencia:

La comparación entre agosto y julio pone de manifiesto una mejoría parcial en el tramo central del embalse y empeoramiento en la cola, permaneciendo el resto del embalse sensiblemente igual. En la diferencia del 02.09 respecto de agosto se manifiesta un empeoramiento casi en la misma zona central y tendencia a la estabilidad en el resto. En la última imagen diferencial se aprecia empeoramiento en zonas de orilla tanto en zonas norte y sur como centrales, aunque en general se mantiene muy parecido. Globalmente, de julio a 18.09 el nivel de transparencia empeora en las zonas más al norte y más al sur y mejora en algunas áreas dispersas de la zona central.

Embalse de Buendía:

Clorofila a:

La imagen de cambios julio-agosto evidencia una gran proporción del embalse sin cambios y empeoramiento ligero en los brazos principales. La diferencia hasta fin de agosto muestra un empeoramiento mayor y uniforme en toda la masa de agua. En cambio entre el 2 y el 18 de sep-

tiembre se experimenta una mejoría bastante generalizada. En conjunto, entre julio y septiembre las zonas más anchas del embalse se mantienen estables en sus niveles de clorofila, mientras que las colas empeoran ligeramente.

Transparencia:

Entre julio y agosto grandes áreas del embalse se mantienen en el mismo rango de profundidad de Secchi, aunque mejoran zonas centrales cercanas a la presa, y empeora el brazo sur (ríos Guadamajud y Mayor). Entre mediados y fin de agosto, en general, empeora aunque se mantienen igual amplias zonas. En cambio en la última quincena del período se aprecia empeoramiento otra vez en el brazo sur y sin embargo mejoran o permanecen estables bastantes zonas más o menos dispersas del resto. En conjunto, a lo largo del período, el brazo sur empeora apreciablemente, mientras que el resto, o mejora o se mantiene igual.

Embalse de Bolarque:

Clorofila *a*:

De julio a agosto se mantiene igual o empeora ligeramente. Hasta el 2.09 mejora en general, y en el último tramo del período vuelve a empeorar de forma más apreciable. En síntesis se puede resumir que el estado del embal-

se empeora aunque no muy acusadamente.

Transparencia:

En todas las imágenes diferenciales se aprecia con carácter general una estabilidad casi total de valores, que no llegan a cambiar de categorías en todo el período.

Los valores medios por embalses durante el período y sus diferencias entre fechas se recogen en la Tabla 1.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La teledetección por satélite de los recursos naturales, aplicada al estudio puntual y de la evolución de la calidad de las masas de agua continentales, se ha manifestado en los últimos años como una herramienta de gran utilidad para el conocimiento a nivel regional del estado trófico de nuestros embalses.

La evolución de los parámetros limnológicos a lo largo de un período de estudio se lleva a cabo con éxito a través de Sistemas de Información Geográfica, que integran la información de cada fecha en forma georreferenciada.

La teledetección supone un importante complemento, no sustitutorio, de las tradicionales campañas de muestreos limnológicos. Su utilización permite perfeccionar el co-

TABLA 1.- Valores medios, por embalses, durante el período, y sus diferencias entre fechas.

TABLE 1.- Mean values per reservoirs, for the time periods considered.

Fecha dd.MMM	Emb.	Sup. emb. ha *	Clf <i>a</i> mg/m ³	dif Clf mg/m ³	Sec m	dif Sec m	Tem °C	dif Tem °C
16.JUL	E	1354	1.76	-	2.4	-	23.2	
	B	2521	1.21	-	2.6	-	23.4	
	b	469	2.10	-	5.2	-	23.0	
17.AGO	E	1183	3.58	+1.82	3.1	+0.7	26.7	+3.5
	B	2368	1.46	+0.25	3.0	+0.4	27.2	+3.5
	b	528	2.97	+0.87	5.4	+0.2	27.1	+4.1
02.SEP	E	1029	2.75	-0.83	3.2	+0.1	21.8	-4.9
	B	2278	2.90	+1.44	2.7	-0.3	21.9	-5.3
	b	440	1.65	-1.32	5.4	0.0	21.6	-5.5
18.SEP	E	941	4.41	+1.66	2.9	-0.3	22.2	+0.4
	B	2285	1.42	-1.48	3.1	+0.4	22.2	+0.3
	b	497	3.28	+1.63	5.4	0.0	22.9	+1.3
JUL-SEP	E	-413	-	+2.65	-	+0.5		-1.0
	B	-246	-	+0.21	-	+0.5		-1.2
	b	+32	-	+1.18	-	+0.2		-0.1

* La superficie es la obtenida de las imágenes.

