

---

Diciembre de 2003

---

---

## SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS EN EMBALSES DE ZONAS SENSIBLES

---

*EMBALSE DE CASPE*

---

**ÍNDICE**

|  | <u>Página</u> |
|--|---------------|
| <b>1. INTRODUCCIÓN</b>   | <b>1</b>      |
| <b>2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EMBALSE Y DE LA CUENCA VERTIENTE</b>         | <b>1</b>      |
| 2.1. Características morfométricas e hidrológicas                          | 1             |
| <b>3. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS</b>                           | <b>4</b>      |
| <b>4. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL</b>                               | <b>4</b>      |
| 4.1. Características físico-químicas de las aguas                          | 4             |
| 4.2. Hidroquímica del embalse  | 7             |
| 4.3. Concentración de pigmentos fotosintetizadores y productores primarios | 9             |
| 4.3.1. Calidad bioindicadora   | 10            |
| <b>5. DIAGNÓSTICO DEL GRADO TRÓFICO</b>                                    | <b>12</b>     |
| <b>6. DEFINICIÓN DEL POTENCIAL ECOLÓGICO</b>                               | <b>13</b>     |
| <br>   |               |
| <b>ANEXO I: RESULTADOS FÍSICO QUÍMICOS</b>                                 |               |
| <b>REPORTAJE FOTOGRÁFICO</b>   |               |

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente documento recoge los resultados de los trabajos realizados en el embalse de Caspe la interpretación de los mismos, con una disposición temática similar para los 12 casos tratados, a efectos de proporcionar una referencia fija que facilite la consulta y explotación de la información contenida en ellos.

Los datos analíticos se integran en su apartado correspondiente y se presenta un texto conciso que permita una ágil y rápida consulta del documento. Al final del documento se presentan los datos físico-químicos (Anexo I), así como un reportaje fotográfico que refleja el estado del embalse en el momento del muestreo.

En apartados sucesivos se comentan los siguientes aspectos:

- Resultados del estudio en el embalse (FASE DE CARACTERIZACIÓN) de todos los aspectos tratados (hidráulicos, físico-químicos y biológicos), que culminan en el diagnóstico del grado trófico.
- Aproximación a la definición del "*Potencial Ecológico*", tras la aplicación de indicadores biológicos, físico-químicos e hidromorfológicos propuestos en la Directiva Marco de Aguas.

## 2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EMBALSE Y DE LA CUENCA VERTIENTE

### 2.1. Características morfométricas e hidrológicas

El embalse de Caspe, cuya presa fue terminada en 1.988, se sitúa en la localidad de Caspe, en la provincia de Zaragoza. Regula principalmente las aguas del río Guadalupe, aunque también las de otros arroyos de menor entidad y carácter intermitente, como son: Val de la Estremera, Val Comuna, Val de Jerique, Val de Fardachos y Val de las Arribas, por margen derecha y Val Blanca, Val de Prior, Val de Sedante y Val de Faltreñas, por margen izquierda.

---

Se trata de un embalse de moderadas dimensiones que, sin grandes variaciones morfológicas en el eje longitudinal, presenta una amplia ensenada por margen izquierda en las proximidades de la presa.

Las aguas del embalse se destinan principalmente al riego y al abastecimiento, siendo el principal usuario la comunidad de Regantes del Civán. Debido al alejamiento del embalse de las vías de comunicación más frecuentadas, las actividades recreativas se ven limitadas, siendo la pesca la única actividad destacable.

La cuenca vertiente al embalse de Caspe tiene una superficie total de 370.500 ha, de las cuales 27.400 ha corresponden a la cuenca vertiente del embalse de Calanda.

El embalse tiene una extensión de 638 ha en su máximo nivel normal, una capacidad total de 81,62 hm<sup>3</sup>, volumen que se corresponde con su capacidad útil. Tiene una profundidad media de 12,7 m, mientras que la profundidad máxima es de 46 m. En el momento del muestreo (3/9/2003) el embalse se encontraba unos 3 metros por debajo de la cota máxima. En el *cuadro 1* se presentan las características morfométricas del embalse y de las subcuencas.

**Cuadro 1: Características morfométricas del embalse y subcuencas**

|  |                   |
|--|-------------------|
| Superficie de la cuenca total (ha)                 | 370.500           |
| Superficie de la cuenca parcial (ha)               | 96.500            |
| Superficie de la subcuenca de escorrentía (ha)     | 11.970            |
| Superficie del embalse (ha)                        | 638               |
| Longitud máxima del embalse (km)                   | 13                |
| Capacidad total (hm <sup>3</sup> )                 | 81,62             |
| Capacidad útil (hm <sup>3</sup> )                  | 81,62             |
| Profundidad máxima (m)                             | 46                |
| Profundidad media (m)                              | 12,7              |
| Perímetro en máximo nivel (km)                     | 40                |
| Cota máximo nivel embalsado (msnm)                 | 230               |
| Cota(s) de la toma(s) de agua principal(es) (msnm) | 222,5; 197; 186,9 |

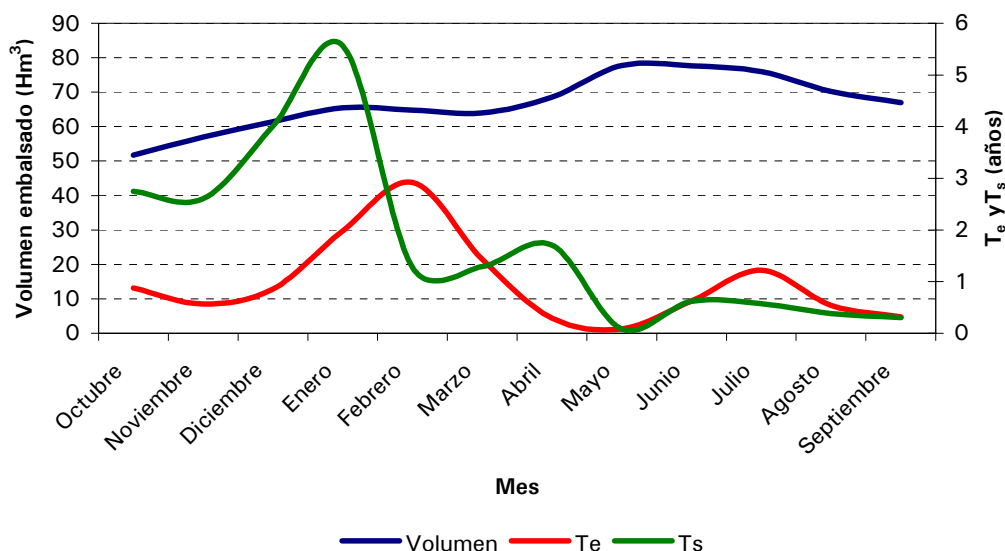
El día de la realización de los trabajos de campo se detecta una leve termoclina entre los 8 y 13 m de profundidad, por su parte la capa fótica ronda los 6 metros de espesor.

En el *cuadro II* se presentan las medias mensuales de la explotación hidráulica correspondiente al año hidrológico 2002-2003.

**Cuadro II: Parámetros hidráulicos mensuales**

| <b>BALANCE HIDRÁULICO MENSUAL</b> |                       |                        |                         |             |             |
|-----------------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|-------------|-------------|
| <b>Periodo</b>                    | <b>Volumen</b>        | <b>Salidas totales</b> | <b>Entradas Totales</b> | <b>Ts</b>   | <b>Te</b>   |
| <b>2002-2003</b>                  | <b>Hm<sup>3</sup></b> | <b>Hm<sup>3</sup></b>  | <b>Hm<sup>3</sup></b>   | <b>años</b> | <b>años</b> |
| <b>Octubre</b>                    | 51,75                 | 1,60                   | 5,00                    | 2,75        | 0,88        |
| <b>Noviembre</b>                  | 57,00                 | 1,80                   | 8,30                    | 2,60        | 0,56        |
| <b>Diciembre</b>                  | 61,40                 | 1,30                   | 6,10                    | 4,01        | 0,85        |
| <b>Enero</b>                      | 65,50                 | 1,00                   | 2,80                    | 5,56        | 1,99        |
| <b>Febrero</b>                    | 64,75                 | 3,90                   | 1,70                    | 1,27        | 2,92        |
| <b>Marzo</b>                      | 64,00                 | 4,20                   | 3,80                    | 1,29        | 1,43        |
| <b>Abril</b>                      | 68,50                 | 3,30                   | 19,10                   | 1,71        | 0,29        |
| <b>Mayo</b>                       | 77,75                 | 76,80                  | 76,40                   | 0,09        | 0,09        |
| <b>Junio</b>                      | 77,60                 | 10,30                  | 10,20                   | 0,62        | 0,63        |
| <b>Julio</b>                      | 76,00                 | 11,30                  | 5,30                    | 0,57        | 1,22        |
| <b>Agosto</b>                     | 70,25                 | 15,70                  | 11,10                   | 0,38        | 0,54        |
| <b>Septiembre</b>                 | 67,00                 | 18,00                  | 17,40                   | 0,31        | 0,32        |
| <b>Total anual</b>                | <b>66,79</b>          | <b>149,20</b>          | <b>167,20</b>           | <b>0,45</b> | <b>0,40</b> |

El tiempo de residencia del agua es moderado, en torno a 5 meses. El mínimo se obtiene en el mes de mayo (0,09 años) y el máximo en enero (5,56 años), en ambos casos considerando los caudales detraídos.

**Figura 1: Volumen embalsado y tiempo de retención del agua**

### 3. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

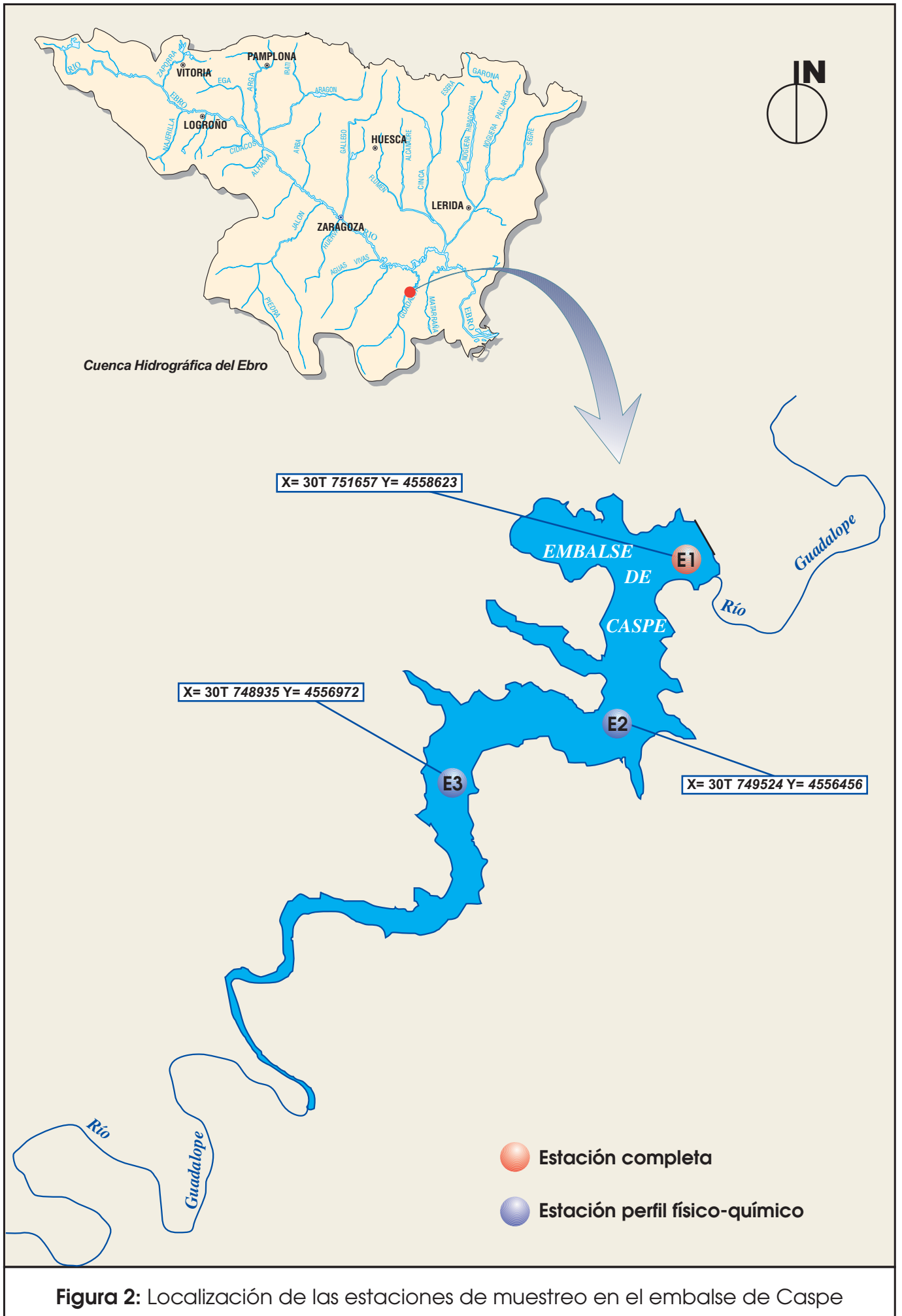
En el embalse se han fijado tres estaciones de muestreo para cubrir la heterogeneidad espacial de la masa de agua: una ubicada en las inmediaciones de la presa (E1), otra en la zona intermedia del embalse, a unos 4 km de presa (E2) y, por último, la tercera estación (E3) ubicada en la cola del embalse (*ver Figura 2*).

