

Control de la eutrofia en embalses por utilización selectiva de agua a distintas profundidades

Por JULIA TOJA

Doctora en Biología
Empresa Municipal de Abastecimiento
y Saneamiento de Aguas de Sevilla

Se exponen algunos de los resultados obtenidos en el control del grado de eutrofia del sistema de embalses que regula el río Rivera, de Huelva (empleados para el abastecimiento de agua potable a Sevilla), aplicando los conocimientos obtenidos en el estudio limnológico de los mismos desde 1973 a 1980.

La construcción de embalses en cadena es beneficiosa para la calidad del agua, entre otras razones porque el trasvase de pequeñas cantidades de agua de los embalses superiores a los inferiores aumenta la concentración de oxígeno en el hipolimnion de éstos, contribuyendo a mantener inmovilizados muchos nutrientes.

Siendo la tasa de renovación del agua uno de los factores que controlan el grado de eutrofia, se ha trabajado en el sentido de aumentarla utilizando torres de toma de agua a distintas profundidades. Así, se aumenta la tasa de renovación efectiva para el fitoplancton, que al sufrir una fuerte presión disminuye su densidad. Además, el fitoplancton retirado no se sedimenta, disminuyendo la reserva de nutrientes en el fondo.

INTRODUCCION

La creciente demanda de agua potable en los asentamientos humanos hace imprescindible la búsqueda y conservación de importantes cantidades de agua. La mayor parte de las grandes ciudades basa su abastecimiento en aguas de superficie, retenidas muchas veces en grandes embalses. Tradicionalmente al hacer frente al problema del suministro de agua potable sólo se ha tenido en cuenta la necesidad de disponer de agua en cantidad. No obstante, la amenaza, cada vez más grave, de eutrofización de las masas de agua, tanto naturales como embalsadas, hace que se deba prestar también atención a la calidad (Vallentyne, 1978; Vollenweider, 1981). Cuanto mejor sea la calidad del agua en origen, más fácil y, por lo tanto, más económica será su depuración.

La eutrofia de una masa de agua se debe a la existencia de altas concentraciones de nutrientes (nitrógeno y fósforo, principalmente), que determinan un gran desarrollo de las algas (fitoplancton, sobre todo) en las capas de agua iluminadas (epilimnion). Estas algas, al sedimentarse son descompuestas por las bacterias, que consumen grandes cantidades de oxígeno de las capas profundas (hipolimnion). Cuanto mayor es la eutrofia, mayor es el riesgo de anoxia en el hipolimnion. Existe un pro-

ceso de sucesión natural desde la oligotrofia (aguas pobres en nutrientes) hasta la eutrofia (aguas ricas), pero es muy lento, durando siglos e incluso milenios.

No obstante, en los últimos decenios estamos asistiendo a un proceso de eutrofización de la mayoría de los lagos y embalses debido a las actividades humanas, que actúan sobre los ecosistemas acuáticos acelerando el proceso natural. Esta actuación tiene diversas manifestaciones:

1. Favorece el aterramiento.
2. Aumenta la extensión de las tierras de labor, haciendo al suelo más susceptible de dejar escapar sustancias disueltas. Además, utiliza abonos que, en gran parte, son lavados por las lluvias y van a parar a los ecosistemas acuáticos.
3. Vierte sus aguas residuales, a menudo cargadas con detergentes fosforados.

Todas estas actividades se traducen en un enriquecimiento en nutrientes de las aguas. Los mayores problemas se plantean porque, en general, los vertidos humanos tienen una proporción de fósforo superior a la de nitrógeno y muchísimo mayor que la que existe en la Naturaleza. Este hecho determina que aumente extraordinariamente la población algal,

hasta que se llega a un agotamiento del nitrógeno. Pero la ausencia de éste no frena el desarrollo del fitoplancton, ya que aparecen las algas verde-azuladas (Cianofíceas), capaces de fijar el nitrógeno atmosférico y producir grandes proliferaciones (flor de agua) mientras tienen fósforo disponible. Es lo que Vallentyne (1978) ha llamado la invasión de las algas.

Las consecuencias que la eutrofización puede tener en los abastecimientos de agua son variadas:

1. Aumenta notablemente la demanda de reactivos para la depuración.
2. Muchas algas pueden producir atascos en los filtros.
3. Cuando la densidad de algas es muy alta, pueden no ser efectivos los sistemas convencionales de decantación, y es preciso cambiarlos por sistemas de flotación.
4. Si las algas son Cianofíceas, a los problemas anteriores se añade el hecho de que, en el mejor de los casos, éstas algas producen malos olores y sabores, que son muy difícilmente eliminables y pueden provocar rechazo por parte del público. Incluso algunas especies pueden ser tóxicas.

A pesar de este panorama, a primera vista desolador, es posible luchar contra la eutrofización por varios métodos (Barabas, 1981):

- a) Limitación de vertidos con fósforo.
- b) Eliminación por precipitación química de los fosfatos que han entrado en una masa de agua.
- c) Retirada, por recogida mecánica de la materia orgánica, antes de su descomposición. (Una de las actuaciones que se expondrán a continuación entran, en cierto modo, en este apartado.)
- d) Introducción de peces herbívoros en el lago o embalse.
- e) Oxigenación. (En este trabajo también se exponen algunas experiencias en este sentido.)
- f) Aumento de la tasa de renovación del agua. (En realidad, éste es el tema central del presente estudio.)