E = Entrepeñas; B = Buendía; b = Bolarque

Clf = Clorofila (mg/m³); Sec = Transparencia (m); Tem = Temperatura

dif Clf, dif Se, dif Tem = diferencias con la fecha anterior (o del período)

nocimiento de los esquemas de distribución espacial de determinados parámetros, extrapolando el ámbito de representatividad de los valores puntuales y, en su caso, diagnosticar masas de agua sin necesidad de muestreos directos.

BIBLIOGRAFÍA

Se incluyen referencias relevantes sobre la temática.

- BLACKWELL, R.J., & D.H. BOLAND, 1979. Trophic classification of selected Colorado lakes. *Jet. Prop. Lab. Publication* 78-100, EPA. 600/4-79-005.
- CARLSON, R.E., 1977. A trophic state index for lakes. *Limnology & Oceanography*, 22 (2)
- CHUVIECO, E., 1990. *Fundamentos de Teledetección espacial*. Rialp. 453 p.
- ECKHARDT, D., 1988. A method of Landsat 5-TM imagery normalization for reservoir multirate studies. Comunicación personal.
- GANDIA, S. & MELIA, J., 1991. *La Teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales*. Recursos renovables: Agricultura. Curso de Postgrado. Universitat de Valencia
- GANDIA, S. & MELIA, J., 1993. *La Teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales: Climatología y Desertificación*. Curso de Postgrado. Universitat de Valencia.
- LATHROP, R.G.Jr., 1992. Landsat Thematic Mapper monitoring of turbid inland water quality. *Photogr. Engin. & Rem. Sens.*, 58(4): 465-470.
- LATHROP, R.G., Jr, & T.M. LILLESAND, 1986. Utility of Thematic Mapper data to assess water quality in southern Green Bay and west-central Lake Michigan. *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. Engin. & Rem. Sens.* 49: 219-22.
- MARTIN, R.H. *et al.*, 1983. *Wisconsin's Lakes. A Trophic Assessment Using Landsat Digital Data*. WI DNR Report S00536601, Madison, Wisconsin, 124 p.
- ORTIZ, J.L. & PEÑA, R., 1987. Remote sensing of limnological parameters in reservoirs. In: *Workshop on "Landsat Thematic Mapper Applications"*, Frascati, Italia, Dic. ESA SP-1102.
- ORTIZ, J.L. & PEÑA, R., 1989. *Water quality monitoring in Spanish Reservoirs by satellite remote sensing*. CEDEX
- PEÑA, R. & 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, 10-11 dic. 1986, p. 403-423.
- SCARPACE, F.L., HOLMQUIST, K.W. & FISHER, L.I., 1979. Landsat analysis of lake quality. *Photogr. Engin. & Rem. Sens.* 45 (5) 623-633.
- SCHIEBE, F.A., HARRINGTON, J.A.Jr., & RITCHIE, J.C., 1987. In: *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., 1985a. Monitoring water quality conditions in a large Western reservoir with Landsat Imagery. *Photogr. Engin. & Rem. Sens.* 51 (3): 343-353.
- VERDIN, J.P., 1985b. Multirate Landsat water quality models. Comunicación personal.
- VERDIN, J.P., 1985c. *Mapping surface water quality patterns of Lake Havasu with Thematic Mapper imagery*. Appl. Sci. Refer. Memo. No. AP. 85-4-2. USBR.

