

Evolución del estado trófico del embalse del Huesna: período 1999-2000

MANUELA MEDINA VELA (*); M^a DOLORES DIAZ BORREGO(*); M^a LUISA PUENTE GUIADO (*);
CONSUELO BURRACO BARRERA (*); JUAN AVILÉS GARCIA (**).

RESUMEN El presente trabajo desarrolla el estudio que durante los años 1999 y 2000 se ha realizado en el embalse del Huesna. Comprende la medida de una serie de parámetros físico-químicos y biológicos, con objeto de caracterizar su ciclo anual y su variabilidad interanual.

En el caso de este embalse, dedicado exclusivamente a abastecimiento, resulta fundamental conocer la calidad del agua a lo largo del perfil vertical para una correcta utilización de la torre de toma. Además, la determinación de su estado trófico y su evolución marcan medidas a seguir para controlar la eutrofización y evitar problemas en el tratamiento posterior de potabilización.

Todo esto motiva a la empresa Aguas del Huesna, S.L. y al Consorcio del Huesna, responsables del abastecimiento derivado del embalse del Huesna, a iniciar en 1998 el estudio del mismo.

HUESNA RESERVOIR: EVALUATION OF TROPHIC 1999-2000

ABSTRACT This work describes the study carried out at the Huesna reservoir through 1999 and 2000. It consists of measurements of a series of physicochemical and biological parameters that characterize its annual cycle and yearly variability.

At this reservoir, used only for drinking supply, it is essential to monitor water quality along a vertical cross-section for a proper usage of the intake tower. Furthermore, determining the trophic status and how it evolves provides the basis for establishing measures to control the eutrophication and avoid problems in later potabilization treatment.

Due to the above, Aguas del Huesna, S.L. and Consorcio del Huesna, responsables of the drinking water supply from the Huesna reservoir, saw fit in 1998 the necessity to institute the above study.

Palabras clave: Embalse; Calidad del agua; Eutrofización; Nutrientes; Potabilización.

1. INTRODUCCIÓN

El aumento de la demanda de agua para consumo humano exige una calidad cada vez más elevada del agua almacenada en los embalses, con el fin de minimizar costes de tratamiento.

La eutrofización constituye la principal amenaza para este tipo de ecosistemas. El enriquecimiento en nutrientes provoca un incremento en la producción fitoplanctónica ocasionando problemas de olores y sabores cuando el agua se destina a potabilización. El control de dicho proceso exige un estudio continuado que estime los aportes de nutrientes y la evolución del ecosistema acuático a lo largo del tiempo.

Así pues, el estudio limnológico de estas masas de agua resulta obligado cuando se destinan a potabilización, dado el interés práctico del mismo. Por ejemplo, la correcta utilización de la torre de toma se apoya plenamente en este tipo de trabajo.

Las características físico-químicas y biológicas del agua embalsada varían con la profundidad y a lo largo del año,

además se registra una variabilidad interanual. En período de mezcla se puede considerar que el embalse es una masa homogénea, sin embargo, la estratificación marca diferencias físico-químicas muy importantes en la columna de agua. Todo esto, hace necesario conocer el funcionamiento de este tipo de ecosistemas llegando a establecer pautas de comportamiento.

2. SITUACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

El embalse del Huesna se halla situado en la Sierra Norte de Sevilla. Comprendido entre los términos municipales de El Pedroso y Constantina ocupa una superficie de 738 ha y su capacidad máxima es de unos 134 hm³. Fue construido en el curso medio-bajo del río Ribera de Huéznar (afluente del Guadalquivir y principal ecosistema fluvial de esta zona de Sierra Morena) entre los años 1983 y 1992.

Abastece, desde mediados de 1997, a unos 200.000 habitantes distribuidos en una serie de pueblos de la provincia de Sevilla afectados por problemas en la calidad y cantidad del agua que se les suministraba. Además de garantizar el abastecimiento, el Huesna desempeña un papel fundamental en la regulación del Guadalquivir.