### 4. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

#### 4.1. Características físico-químicas de las aguas

Los resultados físico-químicos de la campaña de muestreo realizada el día 3/09/2003 se presentan en el Anexo I. Del comportamiento observado se desprenden las siguientes apreciaciones:

- La temperatura del agua es moderada, oscilando entre los 25°C en superficie y los 18°C en fondo. La columna de agua no presenta una termoclina bien definida, no obstante, entre 9 y 13 metros de profundidad, se aprecia un leve gradiente térmico. Ésta situación es típica del finales del estío e indica el inicio de la desestratificación térmica del embalse.

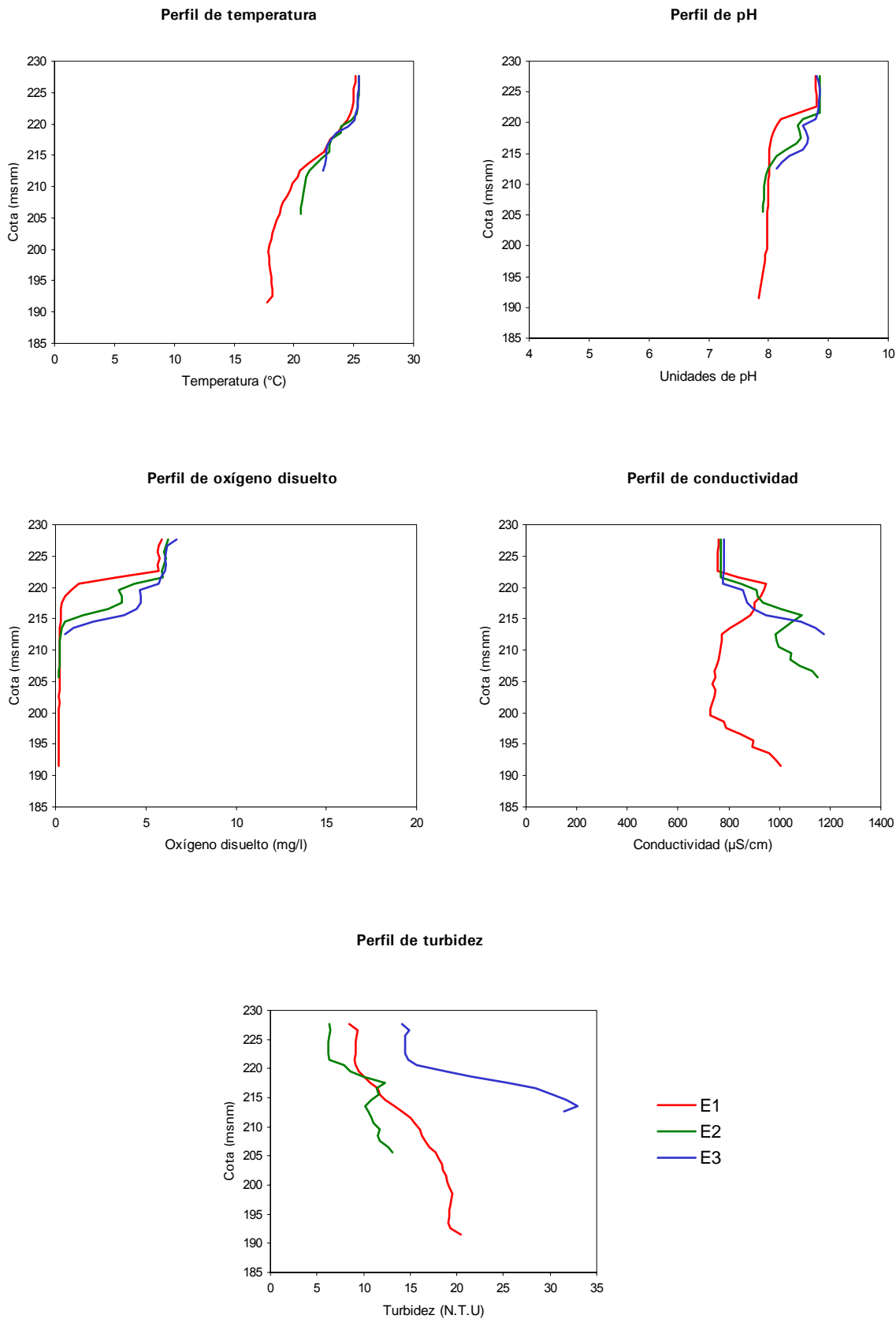


**Figura 2:** Localización de las estaciones de muestreo en el embalse de Caspe

- El pH del agua es ligeramente básico en todo el embalse, registrándose el máximo valor en la estación E2 (8,86 ud) a 3 metros de profundidad. El mínimo (7,84 ud) se registra en los estratos más profundos de la estación E1.
- La transparencia del agua es moderada, alcanzando los 3,5 m en la estación E1, lo que supone una profundidad de la capa fótica de 5,9 m. La lectura de disco de Secchi disminuye progresivamente hacia la cola del embalse, registrándose el mínimo en la estación de cola (E3) con un valor de 1,9 m. La turbidez es moderada y aumenta ostensiblemente hacia la cola del embalse. Los registros obtenidos, ligeramente altos para los rangos conocidos en el embalse, se encuentran condicionados por las lluvias acaecidas en la zona antes de la realización del muestreo.
- Se han detectado condiciones anóxicas en todas las estaciones de muestreo, disminuyendo el grosor de la capa anóxica a medida que se avanza en dirección a la cola de embalse. Es en la estación -E3- representativa de esta zona donde tan sólo en los dos últimos metros presentan registros menores a 1 mg O<sub>2</sub>/l.
- La conductividad de las aguas es alta y oscila entre los 728 -mínimo- y 1.176  $\mu$ S/cm –máximo-. Los valores se encuentran dentro de los valores históricos de este ámbito.



**Figura 3: Perfiles físico-químicos del embalse**



#### 4.2. Hidroquímica del embalse

- Las concentraciones de nutrientes son de moderados a bajos, siguiendo la tónica general de este embalse. Los máximos de fósforo se obtienen en la muestra de fondo, con unos valores de 0,018 y 0,014 mg P/l para el fósforo total y los ortofosfatos, respectivamente. Entre los compuestos nitrogenados destacan las concentraciones de nitratos, con un máximo a media profundidad de 0,69 mg N/l. Es el componente principal del nitrógeno inorgánico, representando el 79,5% del total. Por su parte, las concentraciones de nitritos, registradas en superficie y fondo, superan ligeramente el umbral establecido para vida piscícola de tipo ciprinícolas ( $\leq 0,03$  mg  $\text{NO}_2/\text{l}$ ).
- Las concentraciones de metales evaluados en fondo (hierro, manganeso, cobre, y zinc disuelto) se encuentran por debajo de sus correspondientes umbrales para los requerimientos de calidad A1.
- El contenido de materia orgánica obtenido en superficie es moderado, con unos valores de 1,2 y 16,2 mg  $\text{O}_2/\text{l}$  para la  $\text{DBO}_5$  y DQO.
- Las aguas embalsadas presentan una alta mineralización y una elevada concentración de calcio (105,4 mg Ca/l).

Cuadro III: *Resultados químicos*

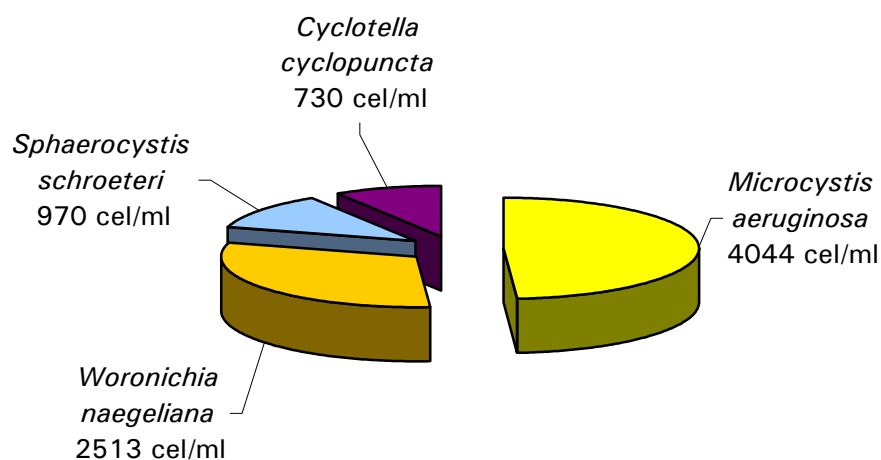
| <b>EMBALSE:</b>                     | <b>CASPE</b>                        | <b>CÓDIGO:</b> | <b>CP1</b>        |            |
|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------|-------------------|------------|
| <b>CAMPAÑA:</b>                     | <b>1</b>                            | <b>FECHA:</b>  | <b>03/09/2003</b> |            |
| <b>COTA MÁXIMA:</b>                 | <b>230</b>                          | <b>NIVEL:</b>  | <b>228</b>        |            |
| <b>CÓDIGO DEL PUNTO DE MUESTREO</b> |                                     |                |                   |            |
| <b>PARÁMETRO</b>                    | <b>UNIDAD</b>                       | <b>E1S</b>     | <b>E1M</b>        | <b>E1F</b> |
| PROFUNDIDAD                         | m                                   | 0-7            | 18                | 35         |
| COTA                                | msnm                                | 228-221        | 210               | 193        |
| SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN               | mg/l                                | < 2,4          |                   |            |
| ALCALINIDAD TOTAL                   | mg CO <sub>3</sub> Ca/l             | 120,5          |                   |            |
| DBO <sub>5</sub>                    | mg O <sub>2</sub> /l                | 1,2            |                   |            |
| DQO                                 | mg O <sub>2</sub> /l                | 16,2           |                   |            |
| FÓSFORO TOTAL                       | mg P/l                              | 0,009          | 0,018             | 0,018      |
| FOSFATOS                            | mg PO <sub>4</sub> <sup>3</sup> /l  | 0,015          | 0,014             | 0,042      |
| FOSFATOS                            | mg P/l                              | 0,005          | 0,005             | 0,014      |
| NITRÓGENO KJELDAHL                  | mg N/l                              | 1,23           | 0,95              | 1,14       |
| AMONIO TOTAL                        | mg NH <sub>4</sub> /l               | 0,06           | 0,16              | 0,27       |
| AMONIO TOTAL                        | mg N/l                              | 0,05           | 0,12              | 0,21       |
| NITRÓGENO ORGÁNICO                  | mg N/l                              | 1,18           | 0,82              | 0,93       |
| NITRATOS                            | mg NO <sub>3</sub> /l               | 2,53           | 3,06              | 1,90       |
| NITRATOS                            | mg N/l                              | 0,57           | 0,69              | 0,43       |
| NITRITOS                            | mg NO <sub>2</sub> /l               | 0,149          | 0,092             | 0,238      |
| NITRITOS                            | mg N/l                              | 0,045          | 0,028             | 0,072      |
| N INORGÁNICO                        | mg N/l                              | 0,66           | 0,84              | 0,71       |
| CALCIO                              | mg Ca/l                             | 105,4          |                   |            |
| MAGNESIO DISUELTO                   | mg Mg/l                             | 30,5           |                   |            |
| SODIO                               | mg Na/l                             | 16,2           |                   |            |
| POTASIO                             | mg K/l                              | 4,2            |                   |            |
| CLORUROS                            | mg Cl/l                             | 21,0           |                   |            |
| SULFATOS                            | mg SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> /l | 94,3           |                   |            |
| HIERRO DISUELTO                     | mg Fe/l                             |                |                   | 0,070      |
| MANGANESO DISUELTO                  | mg Mn/l                             |                |                   | 0,047      |
| COBRE DISUELTO                      | mg Cu/l                             |                |                   | <0,024     |
| ZINC DISUELTO                       | mg Zn/l                             |                |                   | <0,018     |
| SÍLICE                              | mg SiO <sub>2</sub> /l              | 1,92           |                   |            |
| CLOROFILA a                         | µg/l                                | 13,2           |                   |            |

