

Valoración del estado ecológico en las lagunas

de la cuenca hidrográfica
del Tajo

[2008-2010]



Valoración del estado ecológico en las lagunas

de la cuenca hidrográfica del Tajo

[2008-2010]

DATOS GENERALES DE LA PUBLICACIÓN

Año de publicación: 2012

Publicador: Confederación Hidrográfica del Tajo

VALORACIÓN DEL ESTADO ECOLÓGICO EN LAS LAGUNAS DE LA CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TAJO [2007-2010]

Copyright © 2012 Confederación Hidrográfica del Tajo

- **EDITA**

Confederación Hidrográfica del Tajo
Avenida de Portugal, nº 81
28011 Madrid

- **DIRECCIÓN Y COORDINACIÓN DEL INFORME POR LA CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TAJO**



- **ELABORACIÓN Y REDACCIÓN DEL INFORME POR LA CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TAJO**

Raquel Garza Garrido
Alberto Orío Hernández

Con la colaboración de
INTERLAB, S.A.

- **DISEÑO Y MAQUETACIÓN**

IPROMA, S.L.
Artes Gráficas San Miguel, S.A.

- **IMPRESIÓN**

Artes Gráficas San Miguel, S.A.

- **DEPÓSITO LEGAL:** AB-335-2012

1. INTRODUCCIÓN.....	8
2. RED DE CONTROL DEL ESTADO ECOLÓGICO EN LAGUNAS	10
2.1 LAGUNAS: ESTACIONES DE MUESTREOS.....	11
2.2 MUESTREOS	21
2.2.1 Campañas de muestreo	21
2.2.2 Elementos de calidad analizados	22
2.2.2.1 <i>Fitoplancton</i>	22
2.2.2.2 <i>Clorofila a planctónica</i>	27
2.2.2.3 <i>Macrófitos</i>	28
3. RESULTADOS OBTENIDOS.....	38
3.1 PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS	39
3.1.1 Laguna de Taravilla	40
3.1.2 Laguna de Somolinos	41
3.1.3 Laguna Grande del Tobar	42
3.2 INDICADORES BIOLÓGICOS	45
3.2.1 Macroinvertebrados.....	45
3.2.2 Macrófitos	47
3.2.2.1 <i>Laguna de Taravilla</i>	49
3.2.2.2 <i>Laguna de Somolinos</i>	50
3.2.2.3 <i>Laguna Grande del Tobar</i>	51
3.2.2.4 <i>Laguna Grande de Beleña</i>	52
3.2.3 Comunidad fitoplanctónica	54
4. EVALUACIÓN DEL ESTADO DE EUTROFIZACIÓN	58
4.1 METODOLOGÍA DE ESTUDIO.....	59
4.2 RESULTADOS DE LA VALORACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO.....	60
4.2.1 Eutrofización en función del biovolumen fitoplanctónico.....	62
4.2.2 Eutrofización en función de la clorofila a.....	63
4.2.3 Eutrofización en función de la profundidad del disco de Secchi	64
5. EVALUACIÓN DEL ESTADO ECOLÓGICO.....	66
5.1 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN	68
5.1.1 Fitoplancton.....	69
5.1.2 Otra flora acuática	72
5.1.2.1 <i>Métricas para la evaluación de presiones de tipo hidromorfológico</i>	72
5.1.2.2 <i>Métricas para la evaluación de presión por eutrofización</i>	75
5.1.2.3 <i>Métricas para la evaluación de presión por introducción de especies exóticas</i>	75
5.1.2.4 <i>Combinación de métricas relativas a "otra flora acuática"</i>	76
5.1.3 Elementos de calidad fisicoquímicos	78
5.1.4 Combinación de elementos de calidad	81
5.2 EVALUACIÓN DEL ESTADO ECOLÓGICO	82
5.2.1 Estado Ecológico Año 2008	83
5.2.2 Estado Ecológico Año 2009	85
5.2.3 Estado Ecológico Año 2010	87
5.2.4 Valoración global	92
6. CONCLUSIONES	94
7. BIBLIOGRAFÍA	96

F I G U R A S

Figura 1.	Esquema de muestreo de hidrófitos en una laguna menor de 50 ha y profundidad mayor de 2 m.	30
Figura 2.	Evolución de diversos parámetros fisicoquímicos en la laguna de Taravilla.	40
Figura 3.	Evolución de diversos parámetros fisicoquímicos en la laguna de Somolinos.	41
Figura 4.	Evolución de diversos parámetros fisicoquímicos en la laguna Grande del Tobar.	42
Figura 5.	Perfil de conductividad en la laguna Grande del Tobar en la primavera de 2010.	43
Figura 6.	Evolución de diversos parámetros fisicoquímicos en la laguna Grande de Peñalara.	44
Figura 7.	Riqueza taxonómica de macroinvertebrados para las campañas en las que se dispone de datos.	45
Figura 8.	Porcentaje de abundancia de los principales grupos de macroinvertebrados	46
Figura 9.	Porcentaje de abundancia de los principales grupos tróficos de macroinvertebrados	47
Figura 10.	Abundancia total (cél/l) y porcentaje de abundancia de los principales grupos fitoplanctónicos.	54
Figura 11.	Porcentaje de biovolumen de los principales grupos fitoplanctónicos.	55
Figura 12.	Riqueza taxonómica de fitoplancton para las campañas en las que se dispone de datos.	55
Figura 13.	Evolución temporal del estado trófico en función del biovolumen fitoplanctónico (Willen 2000).	62
Figura 14.	Evolución temporal del estado trófico en función de la concentración de clorofila a (OCDE).	63
Figura 15.	Evolución temporal del estado trófico en función del disco de Secchi (OCDE).	64

F O T O G R A F Í A S

Fotografías 1-4.	Distintas vistas de la laguna Grande del Tobar	14
Fotografías 5-8.	Distintas vistas de la laguna de Taravilla.	15
Fotografías 9-12.	Distintas vistas de la laguna Grande de Beleña.	16
Fotografías 13-16.	Distintas vistas de la laguna se Somolinos.	17
Fotografías 17-19.	Distintas vistas de la laguna Grande de Peñalara.	18
Fotografías 20-22.	Distintas vistas de la laguna de los Claveles.	19
Fotografías 23-25.	Distintas vistas de la laguna de los Pájaros.	20
Fotografía 26.	Botella hidrográfica.	24
Fotografía 27.	Red de plancton.	25
Fotografía 28.	Muestras obtenidas con la red de plancton.	25
Fotografía 29.	Varias especies de hidrófitos en diferentes profundidades de la columna de agua	32
Fotografía 30.	Diferentes tipos de macrófitos en lagunas	33
Fotografía 31.	Fases del muestreo mediante disco de Secchi.	36
Fotografía 32.	Localización de puntos de muestreo de vegetación en la laguna de Taravilla.	49
Fotografía 33.	Localización de puntos de muestreo de vegetación en la laguna de Somolinos.	50
Fotografía 34.	Localización de puntos de muestreo de vegetación en la laguna Grande del Tobar.	51
Fotografía 35.	Localización de puntos de muestreo de vegetación en la laguna de Beleña.	52
Fotografía 36.	Realización de un transecto durante el muestreo de la laguna de Beleña (campaña primavera 2010).	53