(*) Aguas del Huesna, S.L./ Consorcio del Huesna. Sevilla.

(**) Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. Madrid.

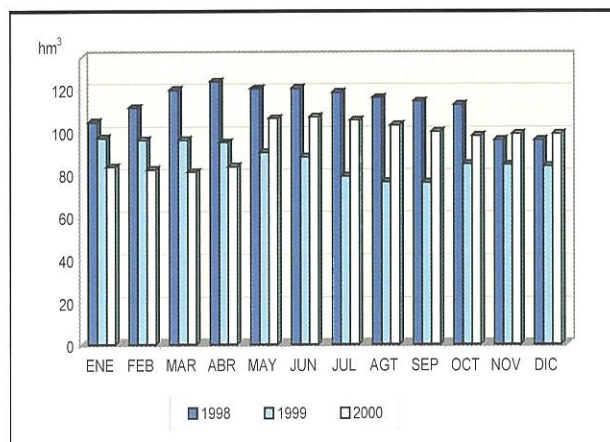


FIGURA 1. Evolución del volumen embalsado desde 1998 hasta 2000.

La ubicación de este embalse, en una cuenca receptora con alta capacidad de drenaje, y la extracción anual de unos 14 hm³ para potabilización, hicieron que el volumen embalsado nunca fuese inferior al 60% durante todo el período de estudio (a pesar de haberse atravesado una etapa bastante seca). En la figura 1 se indica la evolución del volumen embalsado desde 1998 a 2000.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio del embalse del Huesna se inició en agosto de 1998 dada la importancia y necesidad del mismo. Su ejecución requirió la adquisición del material necesario y el diseño de un programa de muestreo acorde a los objetivos iniciales marcados (controlar la calidad del agua en origen, conocer el estado trófico del embalse, establecer su ciclo anual, manejar correctamente la torre de toma, entre otros). A medida que el proyecto avanzaba, surgieron otras necesidades y el número de parámetros analizados y muestras se ampliaron con el fin de llegar a conocer el comportamiento de esta masa de agua.

Se estableció una única estación de muestreo situada a unos 200 metros de la presa y se tomaron con una periodicidad mensual muestras a los 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 20, 25, 30, 35 y 40 metros de profundidad con un muestreador tipo Van Dorn de 2 litros de capacidad.

Las tomas de agua para análisis físicos, químicos y biológicos se realizaron en cada una de las profundidades anteriormente citadas y fueron debidamente conservadas. Además, se midió "in situ": transparencia del agua, conductividad, oxígeno disuelto y pH. El estudio se amplió en 1999 con el inicio del análisis microbiológico.

3.1. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

En el reconocimiento limnológico efectuado se analizaron aquellos parámetros necesarios para el conocimiento del grado trófico del embalse.

Las determinaciones físico-químicas realizadas, junto con los métodos empleados se muestran en la Tabla 1.

3.2. PARÁMETROS BIOLÓGICOS

La concentración de clorofila *a* se determinó a todas las profundidades mediante la filtración de volúmenes de 1 litro a través de filtros de fibra de vidrio (WATMAN GF/C) y extracción del pigmento con metanol en frío y oscuridad.



FOTO 1. Vista panorámica del embalse de Huesna.

Para el cálculo de la concentración de dicho pigmento fotosintético se empleó la fórmula de Talling and Driver (Vollenweider, 1969). La identificación y recuento del fitoplancton se realizó con un microscopio invertido Axiovert 25 (Zeiss) en muestras fijadas con lugol mediante la técnica de Utermöhl.

3.3. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

Se tomaron muestras en la superficie, a los 15 y 40 metros de profundidad y a la salida de la presa en frascos estériles. A todas se les determinaron: coliformes totales y fecales, enterococos fecales y clostridium sulfito-reductores.