### 4.3. Concentración de pigmentos fotosintetizadores y productores primarios

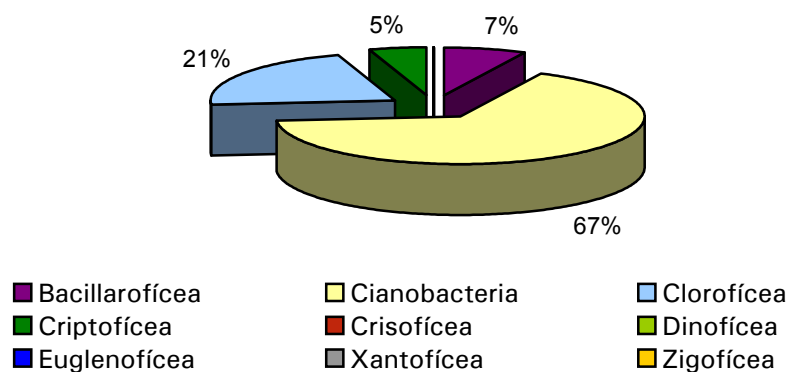
El análisis cuantitativo de la muestra recogida en Caspe ha dado como resultado la identificación de un total de 29 especies, distribuidas entre los siguientes grupos taxonómicos:

- ◆ 3 bacilarofíceas
- ◆ 11 clorofíceas
- ◆ 2 zigofíceas
- ◆ 2 cianobacterias
- ◆ 6 dinofíceas
- ◆ 1 euglenoficea
- ◆ 4 criptofíceas

**Figura 4:** Distribución de densidad (cel/ml) entre las especies más representativas.

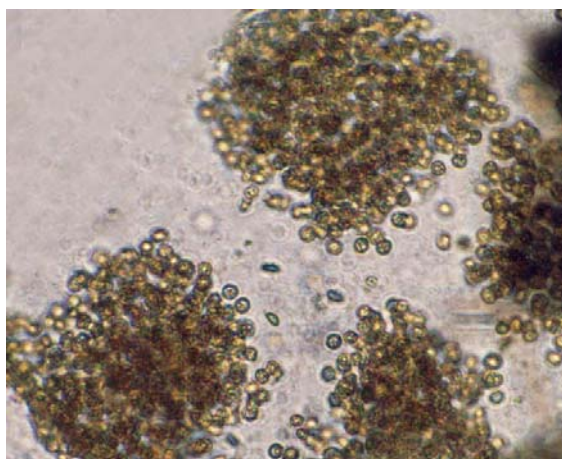


El embalse de Caspe presenta una densidad fitoplanctónica elevada al término de la época estival –10.050 cel/ml-. La mayoría de la población pertenece a las cianobacterias, siendo *Microcystis aeruginosa* claramente dominante. La principal especie acompañante es otra cianobacteria chroococcal *Woronichia naegeliana*. El siguiente grupo en abundancia son las clorofíceas, entre las que destaca *Sphaerocystis schroeteri*. La ausencia de grandes diferencias en la distribución de densidades determina el elevado valor del índice de diversidad de especies Shannon-Weaver estimado –2,60 bits-.

**Figura 5: Distribución de la comunidad algal por clases taxonómicas**

#### 4.3.1. Calidad bioindicadora

Durante el final del estío el embalse de Caspe presenta una comunidad fitoplanctónica caracterizada por la fuerte dominancia de las cianobacterias chroococcales *Microcystis aeruginosa* y *Woronichia naegeliana*. Estas especies tienen una serie de características que las hacen más competitiva en medios con baja disponibilidad de nutrientes aunque no posean células especializadas en capturar nitrógeno atmosférico. La primera especie es característica de medios eutróficos en momentos de escasez de nutrientes y la segunda caracteriza medios mesotróficos templados al término del período estival. El resto de especies que forman la asociación algal estudiada son indicadoras de aguas mesotróficas como *Sphaerocystis schroeteri* o la diatomea *Cyclotella cyclopuncta*. La biomasa cuantificada como clorofila *a* -13,16 µg/l- tiene una buena correlación con la densidad algal -10.050 cel/ml-.



*Microcystis aeruginosa*

Cuadro IV: Resultados biológicos

|                                  |                 |   |                   |
|----------------------------------|-----------------|---|-------------------|
| <b>EMBALSE:</b>                  | <b>CASPE</b>    | <b>CÓDIGO:</b>                          | <b>CP</b>         |
| <b>CAMPAÑA:</b>                  | <b>1</b>        | <b>FECHA:</b>                           | <b>03/09/2003</b> |
| <b>COTAMAX:</b>                  | <b>230</b>      | <b>D. SECCHI:</b>                       | <b>3,48</b>       |
| <b>NIVEL:</b>                    | <b>228</b>      | <b>C.FÓTICA:</b>                        | <b>5,92</b>       |
| <b>PARÁMETRO</b>                 | <b>UNIDAD</b>   | <b>CÓDIGO DEL PUNTO DE MUESTREO EIS</b> |                   |
| <b>PROFUNDIDAD</b>               | <b>m</b>        | <b>0,5-7</b>                            |                   |
| <b>COTA</b>                      | <b>msnm</b>     | <b>228-221</b>                          |                   |
| <b>CLOROFILA a</b>               | <b>µg/l</b>     | <b>13,16</b>                            |                   |
| Individuos totales               | n° cel/ml       | 10.050                                  |                   |
| Diversidad (H)                   | Bits            | 2,60                                    |                   |
| Clase BACILLARIOFICEA            | n° cel/ml       | 735                                     |                   |
| Grupo CIANOBACTERIA              | n° cel/ml       | 6.667                                   |                   |
| Clase CLOROFICEA                 | n° cel/ml       | 2.156                                   |                   |
| Clase CRIFTOFICEA                | n° cel/ml       | 480                                     |                   |
| Clase CRISOFICEA                 | n° cel/ml       | 0                                       |                   |
| Clase DINOFICEA                  | n° cel/ml       | 6                                       |                   |
| Clase EUGLENOFICEA               | n° cel/ml       | 1                                       |                   |
| Clase XANTOFICEA                 | n° cel/ml       | 0                                       |                   |
| Clase ZIGOFICEA                  | n° cel/ml       | 5                                       |                   |
| <b>ESPECIES</b>                  | <b>TAXÓN</b>    | <b>n° cel/ml</b>                        |                   |
| <i>Cyclotella cyclopuncta</i>    | Bacillariofícea | 730                                     |                   |
| <i>Nitzschia acicularis</i>      | Bacillariofícea | 2                                       |                   |
| <i>Nitzschia palea</i>           | Bacillariofícea | 3                                       |                   |
| <i>Anabaena sp.</i>              | Cianobacteria   | 19                                      |                   |
| <i>Aphanizomenon gracile</i>     | Cianobacteria   | 9                                       |                   |
| <i>Chroococcus turgidus</i>      | Cianobacteria   | 16                                      |                   |
| <i>Merismopedia elegans</i>      | Cianobacteria   | 66                                      |                   |
| <i>Microcystis aeruginosa</i>    | Cianobacteria   | 4.044                                   |                   |
| <i>Woronichia naegeliana</i>     | Cianobacteria   | 2.513                                   |                   |
| <i>Ankistrodesmus acicularis</i> | Clorofícea      | 12                                      |                   |
| <i>Closterium acutum</i>         | Zigofícea       | 3                                       |                   |
| <i>Coelastrum microporum</i>     | Clorofícea      | 9                                       |                   |
| <i>Coelastrum reticulatum</i>    | Clorofícea      | 56                                      |                   |
| <i>Crucigenia quadrata</i>       | Clorofícea      | 42                                      |                   |
| <i>Crucigeniella crucifera</i>   | Clorofícea      | 14                                      |                   |
| <i>Kirchneriella obesa</i>       | Clorofícea      | 28                                      |                   |
| <i>Oocystis sp.</i>              | Clorofícea      | 498                                     |                   |
| <i>Pediastrum clathratum</i>     | Clorofícea      | 9                                       |                   |
| <i>Planctonema lauterbonii</i>   | Clorofícea      | 516                                     |                   |
| <i>Scenedesmus quadricauda</i>   | Clorofícea      | 2                                       |                   |
| <i>Sphaerocystis Schroeteri</i>  | Clorofícea      | 970                                     |                   |
| <i>Cryptomonas erosa</i>         | Criptofícea     | 55                                      |                   |
| <i>Cryptomonas marssonii</i>     | Criptofícea     | 57                                      |                   |
| <i>Cryptomonas ovata</i>         | Criptofícea     | 56                                      |                   |
| <i>Rhodomonas minuta</i>         | Criptofícea     | 312                                     |                   |
| <i>Ceratium hirundinella</i>     | Dinofícea       | 1                                       |                   |
| <i>Peridinium inconspicuum</i>   | Dinofícea       | 5                                       |                   |
| <i>Staurastrum sp.</i>           | Zigofícea       | 2                                       |                   |
| <i>Euglena sp.</i>               | Euglenofícea    | 1                                       |                   |

## 5. DIAGNÓSTICO DEL GRADO TRÓFICO

En función de la variedad de índices que se plasma en el *cuadro V*, se puede catalogar al embalse de Caspe, como **mesotrófico**.

Prácticamente la totalidad de los índices contrastados sitúan al embalse en niveles de mesotrofia, a excepción de la transparencia y la clorofila que, cuando evalúan medias anuales, situarían las aguas en rango de eutrófia.

**Cuadro V: Catalogación del grado trófico del embalse según los diferentes índices**

| Índice                   | Definición criterio                          | Rango                         | Septiembre 2003 |                    |
|--------------------------|--|-------------------------------|-----------------|--------------------|
|                          |  |                               | Valor           | Grado Trófico      |
| EPA (1976)               | <i>PT (ug/l); media anual</i>                | < 10-MESO-20 >                | 15              | <b>MESOTRÓFICO</b> |
| EPA (Weber, 1976)        | <i>N° células algales/ml</i>                 | < 2000-MESO-15000 >           | 10.050          | <b>MESOTRÓFICO</b> |
| EPA (Weber, 1976)        | <i>Clorofila (ug/l); máx. fót.</i>           | < 3-MESO-20 >                 | 13,2            | <b>MESOTRÓFICO</b> |
| Lee, Jones & Rast (1978) | <i>Clorofila (ug/l); media anual</i>         | < 2,1- 3 - 6,7 -10 >          | 13,2            | <b>EUTRÓFICO</b>   |
| Lee, Jones & Rast (1978) | <i>PT (ug/l); media anual</i>                | < 8- 12 - 28 -40 >            | 15              | <b>MESOTRÓFICO</b> |
| Lee, Jones & Rast (1978) | <i>SDT (m); media anual</i>                  | < 1,8- 2,4 - 3,8 -4,6 >       | 2,8             | <b>MESOTRÓFICO</b> |
| Margalef (1983)          | <i>N° células algales/ml</i>                 | 5000 (lím. eut.avan.-mod.)    | 10.050          | <b>E. AVANZADA</b> |
| Margalef (1983)          | <i>Clorofila (ug/l); anual fót.</i>          | 5 (lím. eut.avan.-mod.)       | 13,2            | <b>E. AVANZADA</b> |
| Margalef (1983)          | <i>PT (ug/l); media anual</i>                | 15 (lím. eut.avan.-mod.)      | 15              | <b>E. AVANZADA</b> |
| Margalef (1983)          | <i>NO<sub>3</sub>-N (ug/l); media anual</i>  | 140 (lím. eut.avan.-mod.)     | 564             | <b>E. AVANZADA</b> |
| Margalef (1983)          | <i>SDT (m); media anual</i>                  | 3 (lím. eut.avan.-mod.)       | 2,8             | <b>E. AVANZADA</b> |
| OCDE (1980)              | <i>Clorofila (ug/l); anual fót.</i>          | < 1; < 2.5;2.5-8;8-25; > 25   | 13,2            | <b>EUTRÓFICO</b>   |
| OCDE (1980)              | <i>Clorofila (ug/l); máx. anual</i>          | < 2.5; < 8;8-25;25-75; > 75   | 13,2            | <b>MESOTRÓFICO</b> |
| OCDE (1980)              | <i>PT (ug/l); media anual</i>                | Uol. < 4-10-35-100 > Heu.     | 15              | <b>MESOTRÓFICO</b> |
| OCDE (1980)              | <i>SDT (m); media anual</i>                  | > 12; > 6;;6-3;3-1.5; < 1.5   | 2,8             | <b>EUTRÓFICO</b>   |
| OCDE (1980)              | <i>SDT (m); mínimo anual</i>                 | > 6; > 3;3-1.5;1.5-0.7; < 0.7 | 1,9             | <b>MESOTRÓFICO</b> |
| TSI (Carlson, 1974): DST | <i>TSI= 10(6-log2(DST))</i>                  | Uol. < 20-40-60-80 > Heu.     | 45              | <b>MESOTRÓFICO</b> |
| TSI (Carlson, 1974): CLA | <i>10(6-log2 7,7(1/Cl<sup>a</sup>^0,68))</i> | Uol. < 20-40-60-80 > Heu.     | 56              | <b>MESOTRÓFICO</b> |
| TSI (Carlson, 1974): PT  | <i>TSI= 10(6-log2(54,9/PT))</i>              | Uol. < 20-40-60-80 > Heu.     | 41              | <b>MESOTRÓFICO</b> |