Cada caso particular requiere un estudio previo de las causas que producen la eutrofización y de la oportunidad o posibilidad de emplear uno u otro método, ya que no existe la panacea universal en el

problema de la eutrofización. Lógicamente, la actuación más efectiva es la eliminación de vertidos fosforados, pero esto sólo es posible cuando la fuente está bien localizada. En muchos casos los aportes de fósforo son muy difusos y su control se hace muy difícil. En estos casos hay que emplear métodos diferentes.

En este sentido, la Empresa Municipal de Abastecimiento y Saneamiento de Aguas de Sevilla estableció en 1973 un programa de estudio y control de las características limnológicas de los embalses que suministran agua a Sevilla. Los estudios que se han llevado a cabo, además de contribuir a mantener la calidad del agua, han sido fuente de experiencia para el tratamiento de embalses de nueva construcción, como ya se ha puesto de manifiesto en El Gergal.

En los embalses de abastecimiento a Sevilla, como se expondrá a continuación, el fósforo procede del lavado de las tierras de la cuenca y de la mineralización de la vegetación primitiva del vaso inundable, y que en los embalses más jóvenes (Aracena y El Gergal) está aún en fase de mineralización. En este caso particular es difícil evitar este fósforo (que, por otro lado, no alcanza niveles excesivamente altos). Pero debido a su disposición en cadena a lo largo de un río y a la existencia en dos de ellos de torres de tomas, ha sido posible ensayar, creemos que con éxito, una serie de medidas hidráulicas conducentes al mantenimiento e incluso la mejora de la calidad de las aguas.

DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO

El río Rivera de Huelva es un afluente del Guadalquivir por su margen derecha, desembocando en él unos 10 kilómetros aguas arriba de la ciudad de Sevilla. Actualmente está regulado por tres embalses (figura 1):

1. **Aracena.** Situado casi en la cabecera del río. Es un embalse joven (1969).
2. **La Minilla.** Situado unos 40 kilómetros aguas abajo. Es un embalse relativamente maduro (1946). A partir del año 1976 está provisto de torre de toma de agua a distintas profundidades.
3. **El Gergal.** Unos 15 kilómetros aguas abajo del anterior. Es de reciente construcción (1979). También recibe aguas procedentes del embalse de Cala. Está provisto de torre de tomas desde su construcción.

Está prevista la construcción de un nuevo embalse (El Cataveral) entre La Minilla y Aracena.

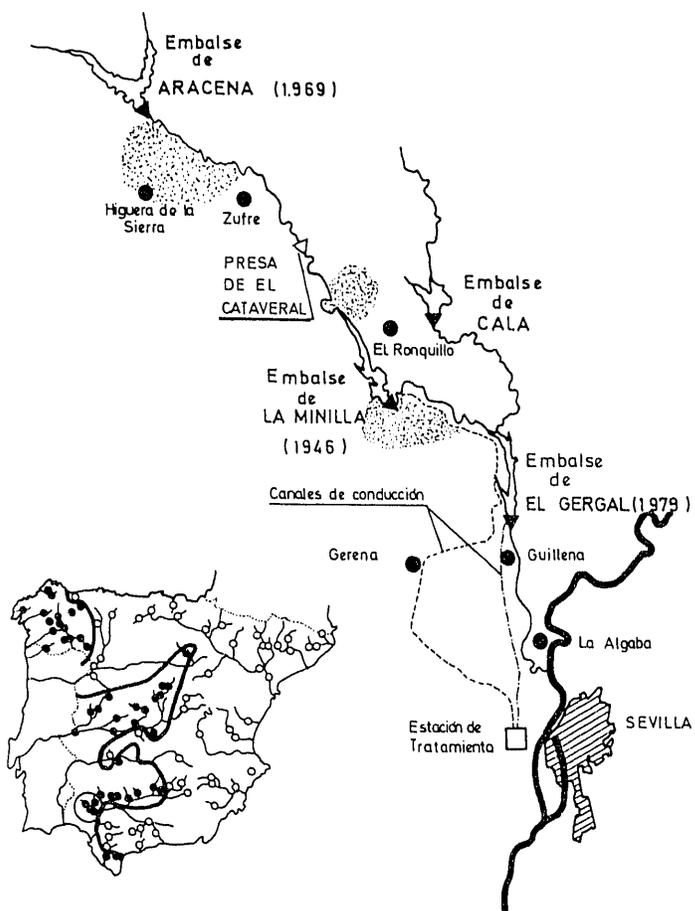


FIGURA 1.—Situación de los embalses estudiados. Las zonas sombreadas corresponden a la extensión de los eucaliptos. Se señala la situación de los tres embalses con respecto al resto de embalses españoles estudiados por Margalef et al. (1976), diferenciándose su carácter calizo (O) o silíceo (●).

Como se ve, estos embalses están situados en cadena en el mismo río. Esta disposición se ha revelado beneficiosa para la calidad de las aguas (Margalef et al., 1976). Si la cuenca se mantiene libre de contaminaciones intermedias, cada uno de los embalses de la cadena actúa como una trampa de nutrientes, por lo que los situados en los tramos inferiores tienden a tener una eutrofia menor que los superiores.

La cuenca de los tres embalses está bastante bien conservada, manteniéndose en gran parte la vegetación natural (Grupo de Análisis Ambiental, 1973), pero en los últimos años (a partir de 1976) se han hecho algunos desmontes para la plantación de eucaliptos. De todas formas, esta cuenca está libre del gran problema de Andalucía que es la contaminación con alpechin.