PARÁMETROS	MÉTODO
Transparencia	Disco de Secchi
Temperatura	Termométrico
Conductividad	Electrométrico
pH	Electrométrico
Oxígeno disuelto	Winkler o yodométrico Electrométrico
Turbidez	Nefelométrico
Materia orgánica	Volumétrico (Oxidabilidad al permanganato)
Reserva alcalina	Volumétrico (Valoración con H ₂ SO ₄)
Cloruro	Volumétrico (Valoración con AgCl)
Nitrato	Colorimétrico (Ácido sulfonámico)
Nitrito	Colorimétrico (Griess)
Amonio	Colorimétrico (Nessler)
Fósforo soluble	Colorimétrico (Murphy & Ryleig)
Sílice	Colorimétrico (Mullin & Riley)
Manganeso, Hierro	Absorción atómica
Calcio, Magnesio	Absorción atómica

TABLA 1. Parámetros físico-químicos analizados y métodos empleados.

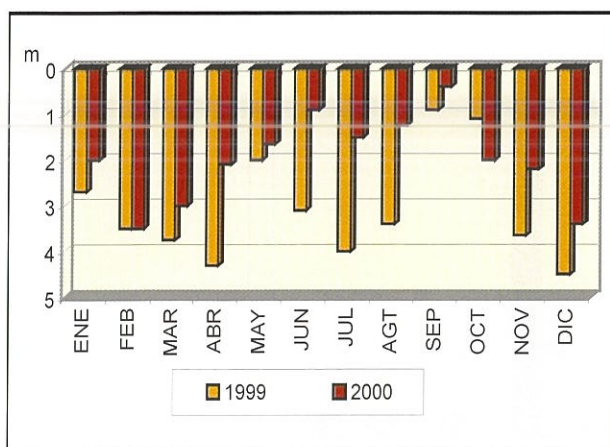


FIGURA 2. Evolución mensual de la transparencia del agua durante 1999 y 2000.

4. RESULTADOS

Se exponen, principalmente, los resultados obtenidos relativos a los parámetros físico-químicos, estando la evolución de los mismos íntimamente relacionada con los biológicos (clorofila y grupos fitoplanctónicos dominantes en cada momento). Los parámetros físico-químicos permiten caracterizar el ciclo térmico del embalse, definir la mineralización de sus aguas y su grado de eutrofia.

En este tipo de estudios resulta fundamental determinar la concentración de nutrientes, puesto que condiciona el desarrollo del fitoplancton y por tanto el estado trófico del embalse.

En los dos años que comprende este estudio, el embalse del Huesna, como corresponde a los embalses situados en la zona climática Mediterránea, presentó un período de mezcla muy corto con una duración aproximada de unos tres meses, desde diciembre a últimos de febrero. El aumento de las temperaturas ambientales que se registró a finales de dicho mes provocó el calentamiento de la capa superficial creando una pequeña termoclina. El resto del año se encontró más o menos estratificado dependiendo de la época.

El epilimnion estuvo comprendido entre la superficie y los 6 metros de profundidad, el metalimnion entre 6 y los 12 metros y el hipolimnion ocupó la mayor parte de la masa de agua puesto que se extendió desde los 12 metros hasta el fondo (situado a unos 45 metros). La máxima estratificación correspondió siempre al mes de agosto con una diferencia térmica entre epilimnion e hipolimnion de unos 14 °C.

De todos los parámetros estudiados resultó fundamental destacar la evolución de la transparencia en este período. El embalse experimentó, durante el año 2000, una disminución muy importante de la misma. El mínimo tuvo lugar en septiembre de este año, ya que el disco de Secchi dejó de verse a los 40 centímetros de profundidad. La evolución mensual de la transparencia del agua durante 1999 y 2000 se muestra en la figura 2.

La conductividad osciló entre 190 y 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los valores más bajos correspondieron al epilimnion y los más altos al hipolimnion en período de estratificación. Durante la mezcla se registraron valores entre 270-280 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en toda la masa de agua. El valor más bajo correspondió a septiembre de 2000 (194 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en superficie).