T A B L A S

Tabla 1.	Masas de agua de la categoría lagos	12
Tabla 2.	Número de campañas realizadas y periodos de muestreo.	21
Tabla 3.	Resumen de masas de agua de la categoría lago estudiadas en cada campaña.	21
Tabla 4.	Parámetros analizados en cada campaña.	22
Tabla 5.	Directrices dadas por el Ministerio para el muestreo del indicador fitoplancton.	23
Tabla 6.	Características del lago a tener en cuenta para el muestreo de hidrófitos.	29
Tabla 7.	Características del lago a tener en cuenta para el muestreo de helófitos.	30
Tabla 8.	Parámetros analizados en los perfiles con la sonda multiparamétrica.	35
Tabla 9.	Listado taxonómico de macrófitos en la laguna de Taravilla.	49
Tabla 10.	Listado taxonómico de macrófitos en la laguna de Somolinos.	50
Tabla 11.	Listado taxonómico de macrófitos en la laguna Grande del Tobar.	51
Tabla 12.	Listado taxonómico de macrófitos en la laguna de Beleña.	53
Tabla 13.	Taxones fitoplanctónicos potencialmente tóxicos en lagunas en la campaña de muestreo de Primavera 2008.	56
Tabla 14.	Taxones fitoplanctónicos potencialmente tóxicos en lagunas en la campaña de muestreo de Verano 2008.	56
Tabla 15.	Taxones fitoplanctónicos potencialmente tóxicos en lagunas en la campaña de muestreo de Verano 2009.	56
Tabla 16.	Taxones fitoplanctónicos potencialmente tóxicos en lagunas en la campaña de muestreo de Primavera 2010.	57
Tabla 17.	Escala de valoración de parámetros para el cálculo del estado trófico según la OCDE.	60
Tabla 18.	Eutrofización en función del biovolumen fitoplanctónico (Willen 2000).	60
Tabla 19.	Resultados de la valoración del estado trófico en las lagunas estudiadas desde 2007 a 2010.	61
Tabla 20.	Tipologías de las lagunas presentes en la Cuenca del Tajo.	68
Tabla 21.	Aplicabilidad de las métricas seleccionadas a los tipos de lagos de la cuenca del Tajo.	70
Tabla 22.	Niveles de calidad determinados mediante la evaluación de la “Concentración de Clorofila a”.	71
Tabla 23.	Niveles de calidad determinados mediante la evaluación del “Biovolumen total del fitoplancton”.	71
Tabla 24.	Niveles de calidad determinados mediante la evaluación de la “Riqueza de especies de macrófitos”.	73
Tabla 25.	Niveles de calidad determinados mediante la evaluación de la “Cobertura total de hidrófitos”.	73
Tabla 26.	Niveles de calidad determinados mediante la evaluación de la “Cobertura total de helófitos”.	74
Tabla 27.	Niveles de calidad determinados mediante la evaluación de la “Cobertura total de macrófitos”.	75

Tabla 28.	Niveles de calidad determinados mediante la evaluación de la “Cobertura de especies de macrófitos indicadoras de condiciones eutróficas”.	75
Tabla 29.	Niveles de calidad determinados mediante la evaluación de la “Cobertura de especies exóticas”.	76
Tabla 30.	Métricas propuestas para la evaluación del estado ecológico conforme al elemento de calidad “otra flora acuática” para masas de agua de la categoría “lagos” propuestas por el CEDEX (CEDEX 2009c).	76
Tabla 31.	Procedimientos de combinación de métricas del elemento de calidad biológica “Otra flora acuática” según los tipos de lagos.	77
Tabla 32.	Métricas propuestas para la evaluación del estado ecológico conforme a los elementos de calidad “físicoquímicos” para masas de agua de la categoría “lagos” propuestas por el CEDEX (CEDEX 2009d) en la cuenca del Tajo.	78
Tabla 33.	Procedimientos para la combinación de las métricas de los elementos físicoquímicos (para los tipos en que sea aplicable cada indicador y métrica).	78
Tabla 34.	Procedimientos para la combinación de elementos físicoquímicos.	79
Tabla 35.	Condiciones específicas del tipo de lago para la métrica “Profundidad de visión del Disco de Secchi (Ds)” (en metros).	79
Tabla 36.	Condiciones específicas del tipo de lago para la métrica “Conductividad eléctrica” Porcentaje de desviación respecto a los valores típicos que definen el tipo de lago.	80
Tabla 37.	Valores orientativos de conductividad que definen las tipologías de lagos (IPH, Tabla 39).	80
Tabla 38.	Condiciones específicas del tipo de lago para la métrica “pH”.	80
Tabla 39.	Reglas de combinación de los elementos de calidad para valorar el estado ecológico de las masas de agua.	81
Tabla 40.	Elemento de calidad biológica fitoplancton. Año 2008.	83
Tabla 41.	Elementos de calidad físicoquímicos. Año 2008.	83
Tabla 42.	Combinación de los elementos de calidad para valorar el estado ecológico de las lagunas. Año 2008.	84
Tabla 43.	Elemento de calidad biológica fitoplancton. Año 2009.	85
Tabla 44.	Elementos de calidad físicoquímicos. Año 2009.	85
Tabla 45.	Combinación de los elementos de calidad para valorar el estado ecológico de las lagunas. Año 2009.	86
Tabla 46.	Elemento de calidad biológica fitoplancton. Año 2010.	87
Tabla 47.	Valoración del elemento de calidad “otra flora acuática” en la laguna Grande de Beleña; Campaña Año 2010.	88
Tabla 48.	Valoración del elemento de calidad “otra flora acuática” en la laguna de Somolinos. Año 2010.	88
Tabla 49.	Valoración del elemento de calidad “otra flora acuática” en la laguna de Taravilla; Campaña Primavera 2010.	89
Tabla 50.	Valoración del elemento de calidad “otra flora acuática” en la laguna Grande del Tobar. Año 2010.	89
Tabla 51.	Elementos de calidad físicoquímicos. Año 2010.	90
Tabla 52.	Combinación de los elementos de calidad biológica (fitoplancton + flora acuática). Año 2010.	90
Tabla 53.	Combinación de los elementos de calidad para valorar el estado ecológico de las lagunas.	91
Tabla 54.	Valoración del estado ecológico en las campañas realizadas entre los años 2008 y 2010 en las lagunas de la cuenca hidrográfica del Tajo.	92

[1]

Introducción



Laguna de Los Claveles en Rascafría, Madrid.

HISTÓRICAMENTE, la Confederación Hidrográfica del Tajo ha venido realizando controles sistemáticos de la calidad fisicoquímica de las aguas. Además, en los últimos años y con motivo de la aprobación de la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE) se ha implantado una red de seguimiento de la calidad biológica de las aguas superficiales.

Esta Directiva tiene como objetivo principal la consecución del buen estado de las masas de agua. Este buen estado viene determinado por un buen estado ecológico y un buen estado químico de las mismas.