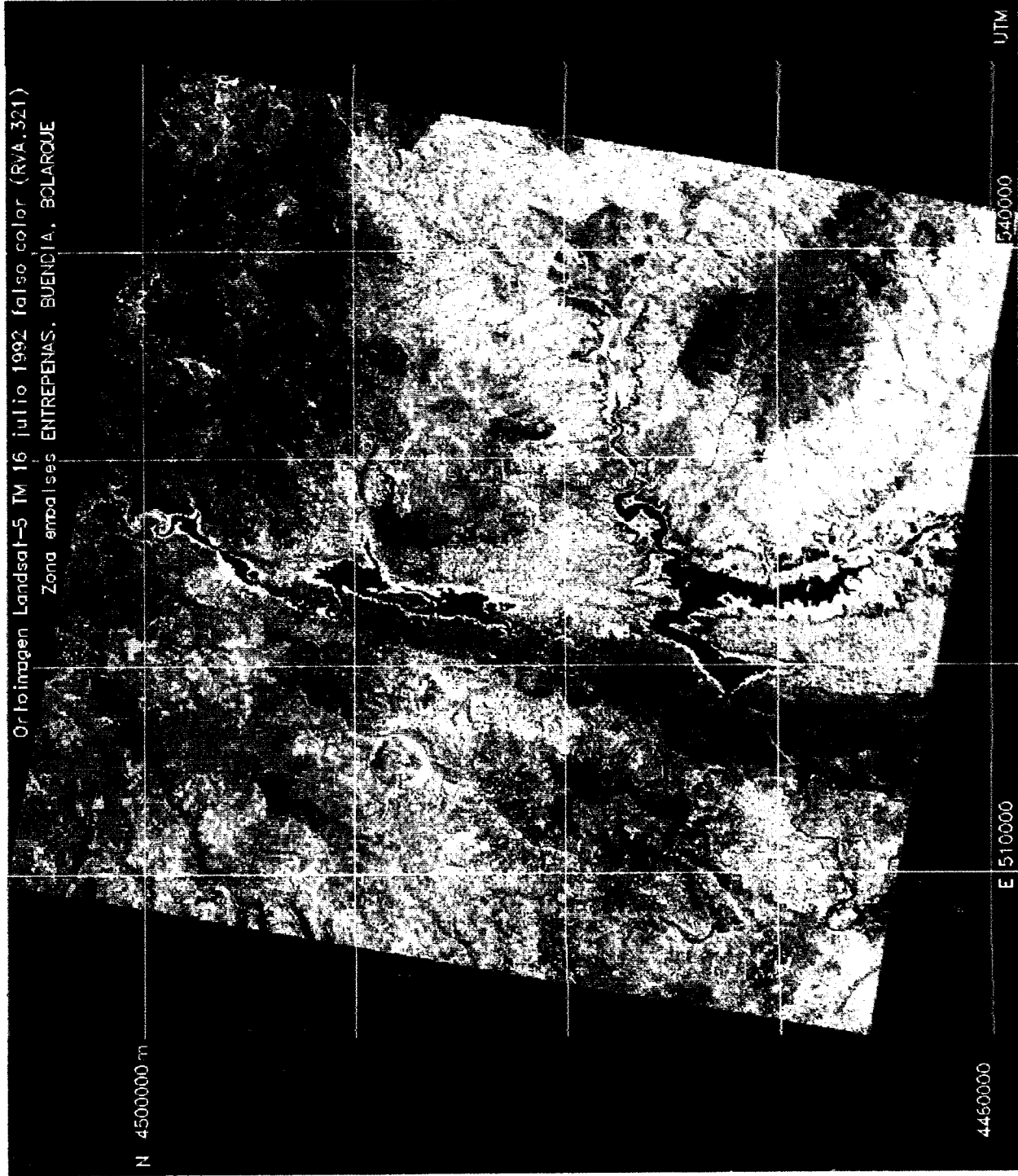


FIGURA 1.- Situación general de los embalses. Imagen en falso color georreferenciada.
FIGURE 1.- Location of reservoirs. False colour image rectified to UTM coordinates.