En cuanto al oxígeno disuelto, las mayores concentraciones correspondieron al epilimnion. La sobresaturación se alcanzó en épocas de alta actividad fotosintética (bloom de cianofíceas).

Se registró anoxia durante el período de estratificación a partir de los 6 metros de profundidad.

La mezcla térmica, que se inició en diciembre de 1998, se mantuvo hasta finales de febrero de 1999 y llevó asociada una oxigenación de toda la masa de agua (se llegaron a medir más de 6 mg/l O_2 en el fondo). A finales de abril de este mismo año, se detectó una disminución en las capas profundas. A últimos del mes mayo, el oxígeno se agotó a partir de los 6 metros. En otoño, la disminución de las temperaturas ambientales, los vientos y las precipitaciones iniciaron el retroceso de la estratificación. La mezcla térmica se alcanzó, al igual que en 1998, en diciembre, sin embargo esta vez no llevó asociada una oxigenación de las capas profundas manteniéndose la anoxia a partir de los 20 metros. Así pues, el fondo permaneció anóxico hasta finales de febrero de 2000, época en la que alcanzó el valor máximo de 2.8 mg/l O_2 . Rápidamente se agotó, afrontándose la primavera con un déficit de oxígeno en las capas profundas. Al igual que sucedió en 1999, en el año 2000 la mezcla térmica tampoco llevó asociada una oxigenación del fondo manteniéndose la anoxia a partir de los 20 metros.

El pH del embalse del Huesna fue ligeramente alcalino con valores que oscilaron entre 7.5-7.7 en período de mezcla. Durante la estratificación se registró un aumento en el epilimnion (8.1-8.9), consecuencia del aumento de la actividad fotosintética en esta zona. Los máximos correspondieron a finales de primavera y verano. Durante el año 2000 se midieron los valores más altos (en junio y septiembre el pH en los dos metros superficiales fue superior a 9).

La masa de agua experimentó un ligero aumento de la materia orgánica a lo largo de este estudio, hecho que se hizo más notable a partir de septiembre de 1999. En este embalse los valores más altos correspondieron al epilimnion. Por lo general, las capas superficiales presentaron valores comprendidos entre 2 y 4 mg/l O_2 , sin embargo se midieron valores de 6 mg/l O_2 en épocas de alta productividad fitoplanctónica. Las capas profundas oscilaron entre 1.3 y 3 mg/l O_2 .

La reserva alcalina fue menor en el epilimnion cuando el embalse estuvo estratificado. Los valores más bajos correspondieron al año 2000 y a épocas de bloom de cianofíceas, concretamente en septiembre la alcalinidad descendió hasta 1.6 meq/l CO_3^{2-} . Por lo general, este parámetro osciló entre 2.1 y 2.7 meq/l CO_3^{2-} .

Se registró un enriquecimiento en fósforo soluble en toda la masa de agua pero especialmente en el hipolimnion. La existencia de una anoxia continua en las capas profundas favoreció la solubilización de este nutriente procedente del sedimento. Así, mientras que la concentración de fósforo medida en el hipolimnion en agosto de 1999 no alcanzó 1 $\mu\text{g-at P}/\text{l}$, un año después superó 1,5 $\mu\text{g-at P}/\text{l}$. En época de fuerte desarrollo fitoplanctónico la concentración de fósforo experimentó un descenso muy importante en el epilimnion.

La concentración de nitrato aumentó en período de mezcla, alcanzando valores entre 30-50 $\mu\text{g-at N}/\text{l}$. Se agotó en todo el perfil durante el verano de 2000, consecuencia de su consumo por el fitoplancton en la zona trofógena y de la atmósfera reductora imperante en casi la totalidad de la masa de agua.

Las capas profundas experimentaron un aumento de la concentración de amonio (en el verano de 2000 se superaron 50 $\mu\text{g-at N}/\text{l}$). El epilimnion presentó valores por debajo del límite de detección (<5.5 $\mu\text{g-at N}/\text{l}$), excepto en ocasiones puntuales.