En cada embalse se ha estudiado, principalmente, una estación próxima a la presa, en la que se ha

llevado un control periódico de los factores del medio: Abióticos (temperatura, pH, conductividad, turbiedad, oxígeno, reserva alcalina, sulfatos, cloruros, sulfuro, calcio, magnesio, sodio, potasio, nitrato, nitrito, amonio, fosfato y silicato) y bióticos (bacterias, fitoplancton y zooplancton). Con estos datos ha sido posible establecer el funcionamiento aproximado del ciclo anual de cada embalse, en principio de Aracena y La Minilla (Toja, 1976) y, posteriormente, de El Gergal (Toja et al., 1981). También se han estudiado otras estaciones a lo largo de los embalses, pero los resultados obtenidos no influyen en la temática del presente trabajo.

ANTECEDENTES

Aracena y La Minilla están incluidos dentro del programa de estudio de embalses españoles (Margalef et al., 1976), perteneciendo al grupo de embalses silíceos poco mineralizados (figura 1). En ellos se ha intentado estudiar de forma sistemática una serie de cuestiones que surgieron en el estudio general. Básicamente se observa que los factores que más influían en el grado de eutrofia de las aguas eran:

1. Disponibilidad de nutrientes. En este sentido tiene también incidencia el tipo de agua, porque una mayor mineralización de las aguas contribuye a retirar fósforo del medio.
2. Tasa de renovación del agua. Algunos resultados apuntaban hacia una relación inversa entre la tasa de renovación del agua y el grado de eutrofia.

En Aracena y La Minilla la mineralización es, prácticamente, igual, por estar situados en el mismo río, pero hay una diferencia bastante notoria en la concentración de fósforo, que es mucho mayor en Aracena debido a los procesos de descomposición de la materia vegetal del vaso inundado. Sobre la influencia que este factor tiene en la calidad del agua ya se han publicado varios trabajos (Toja, 1976, 1980; Toja et al., 1981 y en prensa), por lo que el presente escrito no profundizará en ella.

El otro factor es el que se va a tratar aquí con más detenimiento. El régimen hídrico de los dos embalses es muy diferente, comportándose Aracena casi como un lago y La Minilla de una forma más similar a la de un río (Toja, 1976). La Minilla tiene una tasa de renovación mayor que Aracena. La información que existe sobre la influencia de este factor en la eutrofia de las aguas es pequeña, debido, principalmente, a que la mayoría de los estudios de eutrofización se han hecho en lagos (Mortimer, 197), en los que la

tasa de renovación es pequeña y afecta poco. Sin embargo, en los embalses, con un comportamiento intermedio entre lago y río, este factor parece tener una incidencia bastante grande.

VENTAJAS DE LA CONSTRUCCION DE EMBALSES EN CADENA

Además de actuar como trampa de nutrientes, la situación en cadena de los embalses permite jugar con ellos y evitar algún tipo de problemas.

Los resultados obtenidos en el estudio de la concentración de oxígeno en todo el perfil vertical, indican que el agua que se aporta de un embalse superior a otro inferior circula siempre por el fondo de éste, debido a que la temperatura del agua que llega por el río es casi siempre inferior a la de la embalsada. Este fenómeno ocurre siempre que hay una diferencia de, por lo menos, 1° C.

Debido a la turbulencia del agua en el río, siempre llega al embalse inferior saturada de oxígeno, por lo que las capas inferiores (hipolimnion) se enriquecen en este elemento. Las altas concentraciones de oxígeno en el fondo favorecen la insolubilidad de muchos nutrientes (en especial fósforo). Además aumentan el volumen de agua apto para la vida de los peces, por lo que las posibilidades de que éstos mueran cuando el volumen embalsado desciende disminuyen considerablemente.

Esto se ha comprobado en La Minilla durante el período de sequía de 1974-76. Al principio del verano de 1974, cuando aún los conocimientos de

funcionamiento de estos embalses eran escasos, sobrevino una gran mortandad de peces, que aumentó considerablemente el grado de eutrofia (figura 2). Posteriormente, en los años siguientes, en los que el volumen del embalse bajó aún más, se mantuvo una concentración de oxígeno suficiente con pequeños aportes de agua de Aracena. En 1981, en que este embalse permaneció vacío, y por lo tanto no pudo suministrar agua a La Minilla, fue preciso realizar en éste una campaña de pesca para retirar la mayor cantidad posible de peces (un 30 % aproximadamente de la población). Sin embargo, El Gergal, que estuvo recibiendo agua de Cala primero, y de un trasvase a partir del Guadalquivir después, no presentó en ningún momento peligro para la población piscícola.

RELACIONES ENTRE LA TASA DE RENOVACION DEL AGUA Y EL GRADO DE EUTROFIA

Existe una diferencia clara entre el grado de eutrofia de Aracena y La Minilla. Aunque los dos son mesotróficos, Aracena tiende a la eutrofia y La Minilla a la oligotrofia (Toja, 1976). La razón principal de esta diferencia hay que buscarla en la distinta concentración de fósforo. Pero las variaciones del grado de eutrofia dentro de cada uno de los embalses parecen estar más en relación con la tasa de renovación del agua.

Se ha calculado la tasa de renovación anual de cada embalse mediante la expresión:

$$\frac{\text{Volumen de agua aportada} + \text{Volumen medio embalsado}}{\text{capacidad total del embalse}}$$

que, aproximadamente, es la relación entre el agua total que ha pasado por el embalse y la capacidad del mismo.

También se ha calculado la tasa de renovación parcial correspondiente al período de mezcla, pero considerando el agua aportada y embalsada entre los meses de noviembre y abril (ambos inclusive).