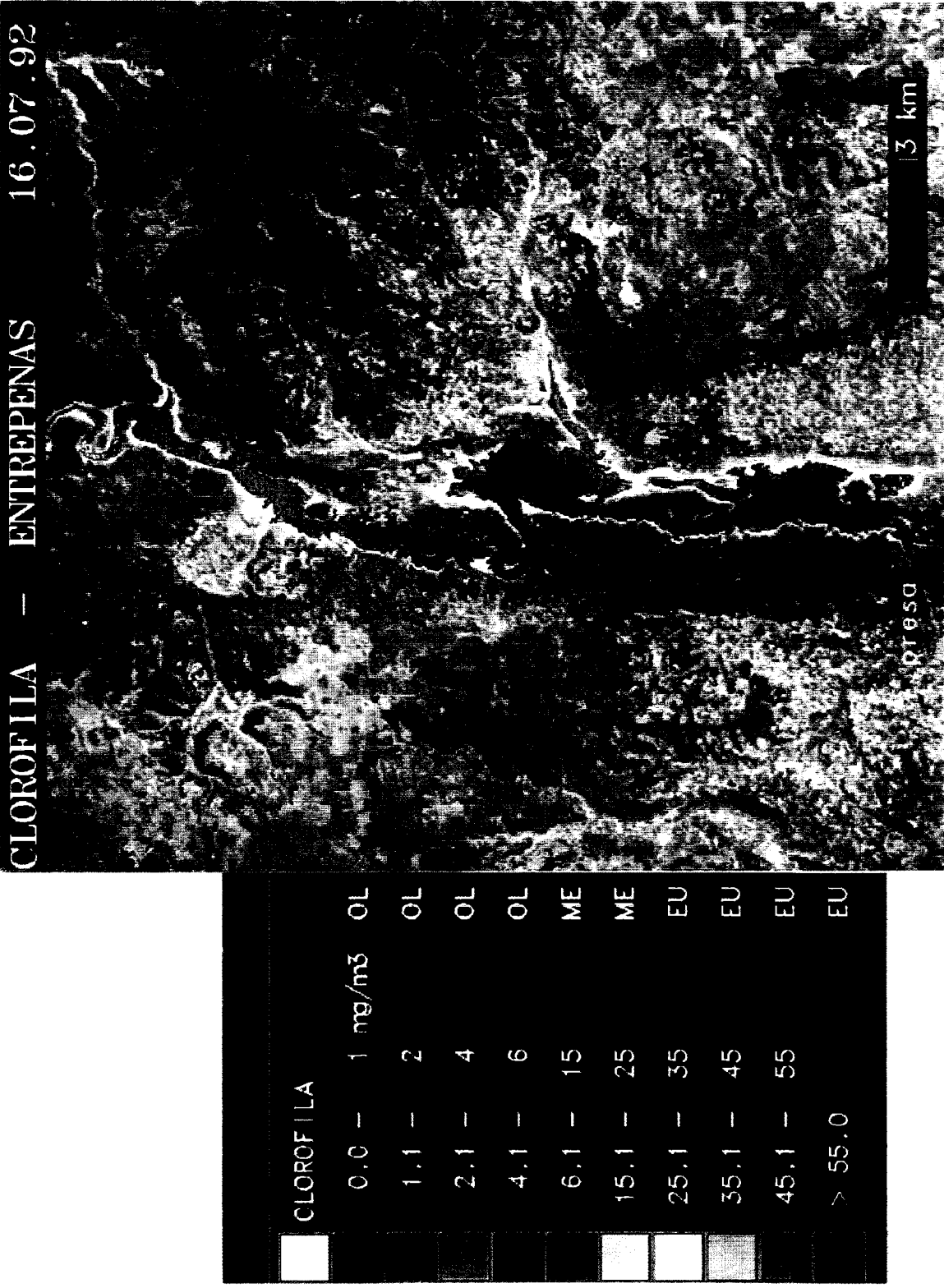


FIGURA 2.- Mapa temático de clorofila *a*. Embalse de Entrepénas. 16 de Julio de 1992.
 FIGURE 2.- Chlorophyll *a* thematic map sample. Entrepénas reservoir. 92.07.16