## 6. DEFINICIÓN DEL POTENCIAL ECOLÓGICO

Se ha establecido la clasificación del potencial ecológico teniendo en cuenta los indicadores biológicos, físico-químicos e hidromorfológicos incluidos en el Anexo V de la Directiva Marco. Sobre el total de elementos propuestos -ver justificación en la Memoria del Estudio-, se han utilizado los que se presentan en la siguiente tabla.

| <b>Indicadores biológicos</b>                               |
|---|
| Densidad algal, media anual (cel/ml)                        |
| Biomasa algal, Cla a ( $\mu\text{g/l}$ ); anual capa fótica |
| Biomasa algal, Cla a ( $\mu\text{g/l}$ ); máx anual         |
| Cianofíceas tóxicas; máx anual (cel/ml)                     |
| <b>Indicadores físico-químicos</b>                          |
| Transparencia (SDT; media anual en m)                       |
| Transparencia (SDT; mínimo anual en m)                      |
| Condiciones de oxigenación en el hipolimnion (mg/l)         |
| Concentración de PT: media anual ( $\mu\text{g/l}$ )        |
| <b>Indicadores hidromorfológicos</b>                        |
| Variación de volumen (%)                                    |

Atendiendo a estos indicadores, el potencial ecológico definido expresa de forma integrada la diferencia existente entre los valores de los indicadores biológicos, hidromorfológicos y físico-químicos evaluados, frente a los valores que, para estos mismos indicadores, se han establecido en las condiciones de referencia.

La asignación global del potencial ecológico se ha realizado teniendo en cuenta la **categoría más baja** (Anexo V de la DMA) obtenida para los distintos grupos de indicadores, con la salvedad de aquellas situaciones en las que matizaciones justificadas permiten decantarse hacia una categoría de mayor calidad.



Las distintas fases seguidas en la categorización se sintetizan en los *cuadros VI y VII*. En el primero se presentan los umbrales de referencias empleados para la valoración de los distintos elementos considerados; para en el segundo plasmar, mediante un código de colores, la categoría en la que se encuadra un determinado indicador.

**Cuadro VI: Condiciones de referencia empleados en la asignación del potencial ecológico**

| Indicadores biológicos                           | Referencia                 | CLASES DEL POTENCIAL ECOLÓGICO |                                  |                                   |                   |
|--|----------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------|
|  |                            | Óptimo                         | Bueno                            | Aceptable                         | Deficiente /Malo  |
| Densidad algal, media anual (cel/ml)             | EPA ,1976<br>Margalef,1983 | < 5000                         | 5000-15.000                      | > 15.000                          | > 15.000          |
| Biomasa algal, Cla a (µg/l); anual capa fótica   | OCDE, 1982                 | < 2,5                          | 2,5-8                            | 8-25                              | > 25              |
| Biomasa algal, Cla a (µg/l); máx anual           | OCDE, 1982                 | < 8                            | 8-25                             | 25-75                             | > 75              |
| Cianofíceas tóxicas; máx anual (cel/ml)          | OMS/WHO                    | < 10 <sup>4</sup>              | 10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup> | 10 <sup>5</sup> - 10 <sup>6</sup> | > 10 <sup>6</sup> |
| <b>Indicadores físico-químicos</b>               |                            |                                |                                  |                                   |                   |
| Transparencia (SDT; media anual en m)            | OCDE, 1982                 | > 6                            | 6-3                              | 3-1,5                             | < 1,5             |
| Transparencia (SDT; mínimo anual en m)           | OCDE, 1982                 | > 3                            | 3-1,5                            | 1,5-0,7                           | < 0,7             |
| Condiciones de oxigenación en hipolimnion (mg/l) | JRC, 1992                  | > 6                            | 6-4                              | 4-2                               | < 2               |
| Concentración de PT: media anual (µg/l)          | OCDE, 1982                 | < 10                           | 10-35                            | 35-100                            | > 100             |
| <b>Indicadores hidromorfológicos</b>             |                            |                                |                                  |                                   |                   |
| Variación de volumen (%)                         | WRC, 1996                  | > 95                           | 95-80                            | 80-60                             | < 60              |

**Cuadro VII: Potencial ecológico del embalse según los distintos indicadores**

| Indicadores biológicos                            | Valor  | CLASES DEL POTENCIAL ECOLÓGICO |             |           |                 |
|---|--------|--------------------------------|-------------|-----------|-----------------|
|   |        | Óptimo                         | Bueno       | Aceptable | Deficiente/malo |
| Densidad algal, media anual (cel/ml)              | 10.050 |                                | 5000-15.000 |           |                 |
| Biomasa algal, Cla a (µg/l); anual capa fótica    | 13,2   |                                |             | 8-25      |                 |
| Biomasa algal, Cla a (µg/l); máx anual            | 13,2   |                                | 8-25        |           |                 |
| Cianofíceas tóxicas; máx anual (cel/ml)           | 4.053  | < 10 <sup>4</sup>              |             |           |                 |
| <b>Indicadores físico-químicos</b>                |        |                                |             |           |                 |
| Transparencia (SDT; media anual en m)             | 2,8    |                                |             | 3-1,5     |                 |
| Transparencia (SDT; mínimo anual en m)            | 1,9    |                                | 3-1,5       |           |                 |
| Condiciones de oxigenación en hipolimnion (mg/l)* | 0,21   |                                |             |           | <2              |
| Concentración de PT: media anual (µg/l)           | 15     |                                | 10-35       |           |                 |
| <b>Indicadores hidromorfológicos</b>              |        |                                |             |           |                 |
| Variación de volumen (%)                          | 81%    |                                | 95-80       |           |                 |

\*Valor medio en E1 a partir de 13 m de profundidad

En definitiva, el potencial ecológico del embalse de Caspe se establece como **BUENO**, ya que prácticamente la totalidad de los indicadores (biológicos, físico-químicos e hidromorfológicos) lo sitúan en éste rango. Por su parte, los índices que lo definen como (ACEPTABLE) se encuentran muy próximos al límite de la categoría de BUENO. No obstante, es destacable la escasa oxigenación que ha manifestado la columna de agua en su zona más profunda, situación que se ha interpretado como una consecuencia del proceso de mezcla. Este proceso en las zonas intermedias y de cola del embalse se han observado más avanzado y, en consecuencia, mejores y más homogéneas condiciones de oxigenación.

**ANEXO I: RESULTADOS FÍSICO QUÍMICOS**

**EMBALSE:** CASPE (CP) **CAMPAÑA:** 1  
**COT. MAX:** 230 **NIVEL:** 228

Estación: E1 Profundidad: 36,25  
 Fecha: 03/09/2003 Hora: 15:25  
 Disco Secchi (m): 3,48 Capa fótica (m): 5,9

| Prof.<br>m. | Cota<br>msnm | Temp<br>°C | pH<br>unid | OD<br>mg/l | OD<br>% sat. | Cond.<br>µS/cm | Redox<br>mV | T.D.S.<br>mg/l | Turbidez<br>N.T.U. |
|-------------|--------------|------------|------------|------------|--------------|----------------|-------------|----------------|--------------------|
| 0           | 228          | 25,18      | 8,79       | 5,89       | 71,17        | 759            | 272         | 486            | 8,5                |
| 1           | 227          | 25,16      | 8,78       | 5,73       | 69,21        | 759            | 270         | 486            | 9,4                |
| 2           | 226          | 25,02      | 8,79       | 5,67       | 68,31        | 758            | 269         | 485            | 9,3                |
| 3           | 225          | 24,98      | 8,80       | 5,80       | 69,83        | 757            | 268         | 484            | 9,2                |
| 4           | 224          | 24,96      | 8,81       | 5,66       | 68,12        | 757            | 268         | 484            | 9,2                |
| 5           | 223          | 24,94      | 8,81       | 5,71       | 68,70        | 756            | 268         | 484            | 9,1                |
| 6           | 222          | 24,68      | 8,50       | 3,41       | 40,85        | 840            | 272         | 536            | 9,0                |
| 7           | 221          | 24,42      | 8,20       | 1,27       | 15,15        | 946            | 278         | 607            | 9,1                |
| 8           | 220          | 24,02      | 8,13       | 0,90       | 10,65        | 939            | 280         | 604            | 9,5                |
| 9           | 219          | 23,67      | 8,09       | 0,50       | 5,88         | 927            | 280         | 593            | 10,0               |
| 10          | 218          | 23,08      | 8,05       | 0,33       | 3,84         | 900            | 281         | 575            | 10,7               |
| 11          | 217          | 22,80      | 8,03       | 0,30       | 3,47         | 903            | 281         | 578            | 11,5               |
| 12          | 216          | 22,49      | 8,02       | 0,28       | 3,22         | 884            | 281         | 566            | 11,7               |
| 13          | 215          | 21,80      | 8,01       | 0,27       | 3,06         | 847            | 281         | 554            | 12,3               |
| 14          | 214          | 21,10      | 8,01       | 0,26       | 2,91         | 806            | 280         | 517            | 13,3               |
| 15          | 213          | 20,50      | 8,01       | 0,25       | 2,77         | 774            | 280         | 495            | 14,1               |
| 16          | 212          | 20,29      | 8,01       | 0,24       | 2,64         | 771            | 279         | 493            | 15,0               |
| 17          | 211          | 19,92      | 8,00       | 0,24       | 2,62         | 770            | 278         | 493            | 15,5               |
| 18          | 210          | 19,72      | 7,99       | 0,23       | 2,51         | 766            | 277         | 490            | 16,0               |
| 19          | 209          | 19,46      | 7,99       | 0,23       | 2,49         | 760            | 276         | 485            | 16,3               |
| 20          | 208          | 19,11      | 7,99       | 0,22       | 2,37         | 753            | 275         | 483            | 16,6               |
| 21          | 207          | 18,93      | 7,99       | 0,22       | 2,36         | 745            | 273         | 477            | 17,1               |
| 22          | 206          | 18,79      | 7,98       | 0,21       | 2,25         | 746            | 272         | 477            | 17,7               |
| 23          | 205          | 18,55      | 7,98       | 0,21       | 2,23         | 737            | 271         | 471            | 18,1               |
| 24          | 204          | 18,41      | 7,98       | 0,21       | 2,23         | 747            | 270         | 478            | 18,4               |
| 25          | 203          | 18,21      | 7,98       | 0,20       | 2,11         | 742            | 269         | 475            | 18,5               |
| 26          | 202          | 18,11      | 7,97       | 0,21       | 2,21         | 735            | 267         | 470            | 18,9               |
| 27          | 201          | 17,93      | 7,97       | 0,20       | 2,10         | 728            | 266         | 466            | 19,0               |
| 28          | 200          | 17,85      | 7,97       | 0,20       | 2,10         | 729            | 266         | 471            | 19,2               |
| 29          | 199          | 17,96      | 7,95       | 0,20       | 2,10         | 781            | 265         | 500            | 19,5               |
| 30          | 198          | 17,91      | 7,94       | 0,19       | 2,00         | 790            | 263         | 506            | 19,4               |
| 31          | 197          | 18,02      | 7,92       | 0,20       | 2,11         | 847            | 260         | 543            | 19,3               |
| 32          | 196          | 18,13      | 7,90       | 0,20       | 2,11         | 896            | 265         | 571            | 19,2               |
| 33          | 195          | 18,10      | 7,89       | 0,19       | 2,00         | 894            | 248         | 572            | 19,2               |
| 34          | 194          | 18,23      | 7,87       | 0,20       | 2,12         | 959            | 238         | 611            | 19,1               |
| 35          | 193          | 18,21      | 7,85       | 0,20       | 2,12         | 986            | 220         | 632            | 19,3               |
| 36          | 192          | 17,75      | 7,84       | 0,20       | 2,10         | 1.005          | 191         | 643            | 20,4               |