La eutrofia de cada embalse se ha expresado mediante la media anual del índice de estado trófico (TSI) obtenido a partir de la concentración de clorofila del epilimnion de los embalses (integración de las concentraciones en los diez primeros metros de profundidad) mediante la fórmula de Shapiro (1975):

$$TSI = 10 \left(6 - \log 7,7 \frac{1}{[Clorf]^{0,68}} \right)$$

También se ha calculado el TSI medio del período de estratificación de cada año.

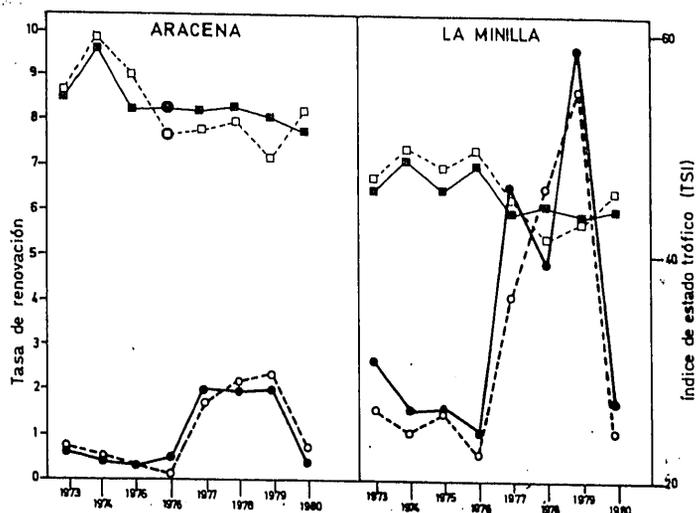


FIGURA 2.—Evolución a lo largo de los años de la tasa de renovación del agua: total (●—●) y del período de mezcla (○···○) y del índice de estado trófico medio de todo el año (■—■) y del período de estratificación (□···□).

CONTROL DE LA EUTROFIA EN EMBALSES POR UTILIZACION SELECTIVA DE AGUA

En la figura 2 se ha representado la evolución de estos parámetros. Se presentan por separado las tasas de renovación total y de mezcla y los TSI total y de estratificación. En dicha figura ya se observa una relación inversa entre ambos factores. La relación es más clara en La Minilla que en Aracena, ya que en este embalse el componente nutrientes parece que tiene una mayor incidencia. De todas formas, la relación más clara parece ser la que hay entre la tasa de renovación del período de mezcla y el TSI del verano siguiente.

La diferencia en el grado de eutrofia entre Aracena y La Minilla, que antes se ha atribuido prin-

cipalmente a la diferencia de nutrientes, también está correlacionada con los distintos valores de la tasa de renovación. La Minilla, donde ésta tiene un valor mucho mayor, tiene un menor grado de eutrofia.

Esta relación quizá se vea más clara en la figura 3, en la que se ha representado la recta de regresión entre las tasas de renovación total y de mezcla y los TSI total y de estratificación. (Se ha suprimido el año 1976 de Aracena, por estar vacío la mayor parte del año, disponiéndose de datos muy inconexos.)

La relación menos significativa es la existente entre la tasa de renovación total y el TSI total, pero en todos los casos la relación es significativa para el 99 % de los casos.

Estos resultados, junto con los obtenidos en el total de embalses españoles, indicaron la conveniencia de conseguir en lo posible un aumento de la tasa de renovación del agua para aumentar su calidad. Aunque la renovación total puede ser imposible en años de sequía (como de hecho se ha presentado en la zona), se puede aumentar la tasa efectiva para el fitoplancton. Pudiendo extraer preferentemente el agua de la zona en que aquél se desarrolla (epilimnion), que, aproximadamente, es una capa de cinco a diez metros de profundidad, la tasa de renovación a efectos del desarrollo de las algas aumenta, ya que el volumen útil para ellas es mucho menor. De esta forma se consigue someter al fitoplancton a una presión de explotación que determina un descenso en la densidad de la población, ya que las pérdidas de algas sólo pueden reponerse si la tasa de multiplicación es muy grande. Pero esta multiplicación acelerada consume rápidamente los nutrientes, por lo que el desarrollo total puede verse frenado. Este efecto tiene otra consecuencia, y es que al ser retirada una parte de la materia orgánica producida en el epilimnion la fracción que se sedimenta es menor, por lo que la reserva de nutrientes para años posteriores será menor.

Esto, en general, es difícil de conseguir, ya que la mayoría de los embalses sólo tienen dos puntos de extracción de agua: a) las compuertas superiores (y son escasas las ocasiones en que el agua puede sacarse por ellas) y b) desagüe de fondo. La construcción de torres de toma de agua a diferentes profundidades es la forma más segura de poder hacerlo. Esta es la razón por la que se aceleró la construcción de la torre de tomas en La Minilla y por la que el proyecto de El Gergal lleva incluida la construcción de la suya. Los resultados obtenidos se exponen a continuación.