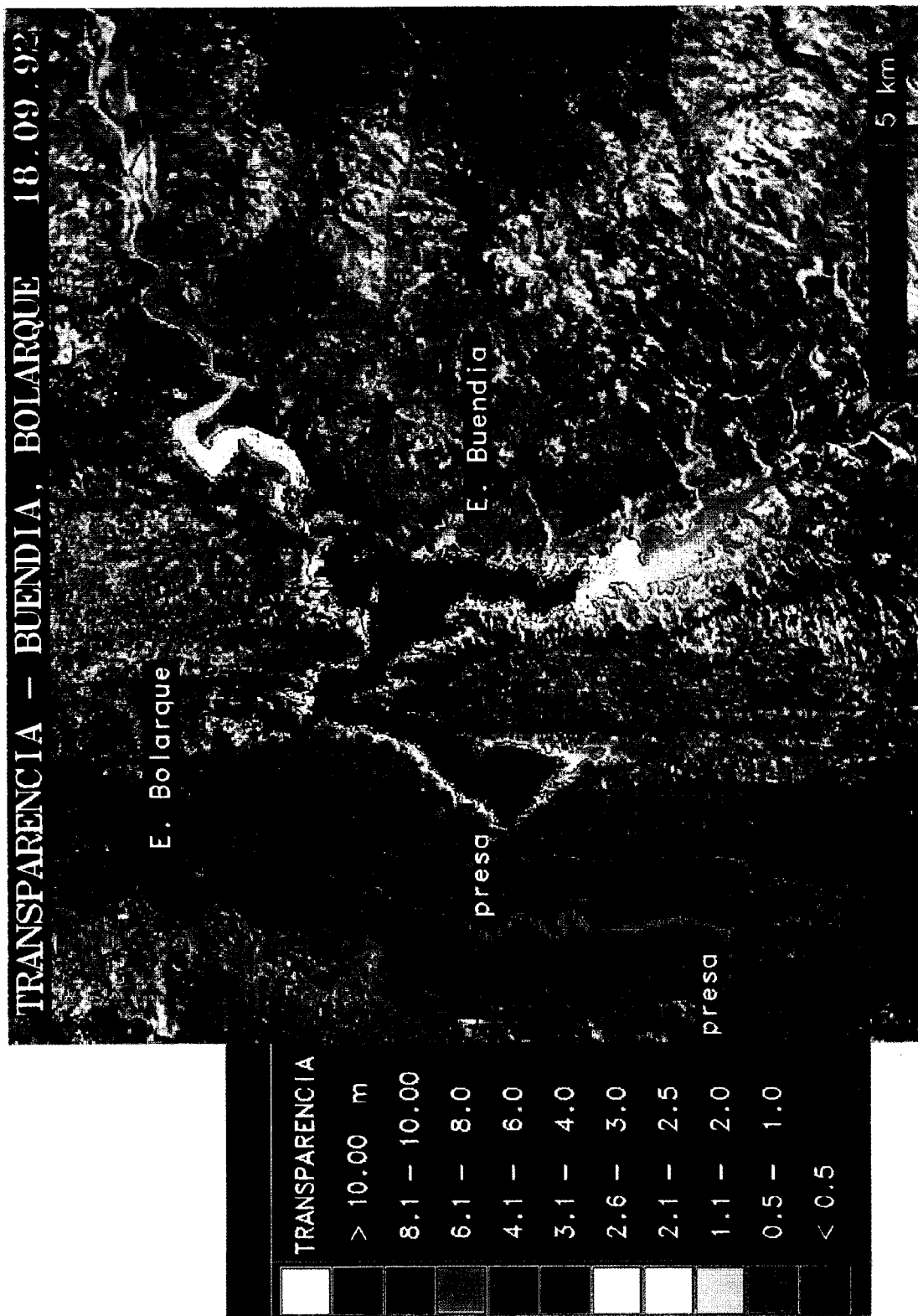


FIGURA 3.- Mapa temático de transparencia. Embalses de Buendía y Bolarque. 18 de Septiembre
 FIGURE 3.- Transparency thematic map sample. Buendía & Bolarque reservoirs. 92.09.18