**EMBALSE:** CASPE (CP) **CAMPAÑA:** 1  
**COT. MAX:** 230 **NIVEL:** 228

Estación: E2 Profundidad: 22,9  
 Fecha: 03/09/2003 Hora: 16:45  
 Disco Secchi (m): 2,98 Capa fótica (m): 5,1

| Prof.<br>m. | Cota<br>msnm | Temp<br>°C | pH<br>unid | OD<br>mg/l | OD<br>% sat. | Cond.<br>μS/cm | Redox<br>mV | T.D.S.<br>mg/l | Turbidez<br>N.T.U. |
|-------------|--------------|------------|------------|------------|--------------|----------------|-------------|----------------|--------------------|
| 0           | 228          | 25,40      | 8,85       | 6,23       | 75,58        | 767            | 219         | 491            | 6,3                |
| 1           | 227          | 25,40      | 8,85       | 6,13       | 74,37        | 767            | 219         | 491            | 6,4                |
| 2           | 226          | 25,40      | 8,85       | 5,99       | 72,68        | 767            | 219         | 491            | 6,3                |
| 3           | 225          | 25,39      | 8,86       | 6,12       | 74,24        | 767            | 220         | 491            | 6,2                |
| 4           | 224          | 25,36      | 8,85       | 6,03       | 73,11        | 767            | 220         | 491            | 6,2                |
| 5           | 223          | 25,31      | 8,85       | 5,89       | 71,35        | 768            | 221         | 491            | 6,2                |
| 6           | 222          | 25,25      | 8,85       | 5,96       | 72,12        | 768            | 222         | 491            | 6,3                |
| 7           | 221          | 24,84      | 8,57       | 4,40       | 52,86        | 849            | 227         | 540            | 7,9                |
| 8           | 220          | 23,96      | 8,49       | 3,52       | 41,62        | 910            | 230         | 581            | 8,6                |
| 9           | 219          | 23,93      | 8,52       | 3,68       | 43,48        | 914            | 230         | 585            | 9,9                |
| 10          | 218          | 23,12      | 8,54       | 3,68       | 42,83        | 934            | 231         | 606            | 12,3               |
| 11          | 217          | 22,96      | 8,47       | 2,91       | 33,78        | 1.007          | 232         | 644            | 11,4               |
| 12          | 216          | 22,97      | 8,30       | 1,51       | 17,54        | 1.087          | 235         | 696            | 11,6               |
| 13          | 215          | 22,32      | 8,14       | 0,52       | 5,96         | 1.049          | 238         | 670            | 10,8               |
| 14          | 214          | 21,84      | 8,06       | 0,33       | 3,75         | 1.018          | 238         | 652            | 10,2               |
| 15          | 213          | 21,32      | 8,00       | 0,27       | 3,04         | 983            | 237         | 639            | 10,5               |
| 16          | 212          | 21,03      | 7,96       | 0,25       | 2,80         | 989            | 237         | 632            | 10,8               |
| 17          | 211          | 20,91      | 7,95       | 0,23       | 2,57         | 999            | 234         | 639            | 11,1               |
| 18          | 210          | 20,87      | 7,93       | 0,22       | 2,45         | 1.045          | 230         | 670            | 11,7               |
| 19          | 209          | 20,72      | 7,93       | 0,22       | 2,45         | 1.044          | 227         | 668            | 11,5               |
| 20          | 208          | 20,66      | 7,92       | 0,21       | 2,33         | 1.081          | 221         | 694            | 11,7               |
| 21          | 207          | 20,60      | 7,91       | 0,20       | 2,22         | 1.130          | 213         | 723            | 12,6               |
| 22          | 206          | 20,55      | 7,91       | 0,20       | 2,22         | 1.149          | 203         | 737            | 13,1               |

**EMBALSE:** CASPE (CP) **CAMPAÑA:** 1  
**COT. MAX:** 230 **NIVEL:** 228

Estación: E3 Profundidad: 15  
 Fecha: 03/09/2003 Hora: 16:20  
 Disco Secchi (m): 1,92 Capa fótica (m): 3,3

| Prof.<br>m. | Cota<br>msnm | Temp<br>°C | pH<br>unid | OD<br>mg/l | OD<br>% sat. | Cond.<br>µS/cm | Redox<br>mV | T.D.S.<br>mg/l | Turbidez<br>N.T.U. |
|-------------|--------------|------------|------------|------------|--------------|----------------|-------------|----------------|--------------------|
| 0           | 228          | 25,40      | 8,80       | 6,70       | 81,29        | 780            | 227         | 499            | 14,1               |
| 1           | 227          | 25,41      | 8,84       | 6,18       | 75,00        | 779            | 226         | 499            | 14,9               |
| 2           | 226          | 25,40      | 8,85       | 6,12       | 74,26        | 780            | 226         | 499            | 14,5               |
| 3           | 225          | 25,37      | 8,85       | 6,06       | 73,49        | 780            | 227         | 499            | 14,5               |
| 4           | 224          | 25,34      | 8,84       | 6,12       | 74,18        | 781            | 227         | 500            | 14,4               |
| 5           | 223          | 25,30      | 8,84       | 6,06       | 73,40        | 781            | 228         | 500            | 14,4               |
| 6           | 222          | 25,17      | 8,82       | 5,84       | 70,57        | 778            | 229         | 498            | 14,8               |
| 7           | 221          | 25,06      | 8,79       | 5,71       | 68,86        | 778            | 230         | 498            | 15,7               |
| 8           | 220          | 24,52      | 8,57       | 4,69       | 56,02        | 856            | 233         | 541            | 18,9               |
| 9           | 219          | 23,57      | 8,63       | 4,71       | 55,27        | 866            | 234         | 554            | 21,6               |
| 10          | 218          | 23,18      | 8,66       | 4,72       | 54,99        | 873            | 234         | 559            | 25,5               |
| 11          | 217          | 22,78      | 8,64       | 4,50       | 52,03        | 896            | 235         | 574            | 28,5               |
| 12          | 216          | 22,69      | 8,57       | 3,81       | 43,99        | 947            | 237         | 607            | 30,3               |
| 13          | 215          | 22,73      | 8,35       | 2,08       | 24,05        | 1.085          | 240         | 696            | 31,7               |
| 14          | 214          | 22,61      | 8,23       | 0,98       | 11,31        | 1.144          | 243         | 737            | 33,0               |
| 15          | 213          | 22,40      | 8,14       | 0,54       | 6,21         | 1.176          | 244         | 752            | 31,5               |

**REPORTAJE FOTOGRÁFICO**



*Panorámica del embalse desde la presa. Torre de toma de agua*



*Vista desde la estación E2*





*Suelta de agua del embalse a causa de las tormentas acaecidas durante la noche anterior*



*Panorámica del embalse desde el punto de acceso*

## ADICIONAL INFORME EMBALSE DE CASPE 2003

Durante el año 2022 se han revisado los datos del embalse de Caspe recopilados durante el año 2003, en aplicación del Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental, a partir de la trasposición de la Directiva Marco del Agua (DMA).

La metodología utilizada ha consistido en obtener del informe de dicho año los datos necesarios para estimar de nuevo el estado trófico y el potencial ecológico y, recalcular el valor correspondiente en cada variable y en el estado final del embalse, utilizando las métricas publicadas en 2015, lo que permite comparar el estado de los embalses en un ciclo interanual de forma homogénea.

En cada apartado considerado se indica la referencia del apartado del informe original al que se refiere este trabajo adicional.

### 1. ESTADO TRÓFICO

Para evaluar el grado de eutrofización o estado trófico de una masa de agua se aplican e interpretan una serie de indicadores de amplia aceptación. En cada caso, se ha tenido en cuenta el valor de cada indicador en función de las características limnológicas básicas de los embalses. Así, se han podido interpretar las posibles incoherencias entre los diversos índices y parámetros y establecer la catalogación trófica final en función de aquellos que, en cada caso, responden a la eutrofización de las aguas.

Dentro del presente estudio se han considerado los siguientes índices y parámetros:

#### **a) Concentración de nutrientes. Fósforo total (PT)**

La concentración de fósforo total en el epilimnion del embalse es un parámetro decisivo en la eutrofización ya que suele ser el factor limitante en el crecimiento y reproducción de las poblaciones algales o producción primaria. De entre los índices conocidos, se ha adoptado en el presente estudio, el utilizado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) resumido en la tabla A1, ya que es

el que mejor refleja el grado trófico real en los casos estudiados y además es el de más amplio uso a nivel mundial y en particular en la Unión Europea (UE), España y la propia Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). Desde 1984 se demostró que los criterios de la OCDE, que relacionan la carga de nutrientes con las respuestas de eutrofización, eran válidos para los embalses españoles.

**Tabla A1.** Niveles de calidad según la concentración de fósforo total.

| Estado Trófico                         | Ultraoligotrófico | Oligotrófico | Mesotrófico | Eutrófico | Hipereutrófico |
|--|-------------------|--------------|-------------|-----------|----------------|
| Concentración PT ( $\mu\text{g P/L}$ ) | 0-4               | 4-10         | 10-35       | 35-100    | >100           |

### b) Fitoplancton (Clorofila *a*, densidad algal)

A diferencia del anterior, el fitoplancton es un indicador de respuesta trófica y, por lo tanto, integra todas las variables causales, de modo que está influido por otros condicionantes ambientales además de estarlo por los niveles de nutrientes. Se utilizan dos parámetros como estimadores de la biomasa algal en los índices: concentración de clorofila *a* en la zona fótica ( $\mu\text{g/L}$ ) y densidad celular ( $\text{n}^\circ$  células/ml).

Al contar en este estudio mayoritariamente con sólo una campaña de muestreo, y por tanto no contar con una serie temporal que nos permitiera la detección del máximo anual, se utilizaron las clases de calidad relativas a la media anual (tabla A2). La utilización de los límites de calidad relativos a la media anual de clorofila se basó en el hecho de que los muestreos fueron realizados durante la estación de verano. Según la bibliografía limnológica general, el verano coincidiría con un descenso de la producción primaria motivado por el agotamiento de nutrientes tras el pico de producción típico de finales de primavera. Por ello, la utilización de los límites o rangos relativos al máximo anual resultaría inadecuada.

Para la densidad celular, basamos nuestros límites de estado trófico en la escala logarítmica basada en los estudios limnológicos de Margalef, ya utilizada para incluir más clases de estado trófico en otros estudios (tabla A2). Estos resultados se ajustaban de forma más aproximada a los obtenidos mediante otras métricas estándar de la OCDE como las de P total o clorofila. En el presente estudio, los índices elegidos son los siguientes:

**Tabla A2.** Niveles de calidad según la clorofila *a* y la densidad algal del fitoplancton.

| Estado Trófico            | Ultraoligotrófico | Oligotrófico | Mesotrófico | Eutrófico    | Hipereutrófico |
|---------------------------|-------------------|--------------|-------------|--------------|----------------|
| Clorofila <i>a</i> (µg/L) | 0-1               | 1-2,5        | 2,5-8       | 8,0-25       | >25            |
| Densidad (cél./ml)        | <100              | 100-1000     | 1000-10000  | 10000-100000 | >100000        |

### c) Transparencia de la columna de agua. Disco de Secchi (DS)

Por su parte, la transparencia, medida como profundidad de visibilidad del disco de Secchi (media y mínimo anual en m), está también íntimamente relacionada con la biomasa algal, aunque más indirectamente, ya que otros factores como la turbidez debida a sólidos en suspensión, o los fenómenos de dispersión de la luz que se producen en aguas carbonatadas, afectan a esta variable.