De acuerdo con la directiva, el conocimiento del estado ecológico debe realizarse mediante la evaluación en cada masa de agua de los diferentes indicadores de calidad: biológicos, hidromorfológicos y fisicoquímicos.

Tras la transposición de la directiva, en el año 2008 se publicó la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH; Orden ARM/2656/2008) que desarrolla y complementa la ley, define conceptos y establece las condiciones de referencia para las distintas masas de agua.

De acuerdo con el apartado 2.2.1.1.3 de la IPH, se consideran lagos las aguas superficiales lénticas cuya superficie sea superior a 0,08 km² y que, al mismo tiempo, tengan una profundidad máxima superior a 3 metros, así como todas aquellas con una superficie mayor de 0,5 km², con independencia de su profundidad.

Asimismo, se han publicado varios protocolos de muestreo y de determinación de indicadores biológicos en embalses y lagunas, cuyas directrices se han seguido en la evaluación del estado ecológico de las lagunas, objeto de este informe.

[2]

Red de control del estado
ecológico en lagunas



Laguna Grande de Peñalara en Rascafría, Madrid.

2.1 LAGUNAS: ESTACIONES DE MUESTREOS

El número y las estaciones pertenecientes a la red de control han ido variando en el transcurso del periodo 2007-2010, en algunos casos con motivo de la ampliación de la red y, en otros, al producirse bajas en las masas de agua. En la actualidad la red está compuesta por 7 lagunas.

La laguna del Tobar se dio de alta en 2007 y posteriormente, en la primavera del 2008, se añadieron a la red las siguientes masas: Beleña, Somolinos, Taravilla y laguna Grande de Peñalara. Finalmente, en enero del 2009, se volvieron a dar de alta dos masas: Complejo Lagunar de Humedales Temporales de Peñalara (muestreándose de ellas la laguna de los Claveles) y la Laguna de los Pájaros. En la tabla 1 se puede consultar la fecha en la que se produjeron las altas, así como la localización de las lagunas que actualmente componen la red.

Tabla 1. Masas de agua de la categoría lagos.

COMUNIDAD	PROVINCIA	NOMBRE	FECHA ALTA	UTMX ETRS89	UTMY ETRS89	CÓDIGO	TIPO	ALTITUD	HIDROPERIODO
CASTILA - LA MANCHA	CUENCA	LAGUNA GRANDE DEL TOBAR	22/03/2007	580459	4488684	TA310001	10	1150	Permanente
	GUADALAJARA	LAGUNA DE SOMOLINOS	29/04/2008	494605	4566805	TA31NML3	12	1274	Permanente
		LAGUNA DE TARAVILLA	29/04/2008	586710	4500472	TA31NML1	10	1140	Permanente
		LAGUNA GRANDE DE BELEÑA	29/04/2008	479337	4526859	TA31NML2	17	950	Temporal
MADRID	MADRID	COMPLEJO LAGUNAR DE HUMEDALES TEMPORALES DE PEÑALARA (Los Claveles)	22/01/2009	420181	4522659	TA31NML6	5	2080	Temporal
		LAGUNA DE LOS PÁJAROS	22/01/2009	420203	4523758	TA31NML5	3	2170	Permanente
		LAGUNA GRANDE DE PEÑALARA	29/04/2008	419282	4521438	TA31NML4	3	2022	Permanente

UTM en huso 30

- **Laguna Grande del Tobar**

Laguna meromítica, de origen cárstico-calcáreo e hidroperiodo permanente. Situada en la provincia de Cuenca.

La Laguna Grande del Tobar constituye un humedal de carácter hipogénico, cuya principal fuente de alimentación es el manantial de La Laguna y aportes subterráneos, de muy alta salinidad. Además tiene abastecimiento artificial mediante el trasvase del río Cuervo desde la presa de La Tosca.

Esto hace que las aguas de la laguna estén permanentemente estratificadas, siendo en los primeros metros de profundidad dulces, de baja conductividad y estando bien oxigenadas, y aumentado con la profundidad su contenido en sales, su conductividad y su anoxia.

Perímetro: 2.061 m	Longitud eje menor: 444 m
Área: 17 Ha	Longitud eje mayor: 710 m
Profundidad máxima: 19,5 m	



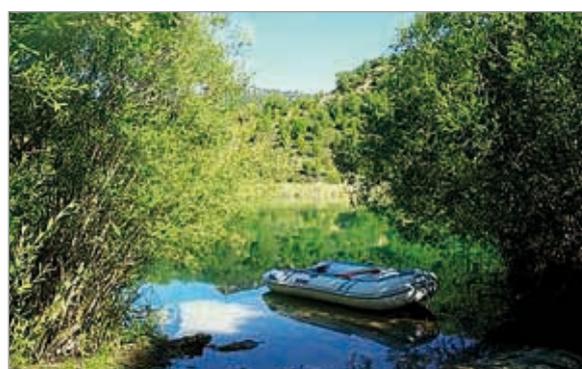
Fotografías 1- 4. Distintas vistas de la laguna Grande del Tobar.

• **Laguna de Taravilla**

La Laguna de Taravilla, conocida también como Laguna de La Parra, se encuentra situada en el municipio de Taravilla (Guadalajara). Localizada en un valle a una altitud de 1.140 m, es una laguna de montaña relativamente profunda alimentada por un arroyo de montaña. Posee un origen mixto glaciar y kárstico, con agua dulce y permanente y con unas concentraciones muy bajas de nutrientes inorgánicos que le conceden unas características oligotróficas permanentes a excepción de la zona del máximo profundo estival. En su vertiente norte existe un humedal con una interesante comunidad de macrófitos y helófitos.

Como fuentes de contaminación destacan la presencia de ganado que utiliza el manantial que alimenta la laguna, el pastoreo y la utilización como zona de baño de turistas en el periodo estival. El impacto que supone en la actualidad es reducido, y tan solo un aumento de la presión turística presentaría un riesgo de eutrofización de la misma.

Perímetro: 675 m	Longitud eje menor: 130 m
Área: 2.5 Ha	Longitud eje mayor: 231 m
Profundidad máxima: 11 m	



Fotografías 5 - 8. Distintas vistas de la laguna de Taravilla.

- **Laguna grande de Beleña**

Complejo lagunar integrado por la Laguna Grande, la Laguna Chica y pequeñas charcas. Se trata de lagunas estacionales, endorreicas, muy someras, de aguas dulces con escasos nutrientes. La laguna grande es aproximadamente el doble en superficie que la pequeña y tarda más tiempo en secarse, además presenta una zona de aguas libres en su centro con alta presencia de anátidas.

Son lagunas oligotróficas de aguas bicarbonatadas cálcico – magnésicas poco mineralizadas, posee muy bajas concentraciones de nutrientes inorgánicos. La laguna chica presenta una alta concentración de helófitos cuya descomposición genera altas concentraciones de fósforo y bajas de nitrógeno.

En la laguna grande se han detectado indicadores de contaminación fecal probablemente de origen animal. Presenta un elevado riesgo de eutrofización por aumento de la ganadería o por el aumento del uso de fertilizantes en las plantaciones cerealistas.