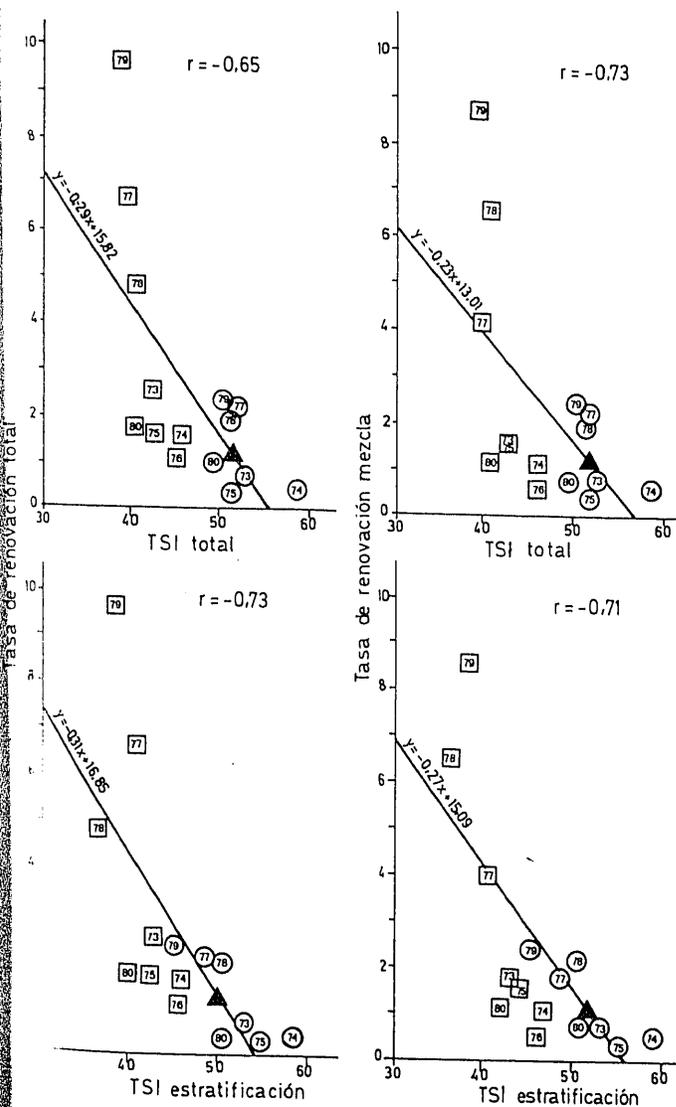


FIGURA 3.—Rectas de regresión e índices de correlación entre tasa de renovación del agua total y del período de mezcla, y los TSI medios: de todo el año y del período de estratificación. (○) Aracena, (□) La Minilla. Se ha señalado la posición teórica de El Gergal (▲) en 1980, teniendo en cuenta la tasa de renovación del mismo.

APLICACIONES PRACTICAS

La Minilla

Debido a que este embalse no tiene, normalmente, un grado de eutrofia muy alto, es quizá difícil de comprobar el beneficio obtenido con la utilización de la torre de tomas. Sin embargo, la composición de la población fitoplanctónica de este embalse acusó un cambio cualitativo durante los años 1977-79, con la aparición de especies de carácter más eutrófico como respuesta a un ligero aumento en la concentración de nutrientes (Toja et al., en prensa). Sin embargo, como se ve en la figura 2, el grado de eutrofia descendió. La posibilidad de utilizar agua del epilimnion condujo a un considerable ahorro económico.

En la tabla 1 se hace una relación del gasto de sulfato de aluminio en la depuración de las aguas en los años 1973 a 1980, observándose que, a pesar del aumento del precio del reactivo, el costo por m³ se ha mantenido, e incluso ha bajado. En 1980 sólo la mitad del agua tratada fue de La Minilla. El resto procedía de El Gergal, que, como se verá a continuación, tiene un mayor grado de eutrofia. Además hay que tener en cuenta que durante varios meses del año (seis en 1977-79 y tres en 1980) no fue necesaria la floculación del agua, con el consiguiente ahorro de energía eléctrica, que no ha sido cuantificado. Incluso en 1981, en que las condiciones de sequía han sido muy duras, el grado de eutrofia se ha mantenido por debajo del de 1976 y el gasto de depuración ha sido menor.

TABLA 1

Gasto de depuración del agua procedente de La Minilla en costo de sulfato de aluminio

	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Volumen de agua tratada (en M m ³)	91,38	95,17	90,69	60,95	85,95	103,11	115,64	121,26
Consumo (SO ₄) ₃ Al ₂ (en Kg. 10 ⁶)	1,52	1,45	2,45	3,98	3,23	1,42	2,77	4,09
Precio del kg. de sulfato (en ptas.)	2,01	2,20	2,78	2,83	3,15	3,90	4,20	5,55
Costo por m ³ de agua (en ptas.)	0,069	0,073	0,150	0,180	0,120	0,053	0,110	0,180

El Gergal

En este embalse se siguió desde el principio del proyecto una serie de actuaciones encaminadas a la reducción en lo posible del grado de eutrofia esperado, que, lógicamente, debiera ser similar al de Aracena en sus primeros años de vida. Para reducir la carga inicial de nutrientes se retiró del vaso inundable el 40 % de la vegetación. Estaba prevista la retirada total, pero las intensas lluvias de 1979 llenaron el embalse antes incluso de la finalización de las obras, por lo que la mayor parte del matorral quedó inundado.

Por otro lado, el menor volumen de este embalse y su capacidad para recibir agua de dos cuencas hacían prever que la tasa de renovación de sus aguas iba a ser bastante elevada (más incluso que la de La Minilla). Además, se construyó con torre de tomas acoplada, por lo que siempre se ha podido tomar el agua del epilimnion cuando ha sido necesario.