Se utilizaron las clases de calidad relativas al mínimo anual de transparencia según criterios OCDE. Se utilizaron en este caso los rangos relativos al mínimo anual (tabla A3) debido a varios factores: por un lado, la transparencia en embalses es generalmente menor que en lagos; por otro lado, en verano se producen resuspensiones de sedimentos como consecuencia de los desembalses para regadío, y por último, la mayoría de los embalses muestreados son de aguas carbonatadas, con lo que la profundidad de Secchi subestimaría también la transparencia.

**Tabla A3.** Niveles de calidad según la transparencia.

| Estado Trófico   | Ultraoligotrófico | Oligotrófico | Mesotrófico | Eutrófico | Hipereutrófico |
|------------------|-------------------|--------------|-------------|-----------|----------------|
| Disco Secchi (m) | >6                | 6-3          | 3-1,5       | 1,5-0,7   | <0,7           |

### Catalogación trófica final

Se han considerado la totalidad de los índices expuestos, que se especifican en la tabla A4, estableciéndose el estado trófico global de los embalses estudiados según la metodología descrita a continuación, utilizando el valor promedio de los dos muestreos en su caso.

**Tabla A4.** Resumen de los parámetros indicadores de estado trófico.

| Parámetros   Estado Trófico            | Ultraoligotrófico | Oligotrófico | Mesotrófico | Eutrófico    | Hipereutrófico |
|--|-------------------|--------------|-------------|--------------|----------------|
| Concentración PT ( $\mu\text{g}$ )     | 0-4               | 4-10         | 10-35       | 35-100       | >100           |
| Disco de Secchi (m)                    | >6                | 6-3          | 3-1,5       | 1,5-0,7      | <0,7           |
| Clorofila <i>a</i> ( $\mu\text{g/L}$ ) | 0-1               | 1-2,5        | 2,5-8       | 8,0-25       | >25            |
| Densidad algal (cél./ml)               | <100              | 100-1000     | 1000-10000  | 10000-100000 | >100000        |

Sobre la base de esta propuesta, en la tabla A5 se incluye la catalogación de las diferentes masas de agua por parámetro. Así, para cada uno de los embalses, se asignó un valor numérico (de 1 a 5) según cada clase de estado trófico.

**Tabla A5.** Valor numérico asignado a cada clase de estado trófico.

| ESTADO TRÓFICO    | VALORACIÓN |
|-------------------|------------|
| Ultraoligotrófico | 1          |
| Oligotrófico      | 2          |
| Mesotrófico       | 3          |
| Eutrófico         | 4          |
| Hipereutrófico    | 5          |

La valoración del estado trófico global final se calculó mediante la *media* de los valores anteriores, re-escalada a cinco rangos de estado trófico (es decir, el intervalo 1-5, de 4 unidades, dividido en 5 rangos de 0,8 unidades de amplitud).

## 2. ESTADO DE LA MASA DE AGUA

El **estado** de una masa de agua es el grado de alteración que presenta respecto a sus condiciones naturales, y viene determinado por el *peor valor* de su estado ecológico y químico.

- El *estado ecológico* es una expresión de la calidad de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos asociados a las aguas superficiales en relación con las condiciones de referencia (es decir, en ausencia de alteraciones). En el caso de los embalses se denomina *potencial ecológico* en lugar de estado ecológico. Se determina a partir de indicadores de calidad (biológicos y fisicoquímicos).

- El estado químico de las aguas es una expresión de la calidad de las aguas superficiales que refleja el grado de cumplimiento de las normas de calidad ambiental de las sustancias prioritarias y otros contaminantes.

## 2.1. POTENCIAL ECOLÓGICO

### 2.1.1. INDICADORES DE CALIDAD BIOLÓGICOS: FITOPLANCTON

Como consecuencia de la aprobación de la IPH (Instrucción de Planificación Hidrológica, Orden ARM/2656/2008), se ha realizado una aproximación al potencial ecológico para el elemento de calidad fitoplancton denominada *propuesta normativa*. En ella se establecen las condiciones de máximo potencial para los siguientes parámetros: clorofila a, biovolumen, Índice de Grupos Algales (IGA) y porcentaje de cianobacterias, en función de la tipología del embalse.

Se debe seguir el procedimiento descrito en el Protocolo MFIT-2013 Versión 2 para el cálculo del RCE de cada uno de los cuatro parámetros:

#### - Cálculo de Ratio de Calidad Ecológico (RCE)

##### Cálculo para clorofila a:

$$\text{RCE} = [(1/\text{Chla Observado}) / (1/\text{Chla Máximo Potencial Ecológico})]$$

##### Cálculo para biovolumen:

$$\text{RCE} = [(1/\text{biovolumen Observado}) / (1/\text{ biovolumen Máximo Potencial Ecológico})]$$

##### Cálculo para el Índice de Grupos Algales (IGA):

$$\text{RCE} = [(400\text{-IGA Observado}) / (400\text{- IGA Máximo Potencial Ecológico})]$$

##### Cálculo para el porcentaje de cianobacterias:

$$\text{RCE} = [(100 - \% \text{ cianobacterias Observado}) / (100 - \% \text{ cianobacterias Máximo Potencial Ecológico})]$$

#### 1) Concentración de clorofila a

Del conjunto de pigmentos fotosintetizadores de las microalgas de agua dulce, la clorofila a se emplea como un indicador básico de biomasa fitoplanctónica. Todos los grupos de microalgas contienen clorofila a como pigmento principal, pudiendo llegar a

representar entre el 1 y el 2 % del peso seco total. La clasificación del potencial ecológico de acuerdo con la concentración de clorofila *a* se indica en la tabla A6.

**Tabla A6.** Clases de potencial ecológico según el RCE de la concentración de clorofila *a*.

| Clase de potencial ecológico        | Bueno o superior | Moderado      | Deficiente    | Malo    |
|-------------------------------------|------------------|---------------|---------------|---------|
| Rango <i>Tipos 1, 2 y 3</i>         | > 0,211          | 0,210 – 0,14  | 0,13 – 0,07   | < 0,07  |
| Rango <i>Tipos 7, 8, 9, 10 y 11</i> | > 0,433          | 0,432 – 0,287 | 0,286 – 0,143 | < 0,143 |
| Rango <i>Tipo 12</i>                | > 0,195          | 0,194 – 0,13  | 0,12 – 0,065  | < 0,065 |
| Rango <i>Tipo 13</i>                | > 0,304          | 0,303 – 0,203 | 0,202 – 0,101 | < 0,101 |
| Valoración de cada clase            | 2                | 3             | 4             | 5       |

## 2) Biovolumen algal

El biovolumen es una medida mucho más precisa de la biomasa algal, por tener en cuenta el tamaño o volumen celular de cada especie, además del número de células. La clasificación del potencial ecológico de acuerdo al biovolumen de fitoplancton se indica en la tabla A7.

**Tabla A7.** Clases de potencial ecológico según el RCE del biovolumen algal del fitoplancton.

| Clase de potencial ecológico        | Bueno o superior | Moderado      | Deficiente    | Malo    |
|-------------------------------------|------------------|---------------|---------------|---------|
| Rango <i>Tipos 1, 2 y 3</i>         | > 0,189          | 0,188 – 0,126 | 0,125 – 0,063 | < 0,063 |
| Rango <i>Tipos 7, 8, 9, 10 y 11</i> | > 0,362          | 0,361 – 0,24  | 0,23 – 0,12   | < 0,12  |
| Rango <i>Tipo 12</i>                | > 0,175          | 0,174 – 0,117 | 0,116 – 0,058 | < 0,058 |
| Rango <i>Tipo 13</i>                | > 0,261          | 0,260 – 0,174 | 0,173 – 0,087 | < 0,087 |
| Valoración de cada clase            | 2                | 3             | 4             | 5       |

## 3) Índice de grupos algales (IGA)

Se ha aplicado un índice basado en el biovolumen relativo de diferentes grupos algales del fitoplancton, denominado *IGA*, y que viene siendo utilizado por CHE desde 2010.

El índice *IGA* se expresa:

$$Iga = \frac{1 + 0.1 * Cr + Cc + 2 * (Dc + Chc) + 3 * Vc + 4 * Cia}{1 + 2 * (D + Cnc) + Chnc + Dnc}$$

Siendo,

|            |                                |             |                                   |
|------------|--------------------------------|-------------|-----------------------------------|
| <i>Cr</i>  | <b>Criptófitos</b>             | <i>Cia</i>  | <b>Cianobacterias</b>             |
| <i>Cc</i>  | <b>Crisófitos coloniales</b>   | <i>D</i>    | <b>Dinoflageladas</b>             |
| <i>Dc</i>  | <b>Diatomeas coloniales</b>    | <i>Cnc</i>  | <b>Crisófitos no coloniales</b>   |
| <i>Chc</i> | <b>Clorococales coloniales</b> | <i>Chnc</i> | <b>Clorococales no coloniales</b> |
| <i>Vc</i>  | <b>Volvocales coloniales</b>   | <i>Dnc</i>  | <b>Diatomeas no coloniales</b>    |

En cuanto al IGA, se han considerado los rangos de calidad establecidos en la tabla A8.

**Tabla A8.** Clases de potencial ecológico según el RCE del Índice de Grupos Algales (IGA).

| Clase de potencial ecológico | Bueno o superior | Moderado      | Deficiente    | Malo    |
|------------------------------|------------------|---------------|---------------|---------|
| Rango Tipos 1, 2 y 3         | > 0,974          | 0,973 – 0,649 | 0,648 – 0,325 | < 0,325 |
| Rango Tipos 7, 8, 9, 10 y 11 | > 0,982          | 0,981 – 0,655 | 0,654 – 0,327 | < 0,327 |
| Rango Tipo 12                | > 0,929          | 0,928 – 0,619 | 0,618 – 0,31  | < 0,31  |
| Rango Tipo 13                | > 0,979          | 0,978 – 0,653 | 0,652 – 0,326 | < 0,326 |
| Valoración de cada clase     | 2                | 3             | 4             | 5       |

#### 4) Porcentaje de cianobacterias

El aumento de la densidad relativa de cianobacterias se ha relacionado en numerosas ocasiones con procesos de eutrofización.

Para el cálculo del porcentaje de cianobacterias se ha utilizado el procedimiento descrito en el Protocolo de análisis y cálculo de métricas de fitoplancton en lagos y embalses Versión 2 (MAGRAMA, 2016). Se aplica para el cálculo la siguiente fórmula:

$$\%CIANO = \frac{BVOL_{CIA} - [BVOL_{CHR} - (BVOL_{MIC} + BVOL_{WOR})]}{BVOL_{TOT}}$$

|        |                     |                                      |
|--------|---------------------|--------------------------------------|
| Donde: | BVOL <sub>CIA</sub> | Biovolumen de cianobacterias totales |
|        | BVOL <sub>CHR</sub> | Biovolumen de Chroococcales          |
|        | BVOL <sub>MIC</sub> | Biovolumen de <i>Microcystis</i>     |
|        | BVOL <sub>WOR</sub> | Biovolumen de <i>Woronichinia</i>    |
|        | BVOL <sub>TOT</sub> | Biovolumen total de fitoplancton     |



Los valores de cambio de clases se establecen como se muestran en la tabla A9.

**Tabla A9.** Clases de potencial ecológico según el RCE del porcentaje de cianobacterias.

| Clase de potencial ecológico | Bueno o superior | Moderado      | Deficiente    | Malo    |
|------------------------------|------------------|---------------|---------------|---------|
| Rango Tipos 1, 2 y 3         | > 0,908          | 0,907 – 0,607 | 0,606 – 0,303 | < 0,303 |
| Rango Tipos 7, 8, 9, 10 y 11 | > 0,715          | 0,714 – 0,48  | 0,47 – 0,24   | < 0,24  |
| Rango Tipo 12                | > 0,686          | 0,685 – 0,457 | 0,456 – 0,229 | < 0,229 |
| Rango Tipo 13                | > 0,931          | 0,930 – 0,621 | 0,620 – 0,31  | < 0,31  |
| Valoración de cada clase     | 2                | 3             | 4             | 5       |

Posteriormente, es necesario llevar a cabo la *transformación de los valores de RCE obtenidos* a una escala numérica equivalente para los cuatro indicadores (RCE<sub>trans</sub>). Las ecuaciones varían en función del tipo de embalse.