Perímetro: 2155 m	Longitud eje menor: 480 m
Área: 32.8 Ha	Longitud eje mayor: 720 m
Profundidad máxima: 0.8 m	



Fotografías 9 - 12. Distintas vistas de la laguna Grande de Beleña.

• Laguna de Somolinos

La laguna de Somolinos se encuentra localizada en un valle a una altitud de 1.250 metros entre los municipios de Campisábalos y Somolinos (Guadalajara).

Es una laguna de alta transparencia que posee bajo contenido en fósforo y un contenido en nitratos de unos 6 mgNO₃/l. Compone un sistema lacustre oligosalino y oligotrófico con alta fragilidad y un excelente estado de conservación. Es un tipo de lago muy poco frecuente en Europa, con un interés a nivel europeo e internacional debido a su alto valor paisajístico.

Entre las presiones destacables sobre la laguna destaca la presencia de pastoreo, la utilización de la misma por el ganado como abrevadero y su uso recreativo por los turistas.

Perímetro: 796 m	Longitud eje menor: 150 m
Área: 2.3 Ha	Longitud eje mayor: 287 m
Profundidad máxima: 8 m	



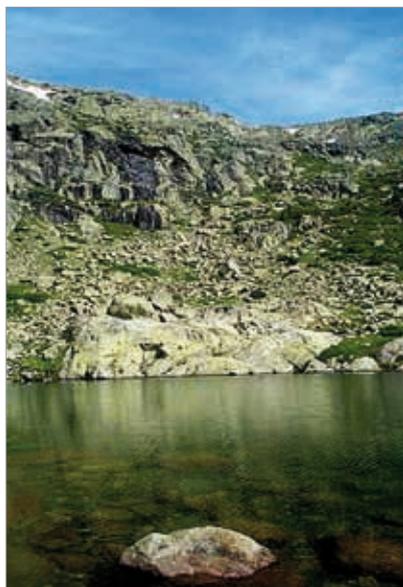
Fotografías 13 - 16. Distintas vistas de la laguna de Somolinos.

- **Laguna Grande de Peñalara**

La laguna Grande de Peñalara es una laguna de origen glaciar, ubicada a 2.019 m de altitud, en la zona central de la sierra de Guadarrama, el término municipal de Rascafría (Madrid).

Es una laguna permanente que se mantiene congelada desde el mes de diciembre hasta marzo debido a las temperaturas bajo cero del lugar. Está rodeada de praderas y de zonas rocosas (gneis) que tienen algunos matorrales de alta montaña como son el piorno y el enebro rastrero.

Perímetro: 330 m	Longitud eje menor: 72 m
Área: 0.7 Ha	Longitud eje mayor: 112 m
Profundidad máxima: 5 m	



Fotografías 17 - 19. Distintas vistas de la laguna Grande de Peñalara.

COMPLEJO LAGUNAR DE HUMEDALES TEMPORALES DE PEÑALARA

• Laguna de los Claveles

La laguna de los Claveles se encuentra en la zona central de la sierra de Guadarrama, en el Parque Natural de Peñalara, término municipal de Rascafría (Madrid).

Es una laguna de origen glaciar y de carácter temporal, situada a una altitud de 2.119 m. Permanece congelada desde diciembre hasta marzo lo que motiva que no habiten peces en sus aguas. El fondo de la cubeta está ocupado por piedras de tamaño medio.

Perímetro: 109 m	Longitud eje menor: 21 m
Área: 0.07 Ha	Longitud eje mayor: 35 m
Profundidad máxima: 3 m	



Fotografías 20 - 22. Distintas vistas de la laguna de los Claveles.

- **Laguna de los Pájaros**

La laguna de los Pájaros se encuentra situada en el Parque Natural de Peñalara (sierra de Guadarrama) en el término municipal de Rascafría (Madrid).

Es una laguna permanente, de origen glaciar, situada a una altitud de 2.170 m sobre el nivel del mar. Permanece helada durante los meses de invierno, experimentando fluctuaciones de nivel de la lámina de agua, aunque sin llegar a desaparecer, debido a que se asienta sobre un sustrato limoso que impide la infiltración del agua en el terreno.

Perímetro: 382 m	Longitud eje menor: 35 m
Área: 0.6 Ha	Longitud eje mayor: 168 m
Profundidad máxima: 2.5 m	



Fotografías 23 - 25. Distintas vistas de la laguna de los Pájaros.

2.2 MUESTREOS

En el periodo comprendido entre los años 2007-2010 se ha realizado un total de cinco campañas de muestreo en las masas de agua de la categoría lago. Sin embargo, no ha sido hasta 2010, año en el que se han publicado los protocolos de muestreo de macrófitos en lagunas, cuando se ha podido calcular el estado ecológico de las mismas.

2.2.1 Campañas de muestreo

Las campañas de muestreo se iniciaron en la primavera de 2007 y se han ido repitiendo anualmente. (Tabla 2. Número de campañas realizadas y periodos de muestreo.2). No obstante, los resultados que se recogen en este informe son únicamente los realizados en las estaciones que están actualmente de alta en la red.

Tabla 2. Número de campañas realizadas y periodos de muestreo.

FECHA INICIO	FECHA FIN	PERIODO
19/06/2007	03/07/2007	Primavera - Verano 2007
29/04/2008	26/05/2008	Primavera 2008
13/08/2008	26/09/2008	Verano - Otoño 2008
29/06/2009	06/07/2009	Verano 2009
31/05/2010	01/06/2010	Primavera 2010

En la siguiente tabla se muestra la campaña en la que fue realizada cada masa de agua en el transcurso del periodo 2007 – 2010.

Tabla 3. Resumen de masas de agua de la categoría lago estudiadas en cada campaña.

CÓDIGO	Periodo	Pri-Ver 07	Pri 08	Ver- Oto 08	Ver 09	Pri 10
310001	Laguna Grande el Tobar	X	X	X	X	X
31NML4	Laguna Grande de Peñalara	X	X	X	X	
31NML3	Laguna Somolinos		X	X	X	X
31NML1	Laguna Taravilla		X	X	X	X
31NML2	Laguna Grande de Beleña		X	X	X	X
31NML6	Complejo humedales temporales de Peñalara - Los Claveles				X	
31NML5	Laguna de los Pájaros				X	

2.2.2 Elementos de calidad analizados

En la siguiente tabla se resumen los elementos de calidad analizados en cada masa de agua por campaña de muestreo.

Tabla 4. Parámetros analizados en cada campaña.

CAMPAÑA	PARÁMETROS ANALIZADOS
Primavera - Verano 2007	Fitoplancton, Macroinvertebrados, Macrófitos*, Físicoquímicos
Primavera 2008	Fitoplancton, Macroinvertebrados, Macrófitos*, Físicoquímicos
Verano - Otoño 2008	Clorofila a (en laboratorio), Fitoplancton, Físicoquímicos
Verano 2009	Clorofila a (en laboratorio), Fitoplancton, Físicoquímicos
Primavera 2010	Clorofila a (en laboratorio), Fitoplancton, Macrófitos, Físicoquímicos

* Los muestreos de macrófitos en estas campañas no computan en el cálculo del estado ecológico al ser anteriores a la publicación de los protocolos de muestreo del MARM y no ajustarse a sus especificaciones.