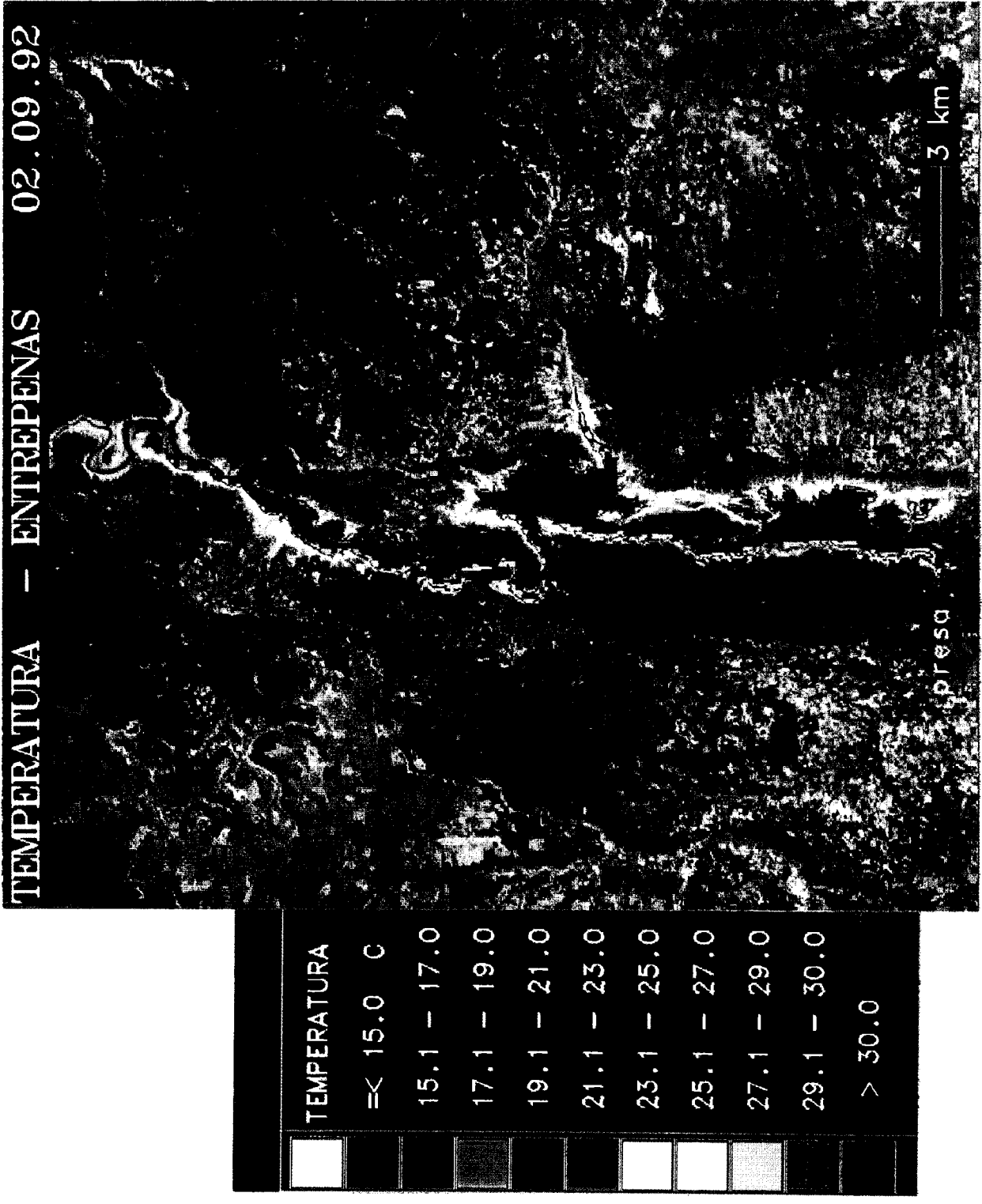


FIGURA 4.- Mapa temático de temperatura. Embalse de Entrepeñas. 2 de Septiembre de 1992.
 FIGURE 4.- Temperature thematic map sample. Entrepeñas reservoir. 92.09.02

EVOLUCION TEMPORAL CLOROFILA - Entrepneas

17.08.92 / 02.09.92

16.07.92 / 17.08.92

16.07.92 / 18.09.92

02.09.92 / 18.09.92

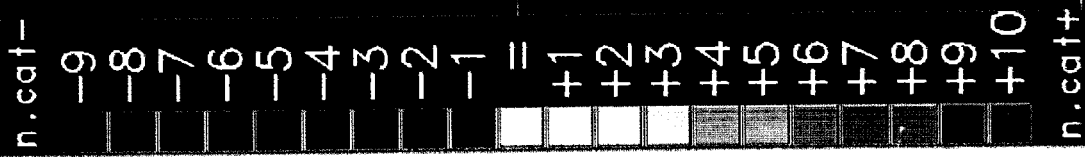


FIGURA 5.- Mapas de evolución multitemporal. Clorofila *a*. Embalse de Entrepeñas
FIGURE 5.- Multirate evolution maps. Chlorophyll *a*. Entrepeñas reservoir