Tipos 1, 2 y 3

| Clorofila a                    |  |
|--------------------------------|--|
| RCE > 0,21                     | $RCE_{trans} = 0,5063 \times RCE + 0,4937$ |
| RCE ≤ 0,21                     | $RCE_{trans} = 2,8571 \times RCE$          |
| Biovolumen                     |  |
| RCE > 0,19                     | $RCE_{trans} = 0,4938 \times RCE + 0,5062$ |
| RCE ≤ 0,19                     | $RCE_{trans} = 3,1579 \times RCE$          |
| % Cianobacterias               |  |
| RCE > 0,91                     | $RCE_{trans} = 4,4444 \times RCE - 3,4444$ |
| RCE ≤ 0,91                     | $RCE_{trans} = 0,6593 \times RCE$          |
| Índice de Grupos Algales (IGA) |  |
| RCE > 0,9737                   | $RCE_{trans} = 15,234 \times RCE - 14,233$ |
| RCE ≤ 0,9737                   | $RCE_{trans} = 0,6162 \times RCE$          |

Tipos 7, 8, 9, 10 y 11

| Clorofila a                    |  |
|--------------------------------|--|
| RCE > 0,43                     | $RCE_{trans} = 0,7018 \times RCE + 0,2982$ |
| RCE ≤ 0,43                     | $RCE_{trans} = 1,3953 \times RCE$          |
| Biovolumen                     |  |
| RCE > 0,36                     | $RCE_{trans} = 0,625 \times RCE + 0,375$   |
| RCE ≤ 0,36                     | $RCE_{trans} = 1,6667 \times RCE$          |
| % Cianobacterias               |  |
| RCE > 0,72                     | $RCE_{trans} = 1,4286 \times RCE - 0,4286$ |
| RCE ≤ 0,72                     | $RCE_{trans} = 0,8333 \times RCE$          |
| Índice de Grupos Algales (IGA) |  |
| RCE > 0,9822                   | $RCE_{trans} = 22,533 \times RCE - 21,533$ |
| RCE ≤ 0,9822                   | $RCE_{trans} = 0,6108 \times RCE$          |

Tipos 6 y 12

| Clorofila a |                                    |
|-------------|------------------------------------|
| RCE > 0,195 | $RCE_{trans} = 0,497x RCE + 0,503$ |
| RCE ≤ 0,195 | $RCE_{trans} = 3,075 x RCE$        |

| Biovolumen  |                                       |
|-------------|---------------------------------------|
| RCE > 0,175 | $RCE_{trans} = 0,4851 x RCE + 0,5149$ |
| RCE ≤ 0,175 | $RCE_{trans} = 3,419 x RCE$           |

| % Cianobacterias |                                  |
|------------------|----------------------------------|
| RCE > 0,686      | $RCE_{trans} = 1,2726x - 0,2726$ |
| RCE ≤ 0,686      | $RCE_{trans} = 0,875 x RCE$      |

| Índice de Grupos Algales (IGA) |                                  |
|--------------------------------|----------------------------------|
| RCE > 0,929                    | $RCE_{trans} = 5,6325x - 4,6325$ |
| RCE ≤ 0,929                    | $RCE_{trans} = 0,6459 x RCE$     |

Tipo 13

| Clorofila a |                                     |
|-------------|-------------------------------------|
| RCE > 0,304 | $RCE_{trans} = 0,575 x RCE + 0,425$ |
| RCE ≤ 0,304 | $RCE_{trans} = 1,9714 x RCE$        |

| Biovolumen  |                                    |
|-------------|------------------------------------|
| RCE > 0,261 | $RCE_{trans} = 0,541x RCE + 0,459$ |
| RCE ≤ 0,261 | $RCE_{trans} = 2,3023 x RCE$       |

| % Cianobacterias |                                       |
|------------------|---------------------------------------|
| RCE > 0,931      | $RCE_{trans} = 5,7971 x RCE - 4,7971$ |
| RCE ≤ 0,931      | $RCE_{trans} = 0,6445 x RCE$          |

| Índice de Grupos Algales (IGA) |                                       |
|--------------------------------|---------------------------------------|
| RCE > 0,979                    | $RCE_{trans} = 18,995 x RCE - 17,995$ |
| RCE ≤ 0,979                    | $RCE_{trans} = 0,6129 x RCE$          |

Para la combinación de los distintos indicadores representativos del elemento de calidad fitoplancton se hallará la *media* de los RCE transformados correspondientes a los parámetros “*abundancia-biomasa*” y “*composición*”. La combinación de los RCE transformados se llevará a cabo primero para los indicadores de clorofila y biovolumen, ambos representativos de la abundancia. La combinación se hará mediante las *medias* de los RCE transformados.

Posteriormente se llevará a cabo la combinación de los indicadores representativos de la composición: porcentaje de cianobacterias y el IGA. La combinación se hará mediante las *medias* de los RCE transformados. Finalmente, para la combinación de los indicadores de composición y abundancia-biomasa se hará la *media aritmética*.

El valor final de la combinación de los RCE transformados se clasificará de acuerdo a la siguiente escala de la tabla A10:

**Tabla A10.** Ratios de calidad según el índice de potencial ecológico normativo RCEtrans.

| Clase de potencial ecológico | Bueno o superior | Moderado | Deficiente | Malo |
|------------------------------|------------------|----------|------------|------|
| <i>RCEtrans</i>              | > 0,6            | 0,4-0,6  | 0,2-0,4    | <0,2 |
| Valoración de cada clase     | 2                | 3        | 4          | 5    |

**Tabla A11.** Valores de referencia propios del tipo ( $VR_t$ ) y límites de cambio de clase de potencial ecológico ( $B^+/M$ , Bueno o superior-Moderado;  $M/D$ , Moderado-Deficiente;  $D/M$ , Deficiente-Malo) de los indicadores de los elementos de calidad de embalses (*RD 817/2015*). Se han incluido sólo los tipos de embalses presentes en el ESTUDIO.

| Tipo    | Elemento     | Parámetro   | Indicador                            | $VR_t$ | $B^+/M$<br>(RCE) | $M/D$<br>(RCE) | $D/M$<br>(RCE) |
|---------|--------------|-------------|--------------------------------------|--------|------------------|----------------|----------------|
| Tipo 1  | Fitoplancton | Biomasa     | Clorofila <i>a</i> mg/m <sup>3</sup> | 2,00   | 0,211            | 0,14           | 0,07           |
|         |              |             | Biovolumen mm <sup>3</sup> /L        | 0,36   | 0,189            | 0,126          | 0,063          |
|         |              | Composición | Índice de Catalán (IGA)              | 0,10   | 0,974            | 0,649          | 0,325          |
|         |              |             | Porcentaje de cianobacterias         | 0,00   | 0,908            | 0,607          | 0,303          |
| Tipo 7  | Fitoplancton | Biomasa     | Clorofila <i>a</i> mg/m <sup>3</sup> | 2,60   | 0,433            | 0,287          | 0,143          |
|         |              |             | Biovolumen mm <sup>3</sup> /L        | 0,76   | 0,362            | 0,24           | 0,12           |
|         |              | Composición | Índice de Catalán (IGA)              | 0,61   | 0,982            | 0,655          | 0,327          |
|         |              |             | Porcentaje de cianobacterias         | 0,00   | 0,715            | 0,48           | 0,24           |
| Tipo 9  | Fitoplancton | Biomasa     | Clorofila <i>a</i> mg/m <sup>3</sup> | 2,60   | 0,433            | 0,287          | 0,143          |
|         |              |             | Biovolumen mm <sup>3</sup> /L        | 0,76   | 0,362            | 0,24           | 0,12           |
|         |              | Composición | Índice de Catalán (IGA)              | 0,61   | 0,982            | 0,655          | 0,327          |
|         |              |             | Porcentaje de cianobacterias         | 0,00   | 0,715            | 0,48           | 0,24           |
| Tipo 10 | Fitoplancton | Biomasa     | Clorofila <i>a</i> mg/m <sup>3</sup> | 2,60   | 0,433            | 0,287          | 0,143          |
|         |              |             | Biovolumen mm <sup>3</sup> /L        | 0,76   | 0,362            | 0,24           | 0,12           |
|         |              | Composición | Índice de Catalán (IGA)              | 0,61   | 0,982            | 0,655          | 0,327          |
|         |              |             | Porcentaje de cianobacterias         | 0,00   | 0,715            | 0,48           | 0,24           |
| Tipo 11 | Fitoplancton | Biomasa     | Clorofila <i>a</i> mg/m <sup>3</sup> | 2,60   | 0,433            | 0,287          | 0,143          |
|         |              |             | Biovolumen mm <sup>3</sup> /L        | 0,76   | 0,362            | 0,24           | 0,12           |
|         |              | Composición | Índice de Catalán (IGA)              | 0,61   | 0,982            | 0,655          | 0,327          |
|         |              |             | Porcentaje de cianobacterias         | 0,00   | 0,715            | 0,48           | 0,24           |
| Tipo 12 | Fitoplancton | Biomasa     | Clorofila <i>a</i> mg/m <sup>3</sup> | 2,40   | 0,195            | 0,13           | 0,065          |
|         |              |             | Biovolumen mm <sup>3</sup> /L        | 0,63   | 0,175            | 0,117          | 0,058          |
|         |              | Composición | Índice de Catalán (IGA)              | 1,50   | 0,929            | 0,619          | 0,31           |
|         |              |             | Porcentaje de cianobacterias         | 0,10   | 0,686            | 0,457          | 0,229          |
| Tipo 13 | Fitoplancton | Biomasa     | Clorofila <i>a</i> mg/m <sup>3</sup> | 2,10   | 0,304            | 0,203          | 0,101          |
|         |              |             | Biovolumen mm <sup>3</sup> /L        | 0,43   | 0,261            | 0,174          | 0,087          |
|         |              | Composición | Índice de Catalán (IGA)              | 1,10   | 0,979            | 0,653          | 0,326          |
|         |              |             | Porcentaje de cianobacterias         | 0,00   | 0,931            | 0,621          | 0,31           |

## 2.1.2. INDICADORES DE CALIDAD FÍSICOQUÍMICOS

Todavía la normativa no ha desarrollado qué indicadores fisicoquímicos se emplean en embalses, pero por similitud con los que se recogen para lagos (Real Decreto 817/2015) se utilizan los siguientes:

### 1) Transparencia

La transparencia es un elemento válido para evaluar el grado trófico del embalse; tiene alta relación con la productividad biológica; y además tiene rangos establecidos fiables y de utilidad para el establecimiento de los límites de clase del potencial ecológico. Se ha evaluado a través de la profundidad de visión del disco de Secchi (DS), considerando su valor para la obtención de las distintas clases de potencial (tabla A12).

**Tabla A12.** Clases de potencial ecológico según la profundidad de visión del Disco de Secchi.

| Clase de potencial ecológico | Muy Bueno | Bueno | Moderado |
|------------------------------|-----------|-------|----------|
| Disco de Secchi (DS, m)      | > 6       | 6 - 3 | < 3      |
| Valoración de cada clase     | 1         | 2     | 3        |

### 2) Condiciones de oxigenación

Representa un parámetro secundario de la respuesta trófica que viene a indicar la capacidad del sistema para asimilar la materia orgánica autóctona, generada por el propio sistema a través de los productores primarios en la capa fótica, y la materia orgánica alóctona, es decir, aquella que procede de fuentes externas al sistema, como la procedente de focos de contaminación puntuales o difusos.

Se ha evaluado estimando la reserva media de oxígeno hipolimnético en el periodo de muestreo, correspondiente al periodo de estratificación. En el caso de embalses no estratificados se consideró la media de oxígeno en toda la columna de agua. Las clases consideradas han sido las correspondientes a la concentración de oxígeno en la columna de agua; parámetro vital para la vida piscícola. En la tabla A13 se resumen los límites establecidos.