A continuación se describen los parámetros analizados, así como su metodología de muestreo y su valor indicador.

2.2.2.1 FITOPLANCTON

El fitoplancton constituye una parte muy importante del plancton (organismos acuáticos microscópicos que viven en suspensión en la columna de agua), englobando todas aquellas especies de algas microscópicas unicelulares, filamentosas o coloniales, generalmente con capacidad fotosintética y que contienen, entre otros, pigmentos clorofílicos.

La estructura de estas poblaciones fotosintéticas de los ecosistemas acuáticos es dinámica y se encuentra en constante cambio tanto en su composición taxonómica como en su actividad fisiológica. Estos cambios en abundancia y composición de las comunidades fitoplanctónicas dependen además en gran medida de una serie de factores: físicos e hidrológicos (luz, temperatura, turbulencia, tiempo de residencia del agua y tasa de sedimentación del plancton), químicos (nutrientes, materia orgánica, mineralización, etc.) y biológicos (depredación, parasitismo fúngico, etc.).

Estos cambios afectan a la capacidad de asimilar los nutrientes, a la producción de la energía química necesaria para mantener la estructura trófica y a la productividad del sistema. Su papel ecológico es fundamental por cuanto representan la "llave" que regula la entrada de energía al sistema, constituyendo la base de la pirámide trófica.

Así, el estudio del fitoplancton permite obtener una información más precisa y detallada del estado trófico y de la calidad de las aguas que la obtenida a partir de un simple estudio de las condiciones hidroquímicas. De hecho, ha sido considerado en la Directiva 2000/60 de aguas, como uno de los indicadores biológicos de calidad para la clasificación del estado ecológico en lagos y humedales por lo que su estudio se ha convertido en esencial en la actualidad en cualquier proyecto de caracterización ecológica de una masa de agua.

PROTOCOLO DE MUESTREO

Para el estudio de este elemento de calidad se han tenido en cuenta los métodos de muestreo propuestos para la toma de muestras de fitoplancton y clorofila en sistemas acuáticos tales como la norma CEN/TC230/WG2/TG: “Draft proposal for Water Quality – Guidance on quantitative and qualitative sampling of phytoplankton from inland waters”, el “Protocolo de muestreo de fitoplancton en lagos y embalses. Código: M-LE-FP-2011” del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, así como el “Protocolo de muestreo y análisis para Fitoplancton”, redactado por la Confederación Hidrográfica del Ebro.

En el protocolo del Ministerio se establecen las directrices para la toma de muestras según la profundidad y el grado de estratificación de las masas de agua de la categoría lago o embalse.

Tabla 5. Directrices dadas por el Ministerio para el muestreo del indicador fitoplancton.

Tipo de masa de agua	Directrices de muestreo indicadas
Masas de agua someras (≤ 3 m de prof. máx.)	Se toma una muestra integrada de la columna de agua desde la superficie hasta unos 20-30 cm del fondo, evitando acercarse excesivamente al sedimento o a la cobertura de macrófitos.
Masas de agua de profundidad >3 m no estratificadas	Se toma una muestra integrada desde la superficie hasta la profundidad correspondiente a 2,5 DS (2,5 veces la profundidad de visión del Disco de Secchi). Cuando la profundidad es inferior a 2,5 DS se toma una muestra integrada de toda la columna de agua desde la superficie hasta unos 20-30 cm del fondo, evitando acercarse al sedimento o a la cobertura de macrófitos.
Masas de agua de profundidad >3 m estratificadas	Existen dos opciones según el programa de control: <ul style="list-style-type: none"> Control de vigilancia: se realiza del mismo modo que para los no estratificados. Control operativo, control de investigación y red de referencia: se procede igual que en el control de vigilancia, y además se toman muestras discretas en las profundidades en las que la sonda fluorimétrica detecte picos de clorofila-a, donde las concentraciones son al menos 10 veces superiores a las detectadas a 1 metro de profundidad.

a) Selección del punto de muestreo

Se ha de seleccionar un punto de muestreo localizado en la vertical de la parte más profunda de la masa de agua, evitándose las muestras litorales salvo razón específica que lo justifique (nunca sustituyendo al punto de muestreo de la zona más profunda). De esta forma, se evita la influencia de las comunidades algales propias del perifiton en el listado taxonómico obtenido para el plancton, así como la de las diversas sustancias excretadas por la vegetación y que pueden alterar significativamente los análisis químicos de los que será objeto la muestra.

b) Directrices para la toma de muestras

A continuación se describen las indicaciones para la toma de muestras cuantitativas y cualitativas.

- a) Muestras **cuantitativas (integradas)**: permiten el cálculo de la abundancia y biomasa de cada taxón identificado en la muestra, así como de las métricas e índices que se derivan de este tipo de datos. Las muestras integradas se pueden obtener mediante dos metodologías diferentes:
 - Mediante muestreador tipo tubo. Muestreador de plástico flexible de 20mm de diámetro lastrado en uno de sus extremos. El tubo se sumerge hasta la máxima profundidad, se tapa el extremo superior y se sube. Una vez en la superficie, el extremo inferior se vacía en

un recipiente, para dar lugar a la muestra integrada de la que luego se toman las alícuotas mediante un recipiente adecuado, manteniendo bien la mezcla.

- Mediante una botella hidrográfica. La muestra integrada se obtiene mediante la homogenización de varias submuestras tomadas a distintas profundidades. En sistemas leníticos cuya zona fótica ($2,5 \times DS^1$) es inferior a 10 metros, la equidistancia es de 1 metro, mientras que en sistemas cuya zona fótica sea mayor a 10 metros, la equidistancia no debe ser mayor de 2 metros. Se toman volúmenes iguales a cada una de las profundidades y se homogenizan en un recipiente de mezcla, del que luego se extraen las alícuotas necesarias (para fitoplancton y determinación de pigmentos, por ejemplo) mediante un recipiente adecuado, manteniendo bien la mezcla.



Fotografía 26. Botella hidrográfica.

- b) Muestras cualitativas:** para obtener material adicional que permita ayudar en la identificación de taxones, se realiza un muestreo cualitativo utilizando una red de 20 μm de luz de malla. Para ello, se sumerge la red verticalmente hasta la profundidad deseada y se tira de ella hacia arriba de forma lenta y suave (aproximadamente de 0,15 m/s a 0,2 m/s). Dado que las muestras se analizan únicamente de forma cualitativa es importante que se obtenga suficiente cantidad de material. En ocasiones, se hace necesario llevar a cabo varios recorridos verticales para cada punto de muestreo. Si se realiza esta repetición, se ha de vaciar la red entre recorrido y recorrido. El volumen que queda recogido en el contenido del copo de la manga de plancton se almacena en un recipiente de 250 ml de vidrio borosilicatado.



Fotografía 27. Red de plancton.



Fotografía 28. Muestras obtenidas con la red de plancton.