La concentración de clorofila *a* experimentó un aumento muy significativo en el epilimnion durante 2000. El mayor

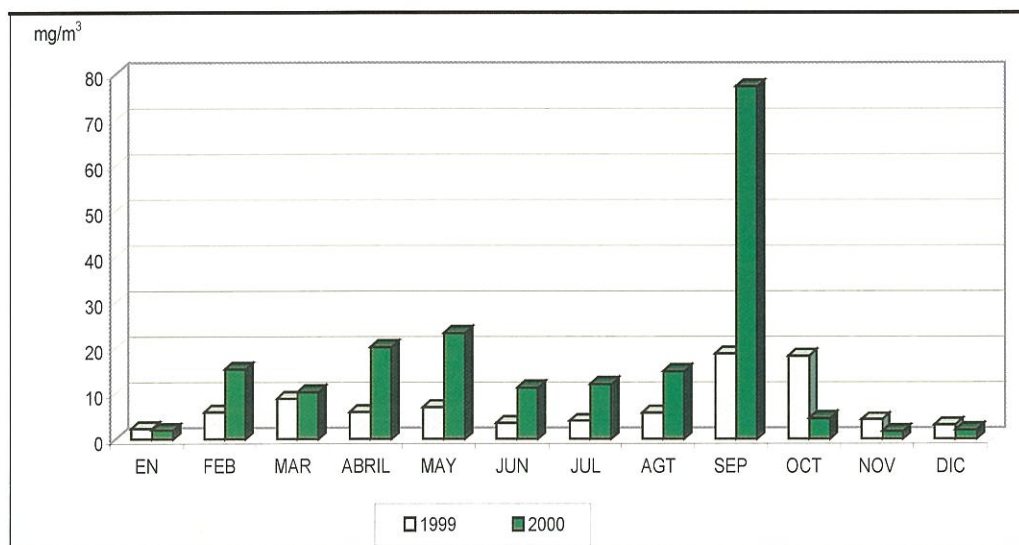
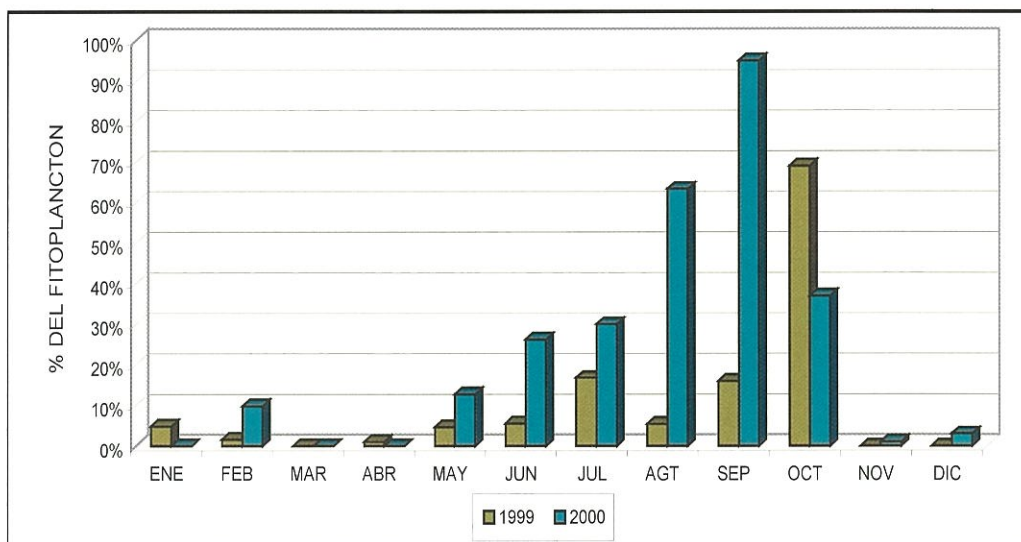


FIGURA 3. Concentración media mensual de clorofila a en el epilimnion en 1999 y 2000.