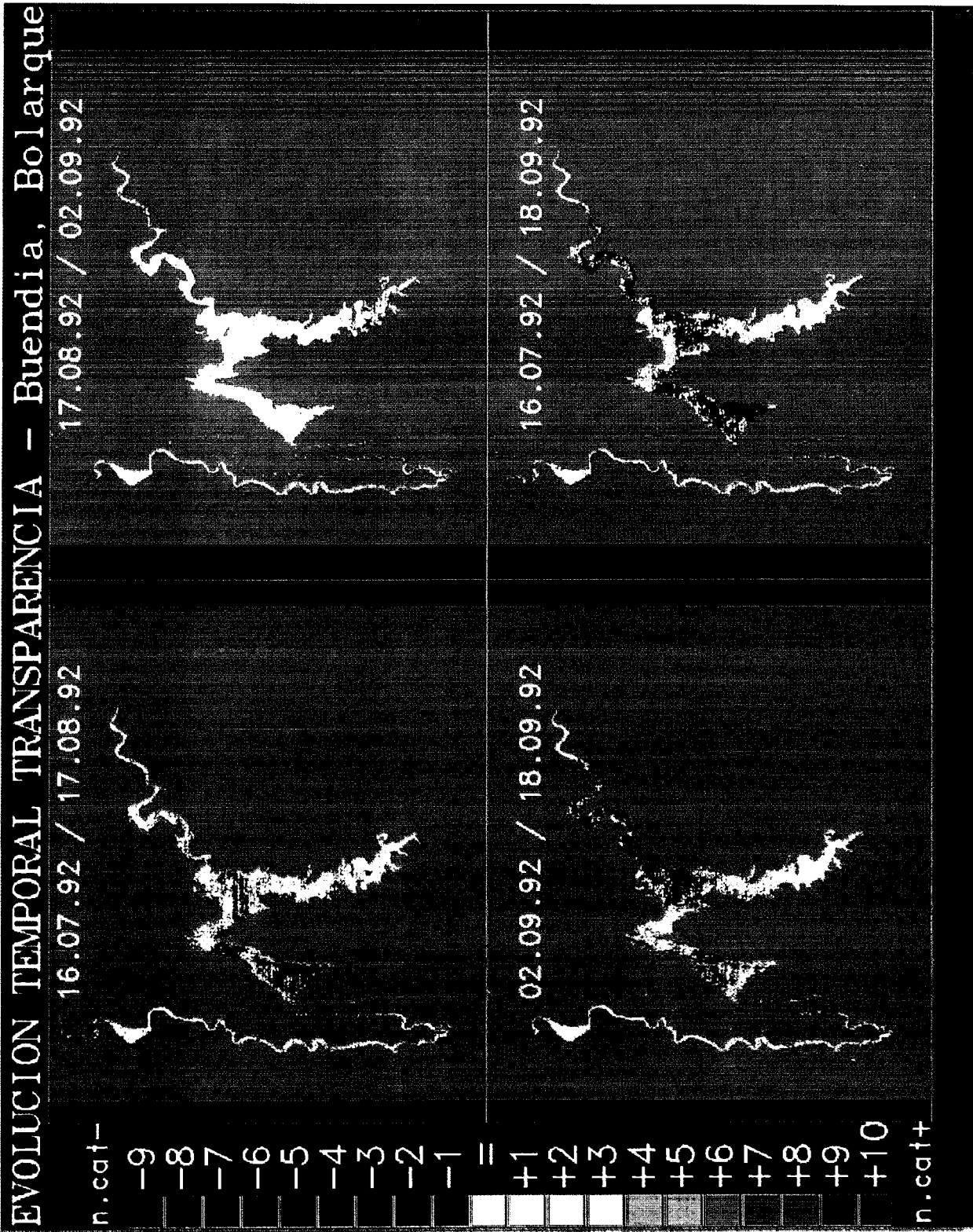


FIGURA 6.- Mapas de evolución multitemporal. Transparencia. Embalses de Buendía y Bolarque

FIGURE 6.- Multidate evolution maps. Transparency. Buendía & Bolarque reservoirs