El análisis cuantitativo del fitoplancton consiste en realizar un inventario de los taxones y un recuento de individuos presentes de cada taxón. La estrategia para el recuento depende de los objetivos y especialmente del nivel taxonómico determinado (género, especie, etc.). Para esta tarea se ha tenido en cuenta, entre otra bibliografía, el *Borrador del protocolo de identificación y recuento del fitoplancton* (MARM 2008a).

CÁLCULO DEL BIOVOLUMEN FITOPLANCTÓNICO

El biovolumen total de fitoplancton es la suma de los biovolúmenes de todas las poblaciones de fitoplancton presentes dentro de un determinado volumen de muestra. Se expresa como mm^3/L (o mm^3/m^3). Estos biovolúmenes se calculan multiplicando el volumen de un individuo promedio (tamaño) de cada una de las poblaciones por su densidad poblacional.

La abundancia de las algas expresada como biovolumen (mm^3/l), tiene un alto grado de correlación con el indicador de presión de eutrofización (concentración de fósforo total) en embalses, siendo su correlación mayor que la observada entre las concentraciones de fósforo y clorofila a (De Hoyos et al., 2005). Se trata de una métrica considerada por muchos de los países de la Unión Europea para evaluar el estado ecológico en base al elemento de calidad fitoplancton. Sin embargo, no existe en la actualidad, a nivel nacional ni a nivel europeo, ningún método estandarizado para medir biovolúmenes de especies, utilizándose hasta ahora diversas referencias científicas para dichos cálculos (p. ej. Rott, 1981; Hillebrand et al., 1999), lo cual hace que la comparación de los valores de biovolumen total sea más difícil que para los de concentración de clorofila a.

ÍNDICE DE GRUPOS ALGALES: IGA

Este índice fue creado originalmente para su aplicación en lagos oligotróficos de alta montaña de Cataluña. Se fundamenta en la observación de que, ante el aumento de nutrientes en dichos sistemas oligotróficos, se produce un cambio en la estructura de la comunidad, dando paso de las poblaciones no coloniales (mayoritariamente flageladas) a poblaciones coloniales de algas planctónicas. Más tarde (BOE, 2008) se propuso como métrica recomendada para establecer la calidad del agua de los embalses (no para lagos naturales).

Por todo esto se realiza el cálculo teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se ha utilizado en nuestro país tanto para lagos de montaña de los Pirineos como para algunos lagos cársticos dentro de las redes de seguimiento de la ACA y de la Confederación Hidrográfica del Ebro.
- En embalses, presenta un buen grado de correlación con la concentración total de fósforo, principal indicador de presión por eutrofización (De Hoyos et al., 2005).
- Es bastante coherente con el resto de métricas que se están utilizando en el resto de países europeos para evaluar la composición de fitoplancton.
- No se ha aplicado en humedales ni lagos someros, por lo que su generalización para los distintos tipos de lagos naturales (CEDEX, 2009a) requeriría estudios específicos al respecto, que actualmente aún no se han realizado.

Según el documento del CEDEX (CEDEX, 2009a) se tiene en proyecto probar este índice para todo tipo de lagos así como para embalses, introduciendo las debidas modificaciones (la inclusión de otros grupos taxonómicos, validación del valor indicador de cada uno de ellos, etc.).

Este índice se basa en los porcentajes de biovolúmenes sobre el biovolumen total que en una muestra tienen ciertos grupos algales, teniendo en cuenta si éstos son coloniales o no.

Éste índice se ha calculado para los lagos de la cuenca del Tajo en todas las ocasiones en las que se ha tomado muestra cuantitativa de fitoplancton. A pesar de disponer de dato, éste no ha sido empleado en la valoración del estado ecológico siguiendo las directrices del documento del CEDEX “Selección de métricas para la evaluación del estado ecológico de las masas de agua de la Categoría “lago” basadas en el elemento de calidad “composición, abundancia y biomasa de fitoplancton” en aplicación de la Directiva Marco del Agua”.

PORCENTAJE DE BIOVOLUMEN DE CIANOBACTERIAS

Una vez calculado el biovolumen fitoplanctónico total de la muestra, y teniéndose los resultados de biovolumen de los principales grupos algales, se procede a determinar el porcentaje de biovolumen perteneciente al grupo de las cianobacterias.

$$\% \text{ Biovolumen cianobacterias: } \frac{\text{Biovolumen cianobacterias}}{\text{Biovolumen fitoplanctónico total}} \cdot 100$$

OTRAS MÉTRICAS CALCULADAS

Los análisis de las muestras de fitoplancton se completan con el cálculo de otras métricas de utilidad que permiten ampliar la información obtenida en cada masa de agua así como establecer conclusiones sobre el estado de la misma. Las métricas adicionales calculadas son:

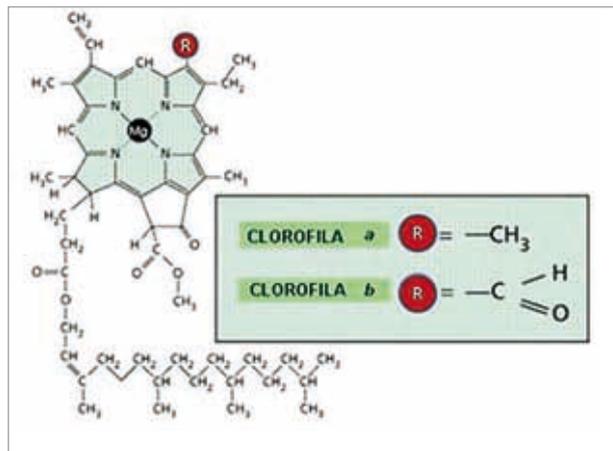
- **Riqueza taxonómica:** Número de taxones de fitoplancton determinados por muestra y para los principales grupos algales (diatomeas, cianobacterias y clorofíceas).
- **Toxicidad potencial** medida como número de taxones potencialmente tóxicos presentes en la muestra.
- **Índice de diversidad de Shannon– Wiener (Williams & Feltmate, 1992) (H):** Refleja el grado de indeterminación asociado al hecho de adivinar a qué especie pertenece un

individuo extraído al azar de una comunidad. Además, el valor que toma el índice de Shannon no depende sólo del número de especies sino que también tiene en cuenta el grado de uniformidad en el reparto de los individuos en especies. El índice de Shannon es igual a 0 en comunidades de una única especie, y va incrementándose, según aumenta el número de especies y se mantiene una abundancia relativa semejante entre ellas.

- **Abundancia general (células/ml) y relativa (%):** Métrica empleada para conocer la estructura de la comunidad de fitoplancton así como la aportación relativa de cada uno de los taxones a la población total.
- **Biovolumen general (mm³/L) y relativo (%):** Métrica empleada para conocer, en términos de volumen, la representación de los principales grupos algales (diatomeas, cianobacterias y clorofíceas) dentro de un volumen conocido de muestra.