FIGURA 4. Abundancia relativa de las cianofíceas durante 1999 y 2000.



desarrollo fitoplanctónico ocurrido durante este año elevó la concentración de dicho pigmento fotosintético, especialmente en febrero, abril, mayo, junio y septiembre (en este último mes se superaron 70 mg/m³). En la figura 3 se indica la evolución mensual de la concentración media de clorofila *a* del epilimnion durante 1999 y 2000.

Las cianofíceas aumentaron durante este período de manera muy significativa. El 2000 se caracterizó por una dominancia absoluta de este grupo respecto a los demás. En la figura 4 se muestra su abundancia relativa en el epilimnion durante 1999 y 2000.

El desarrollo de este grupo se encuentra ligado a la relación N/P existente en el medio, puesto que, si es menor que 10, el desarrollo de la población hace que se agote pronto el N quedando P en el medio. Así, las cianofíceas fijadoras de nitrógeno se verán favorecidas (Toja, 1984).

Durante 1999 se registró un pico de cianofíceas en octubre (*Aphanizomenon flos-aquae*). En el año 2000 dominaron especies sin heterocistes en primavera y principios de verano (*Coselosphaerium naegelianum*). El posterior agotamiento de los

nitratos (verano y principios de otoño) favoreció el desarrollo de especies con heterocistes capaces de fijar el nitrógeno atmosférico (*Aphanizomenon flos-aquae* y *Anabaena spiroides*).

5. DISCUSIÓN

El embalse del Huesna posee unas aguas de mineralización media con una conductividad comprendida entre 225 y 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y una reserva alcalina relativamente alta, 2.2-2.7 meq/l CO_3^{2-} . Este hecho acentúa el riesgo de eutrofización pues su capacidad de respuesta ante un aporte de nutrientes es menor que la de un embalse de aguas mineralizadas, capaz de precipitar el fósforo retirándolo de la columna de agua y evitando así un desarrollo fitoplanctónico desmesurado (Margalef, et al., 1976; Toja, 1984).

La disminución de la transparencia del agua (excepto por sólidos en suspensión) siempre llevó asociada un aumento muy importante de clorofila *a* en el epilimnion. Los valores más bajos registrados (menores de 1 metro) se correspondieron con un pH por encima de 9 y un desarrollo de bloom de cianofíceas en superficie.



FOTO 2. Cerrada y torre de toma.

Después de fuertes lluvias el embalse registró un aumento en las concentraciones de nitrato, amonio y especialmente fósforo soluble, consecuencia de aportes de escorrentías. En el período de estudio este hecho se observó fundamentalmente en octubre-noviembre de 1999, consecuencia de las intensas lluvias otoñales registradas en la zona (aportaron unos 9 hm³ y sucedieron a un período muy seco) que desencadenaron fuertes arrastres, y por tanto, la incorporación de nutrientes a la masa de agua (nitratos y fósforo). Esto favoreció un desarrollo muy importante del fitoplancton a finales de febrero de 2000, puesto que el aumento de las temperaturas ambientales estimuló el crecimiento del mismo al no encontrarse limitado por los nutrientes.

En abril-mayo de 2000 la zona sufrió los efectos de las lluvias primaverales que supusieron una recuperación del volumen embalsado en algo más de 25 hm³. Se produjo un aumento en la concentración de nutrientes, aunque menos que en noviembre de 1999, puesto que los arrastres fueron menores y los aportes se diluyeron en un volumen mayor. A finales de mayo y principios de junio se registró un bloom de cianofíceas en superficie.

El espacio de tiempo comprendido entre agosto de 1998 (inicio del estudio) y octubre de 1999 fue bastante seco y se caracterizó por una paulatina disminución del volumen embalsado. Este hecho, acompañado por un continuo aporte de nutrientes a través de los tributarios y una disminución de la tasa de renovación del agua, condujo a un ligero incremento de la concentración de fósforo soluble en las capas profundas durante el verano de 1999 (1 µg-at P/l). Sin embargo, no tuvo lugar ningún episodio de bloom de cianofíceas y la concentración media de clorofila del epilimnion fue menor de 7 mg/m³ en este año. Además, en ocasiones el fósforo llegó a no ser detectado en todo el perfil vertical (mediante la técnica analítica habitualmente empleada).