Si se centra la atención en las disponibilidades de nutrientes (figura 4) y su reflejo en la composición cualitativa del fitoplanctón (tabla 2), sus caracte-

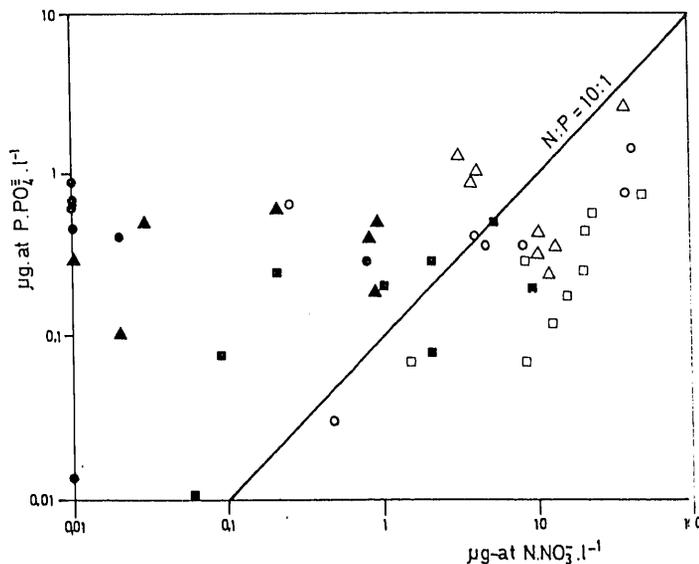


FIGURA 4.—Relación elemental de las concentraciones de nitrógeno y fósforo en las muestras obtenidas en los tres embalses durante 1980 y su situación con respecto a la relación N : P = 10 : 1. (O) Aracena, (□) La Minilla, (Δ) El Gergal. Se han diferenciado los períodos de mezcla y estratificación (símbolos claros y negros, respectivamente).

CONTROL DE LA EUTROFIA EN EMBALSES POR UTILIZACION SELECTIVA DE AGUA

rísticas son muy similares a las de Aracena. Pero si se observa la evolución del TSI en los tres embalses (figura 5), se ve que el grado de eutrofia de El Gergal está por debajo del de Aracena, aunque es algo mayor que el de La Minilla.

En efecto, en la figura 4 se presenta la relación elemental entre el nitrógeno y el fósforo en el epilimnion de los tres embalses durante 1980, comparando esta relación con la $N:P = 10:1$, que es, aproximadamente, la del interior del cuerpo de los organismos y la normal en las aguas de los embalses de la zona silíceo (Margalef et al., 1976). La relación en El Gergal es más similar a la de Aracena que a la de La Minilla. Se presentan, además, valores absolutos de la concentración de fósforo superiores en varios casos a los de los otros embalses. Es decir, que por la concentración de nutrientes El Gergal

debiera presentar un grado de eutrofia igual, por lo menos, al de Aracena.

Esta relación en la concentración de nutrientes tiene su reflejo en la composición específica de la población fitoplanctónica. En la Tabla 2, se ha puesto una relación de las especies dominantes en los tres embalses durante los períodos de mezcla y estratificación. Separándose los años secos (1973-1976 y 1980) de los lluviosos (1977-1979). Se observa que las especies dominantes en El Gergal son prácticamente las mismas que en el embalse de Aracena, sobre todo en los períodos de estratificación. En el de mezcla aparecen también especies que se presentan en La Minilla durante los períodos de mezcla de los años lluviosos, en los que en este embalse hubo un ligero aumento de nutrientes (Toja et al., en prensa).

TABLA 2
Especies dominantes en los embalses de Aracena, La Minilla y El Gergal en los períodos de mezcla y estratificación

	ARACENA	LA MINILLA	EL GERGAL	
1973-76 y 1980	Mezcla	<i>Melosira italica</i> <i>Fragilaria crotonensis</i> <i>Asterionella formosa</i> <i>Synedra acus</i>	<i>Cyclotella ocellata</i> <i>Rhodomonas minuta</i>	<i>Melosira italica</i> <i>Synedra acus</i> <i>Sphaerocystis Schroeteri</i> <i>Scenedesmus incrassatulus</i>
	Estratificación	<i>Anabaena scheremetievi</i> <i>Microcystis aeruginosa</i> <i>Coelosphaerium Kuetzingianum</i>	<i>Oocystis lacustris</i> <i>Coelastrum reticulatum</i> <i>Elakatothrix gelatinosa</i>	<i>Anabaena scheremetievi</i> <i>Aphanizomenon</i> sp. <i>Coelosphaerium kuetzingianum</i> <i>Microcystis aeruginosa</i> <i>Chodatella quatrisseta</i>
1977-79	Mezcla	<i>Melosira italica</i> <i>Fragilaria crotonensis</i> <i>Asterionella formosa</i> <i>Synedra acus</i>	<i>Cyclotella ocellata</i> <i>Sphaerocystis Schroeteri</i> <i>Sc. incrassatulus</i>	VACIO
	Estratificación	<i>Gomphospaeria lacustris</i> <i>Chroococcus limneticus</i> <i>Anabaena scheremetievi</i> <i>Chodatella quatrisseta</i> <i>Scenedesmus disciformis</i>	<i>Ochromonas nanus</i> <i>Crucigenia rectangularis</i> <i>Oocystis lacustris</i>	<i>Chodatella quatrisseta</i> <i>Scenedesmus disciformis</i> <i>Crucigenia rectangularis</i> <i>Anabaena scheremetievi</i> <i>Aphanizomenon</i> sp.

Sin embargo, como puede verse en la figura 5, el grado de eutrofia de El Gergal se mantiene intermedio entre el de La Minilla y el de Aracena, indicando que la densidad de la población fitoplanctónica está muy por debajo de lo esperado por la concentración inicial de nutrientes.