2.2.2.2 CLOROFILA A PLANCTÓNICA

La clorofila es el pigmento fotorreceptor responsable de la primera etapa en la transformación de la energía de la luz solar en energía química (fotosíntesis), y consecuentemente la molécula responsable de la formación inicial de materia orgánica (producción primaria) en los ecosistemas a partir de luz, materia inorgánica y agua. Se encuentra en orgánulos específicos, los cloroplastos, asociada a lípidos y lipoproteínas.



Moléculas de clorofila a y b.

La concentración de clorofila a (C1a) planctónica es por tanto una medida indirecta de la producción primaria fitoplanctónica así como de la biomasa del fitoplancton. De este modo su determinación es un instrumento importante de vigilancia de los procesos de eutrofización en ecosistemas leníticos, donde el fitoplancton, especialmente en las masas de agua con escasa vegetación macrofítica, es el principal productor primario del ecosistema.

PROTOCOLO DE MUESTREO

En el caso de la clorofila a planctónica, se toma un volumen suficiente de la muestra integrada que se filtra en campo mediante el empleo de una bomba de vacío. Se hace pasar previamente una suspensión acuosa de carbonato magnésico al 1% sobre el filtro (previo al filtrado de la muestra) ya que, aunque este paso es opcional, aumenta la eficiencia de retención del filtro y evita la degradación de la clorofila (APHA 1998). Posteriormente se hace pasar un volumen de la muestra conocido a través de un filtro de fibra de vidrio

(GF/F) de 47 mm de diámetro y 0,7 μm de tamaño de poro. Cuando se retira el filtro del dispositivo de filtración se hace con unas pinzas de punta roma, quedando el filtro lo más escurrido posible. Si el filtro retiene un exceso de agua, ésta altera el volumen final del solvente de extracción añadido y también su concentración, lo cual no debe suceder de manera incontrolada. Por ello, tras levantar el filtro del soporte de filtración, este se deposita, con el filtrado boca arriba, sobre un papel de absorbente blanco, seco y limpio durante unos segundos para que por capilaridad pierda el agua sobrante.

Finalmente, se coloca el filtro cuidadosamente en un criovial, adaptado a la posterior conservación a bajas temperaturas.

Dichos procedimientos están basados en los trabajos de Jeffrey y Humphrey (1975).



2.2.2.3 MACRÓFITOS

DEFINICIÓN Y VALOR INDICADOR

El término macrófito se refiere a las plantas acuáticas apreciables a simple vista entre las que se encuentran plantas vasculares (cormófitos), briófitos, macroalgas (algas carófitas y de otros grupos) y cianobacterias.

El término hidrófito describe a las plantas acuáticas en sentido estricto, es decir, aquellas que completan su ciclo biológico cuando todas sus partes se encuentran sumergidas o flotando en la superficie (Cirujano y Medina, 2002). Por el contrario, los helófitos son plantas anfibas con la parte inferior sumergida en el agua.

El uso de los macrófitos como indicadores del estado ecológico está claramente señalado en la DMA, y procede de las experiencias realizadas, en Europa en el marco de la vigilancia de la calidad de las aguas en aplicación de otras directivas europeas: Directiva de tratamiento de aguas urbanas residuales (91/676/EEC), y de normativas de diferentes países. En los EE.UU. los macrófitos se usan como indicadores de forma habitual y existen procedimientos estandarizados para el muestreo y procesado de muestras (Barbour et al., 1999).

En el marco de la DMA, los macrófitos se consideran útiles para la detección y seguimiento de las presiones fisicoquímicas (reducción de transparencia del agua, oscilaciones en el grado de la mineralización, eutrofia) y presiones hidromorfológicas (variaciones en el régimen de caudal, o del nivel del agua en el caso de lagos o embalses; y variaciones en las características del vaso en lagos).

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO MUESTRAL Y TIPO DE MUESTREO

La determinación del tamaño muestral y tipo de muestreo en las lagunas varía en función de los macrófitos que se estudien, tal como se explica a continuación.

A. HIDRÓFITOS: se distinguen las masas de agua en función de su tamaño, considerando como grandes aquellas que, en condiciones de máxima inundación normal, ocupen superficies mayores de 50 Ha, y como pequeñas las menores a ese tamaño.

Los puntos de muestreo de hidrófitos deberán situarse únicamente en zonas que sean susceptibles de colonización por parte de éstos, esto es, hasta una profundidad de 2 m, excluyéndose las zonas con sustrato exclusivamente rocoso o pedregoso, o de pendiente superior al 30 %, aspectos ambos que dificultan o impiden el enraizamiento natural de los hidrófitos. Con el objeto de posicionar cada uno de los puntos de muestreo que se realicen en los distintos muestreos, se registrará mediante dispositivos GPS las coordenadas UTM en el lugar central de cada punto de muestreo rectangular.

Tabla 6. Características del lago a tener en cuenta para el muestreo de hidrófitos.

PARÁMETRO	VALOR
PROFUNDIDAD MÁXIMA	≤ 2 m
	> 2 m
SUPERFICIE	< 50 Ha
	> 50 Ha

En los siguientes apartados se muestran las indicaciones a seguir para la toma de muestra:

- **Lagos con Z máx. ≤ 2 m**

- a) **Lagos <50 Ha**

Se realizarán dos transectos longitudinales coincidentes con los ejes mayor y menor del lago, que atraviesen el lago en toda su longitud y anchura. Cada uno de los transectos se dividirá en 5 partes aproximadamente equidistantes, y en cada una de ellas se muestrearán, al menos, un rectángulo de 2 x 10 metros (total 10 rectángulos, cinco por transecto). A fin de asegurar, en su caso, el muestreo también de las especies con preferencias más litorales, los transectos en ambos ejes incluirán siempre, como puntos de muestreo inicial y final, un rectángulo de 2 x 10 metros situado inmediatamente aguas adentro de la orilla en cada uno de los extremos del transecto.

- b) **Lagos >50 Ha**

Se realizará de igual manera que en el caso anterior, pero en el caso de que alguno de los ejes supere los 500 m de longitud, el transecto no será continuo, sino que se dividirá en diez porciones discontinuas (al menos una central, dos de orillas, y el resto intermedias entre la orilla y el centro), y en cada una de ellas se muestrearán, al menos, un rectángulo de 2 x 10 metros (total 20 rectángulos, diez por transecto longitudinal).

- **Lagos con Z máx. > 2 m**

- a) **Lagos <50 Ha**

Se realizarán 10 rectángulos (puntos de muestreo) perpendiculares a la orilla, partiendo de ésta hacia aguas adentro. La longitud de cada rectángulo llegará hasta donde se alcancen los 2 m de profundidad (medidos con ecosonda de mano), y la anchura de cada uno de ellos será de al menos 2 m, o una anchura mayor tal que determine que, para cada rectángulo, la superficie muestreada en cada uno sea de 20 m². Los puntos de partida de los rectángulos estarán aproximadamente equidistantes entre sí, y se determinarán dividiendo en 10 partes el perímetro del lago.



Figura 1. Esquema de muestreo de hidrófitos en una laguna menor de 50 ha y profundidad mayor de 2 m.

b) Lagos >50 Ha

Se procederá de manera similar al caso anterior, pero se realizarán 20 puntos de muestreo en lugar de 10.