Otro aspecto importante a tener en cuenta, es el cambio en el régimen de explotación del embalse. Se cerró el desagüe de fondo en octubre de 1999 y se puso operativa la torre de toma (con tres tomas), captándose el agua de entre

16-18 metros de profundidad según la cota del agua (hasta ese momento se funcionaba única y exclusivamente con el desagüe de fondo). La oxigenación de las capas profundas consecuencia de la mezcla otoñal que tuvo lugar en 1998 (en diciembre el oxígeno llegó hasta el fondo del embalse, aproximadamente a unos 45 metros de profundidad en el punto de muestreo) no se produjo en 1999. Así pues se registró anoxia a partir de los 20 metros, produciéndose un aislamiento de las capas profundas, hecho que coincidió con la puesta en servicio de la torre de toma que captaba el agua de unos 18 metros de profundidad (prácticamente es por debajo de la misma donde se detectó este déficit de oxígeno).

Según esto, el embalse del Huesna se comportó como meromítico por debajo de la toma de agua (Margalef, 1983). Las capas profundas quedaron aisladas y se volvieron anóxicas, elevaron su conductividad, su contenido en calcio, hierro, manganeso, sulfhídrico y amonio. Esta situación se siguió manteniendo incluso en período de mezcla térmica. Además, el fósforo soluble aumentó considerablemente en esta zona pudiendo pasar a disposición del fitoplancton.

Según los datos analíticos de los que se disponen, 1999 y 2000 han sido dos años muy distintos, existiendo diversos factores que han marcado la evolución del embalse a lo largo de este tiempo. Se han manejado datos climáticos, de explotación del embalse y de aporte de nutrientes diferentes en cada año, que han conducido a respuestas distintas del ecosistema.

La concentración de clorofila *a* aumentó en el año 2000 con relación a 1999, consecuencia de un crecimiento muy importante de la actividad fotosintética que no se encontró limitada por los nutrientes, especialmente el fósforo. El nitrato llegó a agotarse, pero este hecho no frenó el desarrollo de cianofíceas con heterocistes que aparecieron en forma de bloom durante el año 2000. El incremento en la materia orgánica que se registró en el epilimnion correspondió a biomasa algal. Además la transparencia del agua medida con el disco de Secchi disminuyó considerablemente de un año a otro (Tabla 2).

Parámetro	1999	2000
Clorofila media (mg/m ³)	7.0	16.2
Clorofila máxima (mg/m ³)	27.0	84.0
Transparencia (m)	3.0	2.0

TABLA 2. Transparencia y clorofila *a* en 1999 y 2000.

Concentración media de clorofila corresponde a la media de la zona fótica.
Clorofila máxima = pico anual de la concentración de clorofila *a* (mg/m³)

Según los valores límite de la OCDE (Ryding & Rast, 1989) para un sistema de clasificación trófica (Tabla 3), el embalse del Huesna evolucionó desde la mesotrofia (límite inferior de la eutrofia) en 1999 a la eutrofia en el año 2000.

El estudio del fitoplancton realizado en el embalse mostró un año 1999 en el que predominaron especialmente clorofíceas y diatomeas, mientras que en el 2000 fueron las cianofíceas el grupo dominante (CEDEX, 2001).