Este descenso del nivel de eutrofia sólo puede deberse a la influencia de la tasa de renovación del agua. «A priori», la tasa de renovación total se esperaba que fuera mayor que la de La Minilla, debido al menor volumen de El Gergal. Pero, salvo

en su primer mes de vida, en el que las lluvias de la primavera de 1979 determinaron que se llenara y vaciara dos veces (Toja et al., 1981), todo el período de vida del embalse ha discurrido en una época sumamente seca. Así, la tasa de renovación total del año 1980 fue sólo de 1,26, y la correspondiente al período de mezcla 1979-80 fue aún menor (1,03). Calculando en la figura 3 los TSI esperables con estas tasas de renovación, se obtienen los valores que se reflejan en la tabla 3. Pero calculando el TSI real, tanto de todo el año como el del período de

TABLA 3

Comparación de los TSI total y de estratificación de El Gergal durante 1980 con los esperados, teniendo en cuenta las tasas de renovación del agua anual y del período de mezcla

	T.S.I. TOTAL		T.S.I. ESTRATIFICACION	
	Esperado	Real	Esperado	Real
Tasa renovación total (1,26)	51,1	50,13	50,6	49,9
Tasa renovación mezcla (1,03)	52,2	50,13	51,9	49,9

estratificación, se observa que en todos los casos este índice es inferior a lo esperado.

La explicación está en que, aunque la tasa de renovación total haya sido relativamente pequeña, la extracción de agua se hizo siempre por el epilimnion, de forma que la tasa de renovación efectiva para las algas del fitoplancton aumenta bastante. Si consideramos la relación:

$$\frac{\text{Volumen desembalsado}}{\text{Volumen medio del epilimnion}}$$

obtenemos un valor de 1,88, lo que indica que del epilimnion se extrajo prácticamente el doble de su capacidad total.

CONCLUSIONES

El conocimiento del funcionamiento limnológico de los embalses puede permitir una serie de actuaciones conducentes no sólo al mantenimiento de una eutrofia aceptable, sino incluso a mejorar la calidad del agua.

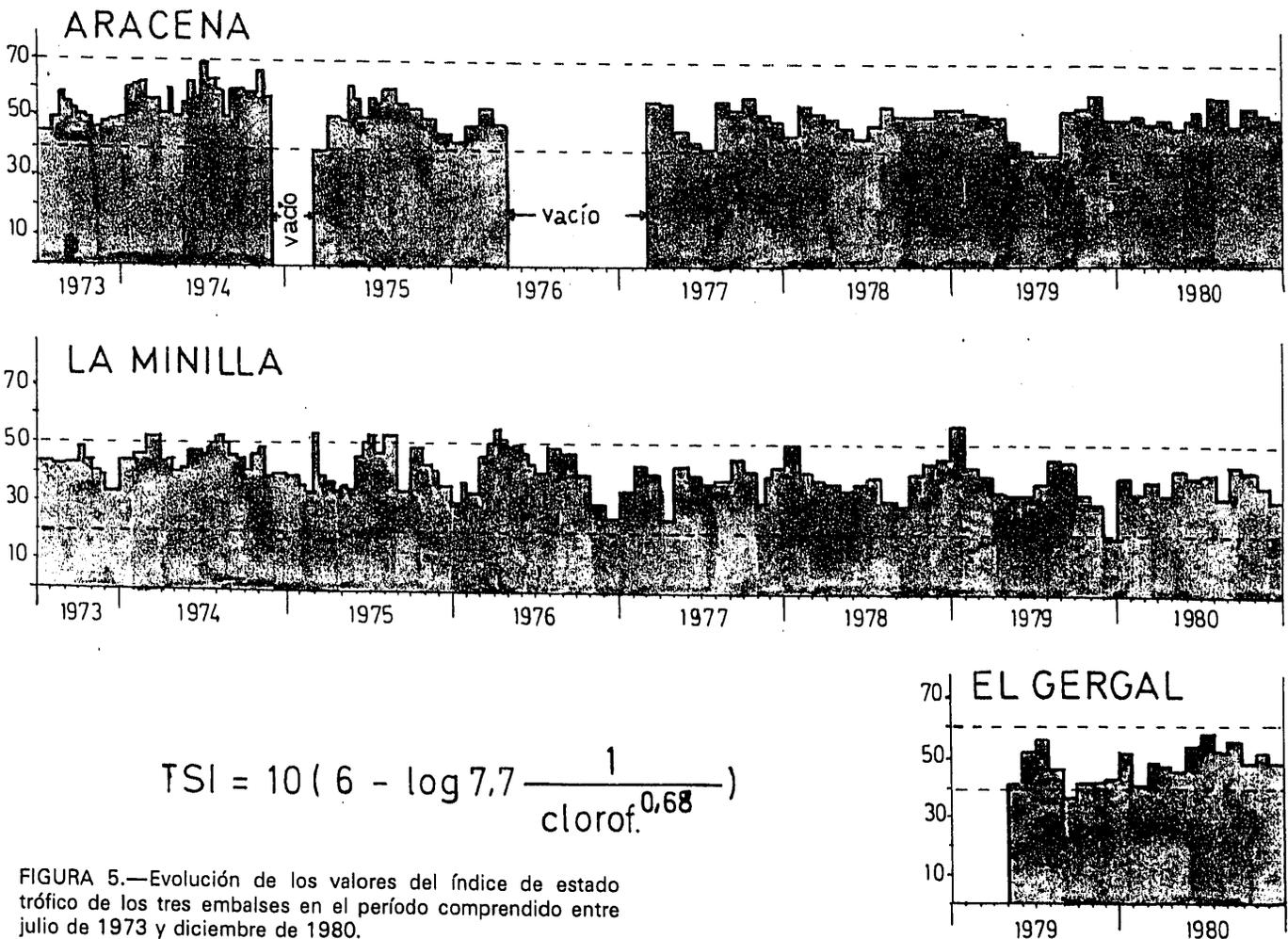


FIGURA 5.—Evolución de los valores del índice de estado trófico de los tres embalses en el período comprendido entre julio de 1973 y diciembre de 1980.