**Tabla A13.** Clases de potencial ecológico según la concentración de oxígeno disuelto en el hipolimnion o en toda la columna de agua, cuando el embalse no está estratificado.

| Clase de potencial ecológico                       | Muy Bueno | Bueno | Moderado |
|--|-----------|-------|----------|
| Concentración hipolimnética (mg/L O <sub>2</sub> ) | > 8       | 8 - 6 | < 6      |
| Valoración de cada clase                           | 1         | 2     | 3        |

### 3) Concentración de nutrientes

En este caso se ha seleccionado el fósforo total (PT), ya que su presencia a determinadas concentraciones en un embalse acarrea procesos de eutrofización, pues en la mayoría de los casos es el principal elemento limitante para el crecimiento de las algas.

Se ha empleado el resultado obtenido en la muestra integrada, considerando los criterios de la OCDE especificados en la tabla A14 (OCDE, 1982) adaptado a los intervalos de calidad del RD 817/2015.

**Tabla A14.** Clases de potencial ecológico según la concentración de fósforo total.

| Clase de potencial ecológico              | Muy Bueno | Bueno | Moderado |
|---|-----------|-------|----------|
| Concentración de PT ( $\mu\text{g P/L}$ ) | 0 - 4     | 4 -10 | > 10     |
| Valoración de cada clase                  | 1         | 2     | 3        |

Si se toman varios datos anuales, se hace la *mediana* de los valores anuales.

Posteriormente se elige el *peor valor* de los tres indicadores (transparencia, condiciones de oxigenación y fósforo total).

### 4) Sustancias preferentes y contaminantes específicos de cuenca

Dentro de los indicadores fisicoquímicos también se tienen en cuenta las **sustancias preferentes y contaminantes específicos de cuenca**. El valor medio de los datos anuales se revisa para ver si *cumple o no con la Norma de Calidad Ambiental (NCA) del Anexo V del RD 817/2015*. Si *incumple* supone asignarle para los indicadores fisicoquímicos la categoría de *moderado*.

**Tabla A15.** Clases de potencial ecológico para sustancias preferentes y contaminantes específicos de cuenca.

| Clase de potencial ecológico                                 | Muy Bueno  | Moderado      |
|--|------------|---------------|
| Sustancias preferentes y contaminantes específicos de cuenca | Cumple NCA | No cumple NCA |
| Valoración de cada clase                                     | 2          | 3             |

El potencial ecológico resulta del *peor valor* entre los indicadores biológicos y fisicoquímicos.

**Tabla A16.** Combinación de los indicadores.

| Indicador Biológico | Indicador Físicoquímico | Potencial Ecológico |
|---------------------|-------------------------|---------------------|
| Bueno o superior    | Muy bueno               | Bueno o superior    |
| Bueno o superior    | Bueno                   | Bueno o superior    |
| Bueno o superior    | Moderado                | Moderado            |
| Moderado            | Indistinto              | Moderado            |
| Deficiente          |                         | Deficiente          |
| Malo                |                         | Malo                |

## 2.2. ESTADO QUÍMICO

El estado químico es “*no bueno*” cuando hay algún incumplimiento de la Norma de Calidad Ambiental, bien sea como media anual (NCA\_MA), como máximo admisible (NCA\_CMA) o en la biota (NCA\_biota) para las **sustancias prioritarias y otros contaminantes**. Las NCA se recogen en el *Anexo IV del RD 817/2015*.

**Tabla A17.** Clases de estado químico para sustancias prioritarias y otros contaminantes.

| Clase de estado químico                       | Bueno      | No alcanza el buen estado |
|---|------------|---------------------------|
| Sustancias prioritarias y otros contaminantes | Cumple NCA | No cumple NCA             |
| Valoración de cada clase                      | 2          | 3                         |

## 2.3. ESTADO

El estado de la masa de agua es el *peor valor* entre su potencial ecológico y su estado químico.

**Tabla A18.** Determinación del estado.

| Estado              | Estado Químico   |                           |
|---------------------|------------------|---------------------------|
| Potencial Ecológico | Bueno            | No alcanza el buen estado |
| Bueno o superior    | Bueno            | Inferior a bueno          |
| Moderado            | Inferior a bueno |                           |
| Deficiente          |                  |                           |
| Malo                |                  |                           |

## DIAGNÓSTICO DEL ESTADO TRÓFICO DEL EMBALSE DE CASPE

Se han considerado los indicadores especificados en la tabla A19 para los valores medidos en el embalse, estableciéndose el estado trófico global del embalse según la metodología descrita.

**Tabla A19.** Parámetros indicadores y rangos de estado trófico.

| Parámetros   Estado Trófico            | Ultraoligotrófico | Oligotrófico     | Mesotrófico      | Eutrófico        | Hipereutrófico  |
|--|-------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|
| Concentración P ( $\mu\text{g P /L}$ ) | 0-4               | 4-10             | 10-35            | 35-100           | >100            |
| Disco de Secchi (m)                    | >6                | 6-3              | 3-1,5            | 1,5-0,7          | <0,7            |
| Clorofila <i>a</i> ( $\mu\text{g/L}$ ) | 0-1               | 1-2,5            | 2,5-8            | 8,0-25           | >25             |
| Densidad algal (cél./ml)               | <100              | 100-1000         | 1000-10000       | 10000-100000     | >100000         |
| <b>VALOR PROMEDIO</b>                  | <b>&lt; 1,8</b>   | <b>1,8 – 2,6</b> | <b>2,6 – 3,4</b> | <b>3,4 – 4,2</b> | <b>&gt; 4,2</b> |

En la tabla A20 se incluye el estado trófico indicado por cada uno de los parámetros, así como la catalogación de la masa de agua según la valoración de este estado trófico final para cada campaña de muestreo.

**Tabla A20.** Diagnóstico del estado trófico del embalse de Caspe.

| INDICADOR                   | VALOR       | ESTADO TRÓFICO     |
|-----------------------------|-------------|--------------------|
| CONCENTRACIÓN P TOTAL       | 9,00        | Oligotrófico       |
| DISCO SECCHI                | 3,48        | Oligotrófico       |
| CLOROFILA <i>a</i>          | 13,20       | Eutrófico          |
| DENSIDAD ALGAL              | 10050       | Eutrófico          |
| <b>ESTADO TRÓFICO FINAL</b> | <b>3,00</b> | <b>MESOTRÓFICO</b> |

Atendiendo a los criterios seleccionados, la concentración de P total ha clasificado el embalse como oligotrófico; la transparencia como oligotrófico; la concentración de clorofila *a* como eutrófico y la densidad algal como eutrófico. Combinando todos los indicadores, el estado trófico final para el embalse de Caspe ha resultado ser **MESOTRÓFICO**.

## DIAGNÓSTICO DEL ESTADO FINAL DEL EMBALSE DE CASPE

En la mayoría de los casos en lugar del estado de la masa, sólo se puede establecer el potencial ecológico (además sin tener en cuenta la presencia de sustancias preferentes y contaminantes específicos de cuenca, para los indicadores fisicoquímicos). Tampoco se han estudiado las sustancias prioritarias y otros contaminantes que permitan determinar el estado químico, por eso se diagnostica la masa con el **potencial ecológico**.

Se han considerado los indicadores, los valores de referencia y los límites de clase B+/M (Bueno o superior/Moderado), M/D (Moderado/Deficiente) y D/M (Deficiente/Malo), así como sus ratios de calidad ecológica (RCE), especificados en las tablas A21 y A22.

**Tabla A21.** Parámetros, rangos del RCE y valores para la determinación del potencial ecológico normativo.

|                                |               |   | RANGOS DEL RCE          |                  |                   |                 |       |
|--------------------------------|---------------|---|-------------------------|------------------|-------------------|-----------------|-------|
| Indicador                      | Elementos     | Parámetros  | Bueno o superior        | Moderado         | Deficiente        | Malo            |       |
| Biológico                      | Fitoplancton  | Clorofila <i>a</i> (µg/L)                           | ≥ 0,433                 | 0,432 – 0,287    | 0,286 – 0,143     | < 0,143         |       |
|                                |               | Biovolumen algal (mm <sup>3</sup> /L)               | ≥ 0,362                 | 0,361 – 0,24     | 0,23 – 0,12       | < 0,12          |       |
|                                |               | Índice de Catalán (IGA)                             | ≥ 0,982                 | 0,981 – 0,655    | 0,654 – 0,327     | < 0,327         |       |
|                                |               | Porcentaje de cianobacterias                        | ≥ 0,715                 | 0,714 – 0,48     | 0,47 – 0,24       | < 0,24          |       |
|                                |               |   | <b>Bueno o superior</b> | <b>Moderado</b>  | <b>Deficiente</b> | <b>Malo</b>     |       |
| <b>INDICADOR BIOLÓGICO</b>     |               |   | <b>&gt; 0,6</b>         | <b>0,4 - 0,6</b> | <b>0,2 - 0,4</b>  | <b>&lt; 0,2</b> |       |
|                                |               |   | RANGOS DE VALORES       |                  |                   |                 |       |
| Indicador                      | Elementos     | Parámetros  | Muy bueno               | Bueno            | Moderado          | Deficiente      | Malo  |
| Fisicoquímico                  | Transparencia | Disco de Secchi (m)                                 | > 6                     | 3 - 6            | 1,5 - 3           | 0,7 - 1,5       | < 0,7 |
|                                | Oxigenación   | O <sub>2</sub> hipolimnética (mg O <sub>2</sub> /L) | > 8                     | 8 - 6            | 6 - 4             | 4 - 2           | < 2   |
|                                | Nutrientes    | Concentración de PT (µg P/L)                        | 0 - 4                   | 4 - 10           | 10 - 35           | 35 - 100        | > 100 |
|                                |               |   | <b>Muy bueno</b>        | <b>Bueno</b>     | <b>Moderado</b>   |                 |       |
| <b>INDICADOR FISICOQUÍMICO</b> |               |   | <b>&lt; 1,6</b>         | <b>1,6 – 2,4</b> | <b>&gt; 2,4</b>   |                 |       |



La combinación de los dos indicadores, fisicoquímico y biológico, para la obtención del potencial ecológico normativo sigue el esquema de decisiones indicado en la tabla A22.

**Tabla A22.** Combinación de los indicadores.

| Indicador Biológico | Indicador Fisicoquímico | Potencial Ecológico (PE) |
|---------------------|-------------------------|--------------------------|
| Bueno o superior    | Muy bueno               | Bueno o superior         |
| Bueno o superior    | Bueno                   | Bueno o superior         |
| Bueno o superior    | Moderado                | Moderado                 |
| Moderado            | Indistinto              | Moderado                 |
| Deficiente          |                         | Deficiente               |
| Malo                |                         | Malo                     |

En la tabla A23 se incluye el potencial indicado por cada uno de los parámetros, así como la catalogación de la masa de agua según el potencial ecológico, tras pasar el filtro del indicador fisicoquímico.

**Tabla A23.** Diagnóstico del potencial ecológico del embalse de Caspe.

| Indicador                      | Elementos     | Parámetro   | Indicador          | Valor                   | RCE  | RCET     | PE              |
|--------------------------------|---------------|---|--------------------|-------------------------|------|----------|-----------------|
| Biológico                      | Fitoplancton  | Biomasa   | Clorofila a (µg/L) | 13,20                   | 0,18 | 0,56     | Moderado        |
| <b>INDICADOR BIOLÓGICO</b>     |               |   |                    | <b>3</b>                |      |          | <b>MODERADO</b> |
| Indicador                      | Elementos     | Indicador   | Valor              |                         |      | PE       |                 |
| Fisicoquímico                  | Transparencia | Disco de Secchi (m)                                 | 3,48               |                         |      | Bueno    |                 |
|                                | Oxigenación   | O <sub>2</sub> hipolimnética (mg O <sub>2</sub> /L) | 5,60               |                         |      | Moderado |                 |
|                                | Nutrientes    | Concentración de PT (µg P/L)                        | 9,00               |                         |      | Bueno    |                 |
| <b>INDICADOR FISICOQUÍMICO</b> |               |   |                    | <b>3</b>                |      |          | <b>MODERADO</b> |
| <b>POTENCIAL ECOLÓGICO</b>     |               |   |                    | <b>MODERADO</b>         |      |          |                 |
| <b>ESTADO FINAL</b>            |               |   |                    | <b>INFERIOR A BUENO</b> |      |          |                 |

De acuerdo con los resultados obtenidos, el Estado Final del embalse de Caspe para el año 2003 es de nivel 3, **INFERIOR A BUENO**.