El embalse del Huesna estaba condenado a la eutrofización. El estudio realizado por Toja (1987) durante la construcción del embalse así lo anunciaba. Las características físico-químicas de las futuras aguas y las fuentes de contaminación existentes en la cuenca, anunciaban que el Huesna sería un embalse eutrófico de no tomar las medidas oportunas. Entre las mismas se sugerían el desmonte y la depuración de las aguas residuales de dos municipios (El Pedroso y Constantina) que afectaban directamente al embalse. La primera medida fue tomada, la segunda hoy, casi 25 años después, se ha cumplido sólo en parte (la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de El Pedroso está a punto de entrar en funcionamiento y la de Constantina, aunque construida hace años, aún no se ha puesto en marcha). Esta situación hace que el estudio del embalse lleve asociado el control estacional de la carga contaminante de los aportes a la cuenca. Este programa, que se viene desarrollando desde 1997, ayuda a estimar el aporte de nutrientes y su evolución con el tiempo.

La carga de fósforo y nitrógeno aportada al embalse a través de los tributarios aumentó ligeramente en este último año. Sin embargo, el uso y aprovechamiento que se hace del terreno en la zona que rodea al embalse (ganadería intensiva especialmente) supuso un ingreso muy importante de nutrientes, especialmente después de fuertes lluvias.

Hay que señalar que, aunque el agua que posteriormente es tratada procede de capas profundas anóxicas, la aireación a la que es sometida, antes de ser tratada, mejora considerablemente sus características físico-químicas no requiriendo tratamientos costosos.



FOTO 3. *Anabaena spiroides* (cianofíceas).

Para concluir decir que, la situación del embalse a principios del año 2001 es totalmente diferente a los dos años descritos en este trabajo, ya que las lluvias otoñales han supuesto la renovación completa del agua embalsada (unos 90 hm³ han sido liberados a través del desagüe de fondo).

Así pues, conocer el funcionamiento de un embalse resulta muy interesante desde el punto ecológico, y práctico e imprescindible si se destina al abastecimiento humano. Es por ello que este tipo de estudios resulta obligado en la actualidad.

7. BIBLIOGRAFÍA

- CEDEX, 2001. *Estudio de la distribución vertical y variación estacional de las algas durante el período de estratificación y mezcla en dos embalses situados en zonas climáticas diferentes*. Centro de Estudios Hidrográficos. Madrid.
- MARGALEF, R., PLANAS, D., ARMENGOL, J., VIDAL, A., PRAT, N., GUISET, A., TOJA, J. & ESTRADA, M. 1976. *Limnología de los embalses españoles*. D.G. Obras Hidráulicas, Serv. Publ. M.O.P. Madrid.
- MARGALEF, R., 1983. *Limnología*. Ed. Omega. Barcelona.
- TOJA, J., 1984. *Limnología de los embalses para abastecimiento de aguas a Sevilla*. Gabinete de Formación y Documentación del CEDEX. Servicio de Ediciones. Madrid.
- TOJA, J., LÓPEZ, T., GUISANDE, C., 1987. *Calidad de la cuenca del Ribera de Huéznar (Sevilla) y su impacto en un nuevo embalse en construcción*. Actas del IV Congreso Español de Limnología.
- RYDING, S., RAST, W., 1989. *El control de la eutrofización en lagos y pantanos*. Ed. Pirámide. Madrid.
- VOLLENWEIDER, R. A., 1969. *Primary production in aquatic environments*. I.B.P. Handbook n° 12, Blackwell Sci. Publ. Oxford.

Categoría trófica	Clorofila media	Clorofila máxima	Transparencia
Ultraoligotrófico	<1.0	<2.5	≥12.0
Oligotrófico	1.0-2.5	2.5-8.0	12.0-6.0
Mesotrófico	2.5-8.0	8.0-25.0	6.0-3.0
Eutrófico	8.0-25.0	25.0-75.0	3.0-1.5
Hipereutrófico	>25.0	>75.0	<1.5

TABLA 3. Valores límites de la OCDE para un sistema de clasificación trófica. (modificado de OCDE, 1982) (Ryding & Rast, 1992)

Clorofila media = media anual de la concentración de clorofila *a* (mg/m³). Clorofila máxima = pico anual de la concentración de clorofila *a* (mg/m³)
Transparencia = media anual de la transparencia del disco de Secchi (m)