De forma natural, el grado de eutrofia de los embalses está regido en primer lugar por la concentración de nutrientes (nitrógeno y fósforo, principalmente) y por la capacidad de inmovilización de los mismos que tengan las distintas clases de agua (Margalef et al., 1976). Pero en este tipo de ecosistemas inestables, que tienen una tasa de renovación no sólo más alta que los lagos, sino variable a lo largo del tiempo, este factor puede condicionar también el nivel de eutrofia.

En la gestión de los embalses destinados a diversas aplicaciones, pero en especial a los que se emplean como fuente de abastecimiento de agua potable, la consecución de un grado de eutrofia bajo siempre será beneficiosa. Las condiciones «naturales» de un embalse se pueden modificar en varios sentidos:

1. La retirada de la vegetación del vaso inundable antes de la primera embalsada puede contribuir al descenso de nutrientes en el agua.
2. El mantenimiento de condiciones aeróbicas en el fondo de los embalses contribuye a mantener inmovilizados buena parte de los nutrientes, en especial fósforo, además de impedir la solubilización de hierro y manganeso en el agua, que, frecuentemente, producen problemas de color en las aguas potables. Asimismo, aumentan el volumen de agua útil para la vida de los peces, por lo que disminuye el riesgo de muerte de los mismos, con la consiguiente eutrofización secundaria. La distribución en cadena de los embalses puede facilitar este mecanismo, ya que bastan pequeñas cantidades de agua de los embalses superiores para oxigenar el hipolimnion de los inferiores.
3. La posibilidad de aumentar la tasa de renovación del agua efectiva para el fitoplancton constituye una presión de explotación sobre éste que determina un descenso en la densidad de la población total, con lo que disminuye el grado de eutrofia.

Secundariamente, al descender la población total y ser evacuada del embalse una buena proporción de la materia orgánica producida en él, se impide la sedimentación de la misma. La materia orgánica a mine-

ralizar en el fondo será menor, con lo que disminuye la demanda de oxígeno y la reserva de nutrientes para el año siguiente.

Este tipo de manejo se puede realizar con la construcción de torres de toma de agua a distintas profundidades que permiten seleccionar en cada momento la capa de agua más interesante.

BIBLIOGRAFIA

- BARABAS, S. (1981): «L'eutrophisation peut être enrayée». *Bull. de la qualité des eaux*. Vol. VI (4): 59.
- CAMPBELL, P. G.; BOBEE, B.; CAILLE, A.; DELMAS, M. J.; SASSEVILLE, J. L. y VISSER, S. A. (1975): «Pre-impoundment site preparation: A study of the effects of topsoil stripping on reservoir water quality». *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 19 (3): 1768-1777.
- GRUPO DE ANALISIS AMBIENTAL. UNIVERSIDAD DE SEVILLA (1973): *Terrestrial ecosystems adjacent to large reservoirs. Ecological survey and impact diagnosis*. IX Congress Internat. Comm. Large Dams. Publ. D. G. Obras Hidráulicas. M.O.P. Madrid, 39 pp.
- MARGALEF, R.; PLANAS, D.; ARMENGOL, J.; VIDAL, A.; PRAT, N.; TOJA, J., y ESTRADA, M. (1976): *Limnología de los embalses españoles*. Dept. Ecología. Univ. Barcelona. Publicaciones D. G. Obras Públicas. M.O.P. Madrid.
- MORTIMER, C. H. (1969): *Eutrophication: Causes, consequences, correctives*. National Academy of Sciences. Washington D.C.
- SHAPIRO, J.; LUNDQUIST, J. B., y CARLSON, R. E. (1975): «Involving to public in Limnology and approach to communication». *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 19 (2): 867-874.
- TOJA, J. (1976): *Limnología comparada de dos embalses con distinto grado de eutrofia (Aracena y La Minilla)*. Tesis doctoral. Univ. de Barcelona.
- TOJA, J. (1980): «Limnología del embalse de La Minilla durante 1976. I. Ciclo del fitoplancton en relación con los factores del medio». *Oecología acuática*, 4: 71-88.
- TOJA, J.; GONZALEZ-FULL, J. A., y RAMOS, D. (1981): «Evolución del embalse de El Gergal (Sevilla) en sus dos primeros años de vida». *Simposio del agua en Andalucía*. Vol. I: 167-181.
- TOJA, J.; GONZALEZ-RULL, J. A., y RAMOS, D. (en prensa): «Pytoplankton succession in Aracena, La Minilla and El Gergal reservoir (Huelva-Sevilla, Spain)». *IWSA Special Conf. "Eutrophication and Water Supply"*. Viena. Octubre 1981.
- VALLENTYNE, J. R. (1978): *Introducción a la limnología (los lagos y el hombre)*. Ed. Omega. Barcelona.
- VOLLENWEIDER, R. A. (1981): «L'eutrophisation: problème mondial». *Bull. de la qualité des eaux*. Vol. VI (3): 59-63.