B. HELÓFITOS: dado que la determinación de su cobertura se hace en las orillas, dicha distinción de tamaño se establece en función de la longitud del perímetro del lago.

Tabla 7. Características del lago a tener en cuenta para el muestreo de helófitos.

PARÁMETRO	VALOR
PROFUNDIDAD MÁXIMA	NO
LONGITUD DEL PERÍMETRO	≤ 1 km
	> 1 km

El muestreo se realizará en las orillas, e incluirá una franja de 3 m desde la orilla hacia afuera, en la que se determinará el rango de cobertura de cada especie. En función del tamaño del lago, la localización y extensión de los puntos de muestreo se determinará de la siguiente manera:

- **Lagos con perímetro < 1 km**

Se muestreará una franja de 3 m de ancho en todo el perímetro del lago.

- **Lagos con perímetro > 1 km**

Se muestreará al menos 1 km de las orillas, repartiendo el perímetro del lago en 10 zonas, dentro de cada una de las cuales se muestreará al menos una zona de 100 m de longitud (x 3 m de ancho).

C. ANFÍFITOS: se considerarán como hidrófitos cuando se encuentren sumergidos, y se asimilarán a helófitos cuando ocupen zonas emergidas.

D. MACRÓFITOS: Para los lagos en los que la vegetación típica de toda la cubeta es todo el conjunto de macrófitos (tipo 17), las especies integrantes de hidrófitos y helófitos serán muestreadas en toda la extensión inundada de la cubeta mediante transectos siguiendo las instrucciones para lagos de profundidad máxima ≤ 2 m. Además del interior de la cubeta, se muestrearán también las orillas de la misma manera que se especifica para los helófitos en el resto de tipos de lagos.

METODOLOGÍA DE MUESTREO DE MACRÓFITOS EN LAGUNAS (CEDEX 2010)

- Lagos vadeables: será preferible el muestreo a pie con vadeador en aquellos en los que sus características de profundidad permitan que el muestreo se haga sin el uso de embarcación.
- Lagos someros no vadeables o lagos profundos: el muestreo se hará siempre desde embarcación, utilizando un visor acuático para observar la cobertura y ganchos o rastrillos para la obtención de especímenes, solo en caso estrictamente necesario.

Se determinará la abundancia de cada taxón mediante la estimación aproximada de la superficie basal ocupada por cada especie en la zona colonizable, estableciéndose en cada punto de muestreo el porcentaje aproximado de cobertura total (%) en las zonas colonizables mediante la suma de los parciales de cada especie. Se diferenciará entre hidrófitos y helófitos, cuya evaluación se hará por separado, y el porcentaje de cobertura se referirá a la superficie basal ocupada por cada especie típica.

En el caso de capas multiestratificadas sobre una misma superficie (varias especies de hidrófitos en diferentes profundidades de la columna de agua, o bien hidrófitos entremezclados con helófitos), para la evaluación del porcentaje de cobertura de **hidrófitos** se considerará la superficie cubierta en su conjunto, es decir, se considerará aquella superficie cubierta por cualquier tipo de hidrófito, sea flotante o sumergido, de los considerados como especies típicas o características, por lo que dicha estimación estará siempre comprendida entre el 0 y el 100 %. Este criterio también se aplicará para la determinación de la métrica “Cobertura total de **macrófitos** (helófitos + hidrófitos)” en cuyo caso la zona multiestratificada podría englobar potencialmente a especies de ambos tipos de macrófitos y la estimación de cobertura total estará siempre comprendida igualmente entre el 0 y el 100 %.



Fotografía 29. Varias especies de hidrófitos en diferentes profundidades de la columna de agua.

En ambos casos, cuando alguna de las especies superpuestas no sea una especie característica del tipo se considerará, a efectos de determinación de ambas métricas, la cobertura de la especie característica del tipo que sea la dominante en las áreas de superposición. Es decir, en el caso de que alguna de las especies superpuestas fuese indicadora de condiciones eutróficas o exótica, la cobertura de ésta se consideraría únicamente a los efectos del cálculo de las métricas “Cobertura total de macrófitos indicadores de condiciones eutróficas” y/o “Cobertura total de macrófitos exóticos”, siendo sin embargo prioritarias las especies características del tipo para las métricas de cobertura de especies típicas. No obstante, en el caso de que se tengan problemas para la identificación en campo de las distintas especies y su consiguiente asignación a estos grupos de especies, se deberá estimar la cobertura de todas las especies presentes en estas capas multiestratificadas, y los datos deberán ser refinados una vez resuelta la duda taxonómica.

Tanto para hidrófitos como para helófitos (y los anfífitos en su caso) la cobertura únicamente se evaluará en aquellas partes de la cubeta y las orillas que en principio sean colonizables por éstos (Camacho et al., 2009a), según lo siguiente:

- Cobertura de **hidrófitos** en aquellas partes de la cubeta del lago que reúnan unas condiciones tales que permitan su desarrollo: zona inundada no rocosa ni pedregosa, con pendiente $< 30^\circ$, hasta 2 metros de profundidad. Para las métricas “Presencia/ausencia de hidrófitos” y “Riqueza de especies de macrófitos”, se incluirán además los taxones que se encuentren por debajo de 2 m de profundidad.
- Cobertura de **helófitos** de aquellas partes del litoral de la cubeta que permitan su colonización: orillas no rocosas, ni pedregosas y con pendiente $< 30^\circ$.

Por estos motivos sólo se han de ubicar puntos de muestreo en zonas colonizables. En el caso de que la zona no colonizable supere el 80% de la superficie de la zona a evaluar (la cubeta hasta los 2 metros o las orillas, respectivamente), la métrica correspondiente no se evaluará. No se considerarán zonas no colonizables, tanto para hidrófitos como helófitos, aquellas partes de la cubeta y de la zona emergida de la orilla en las que las condiciones que presenten en el momento del muestreo y que eviten, en su caso, su colonización por macrófitos, sean consecuencia de afecciones de tipo antrópico.

En los resultados debe indicarse si son especies características de cada uno de los tipos, especies indicadoras de aguas eutróficas o especies exóticas. Estos datos, que desgranar por especies la riqueza de macrófitos, serán los utilizados para la estimación de la métrica “Riqueza de especies de macrófitos”, y los datos de abundancia (cobertura) por especie servirán para la evaluación de las métricas de cobertura. Estos datos, tanto de relación de taxones de macrófitos presentes como sus coberturas asociadas se tendrán que recoger en todos los puntos de muestreo que se lleven a cabo dentro del lago, y su posterior agregación, explicada más adelante, permitirá el cálculo de las métricas que se han definido para la evaluación del estado ecológico en cada masa de agua correspondiente a la categoría lago.

En el caso de los hidrófitos se determinará también, en cada uno de los puntos de muestreo de los lagos con una profundidad superior a 2 metros, la profundidad máxima de colonización, así como cuál es la especie que llega a esa profundidad.



Fotografía 30. Diferentes tipos de macrófitos en lagunas
(IZDA: *Myriophyllum*; DCHA: *Polygonum*).

Para la determinación de las métricas “Presencia/ausencia de hidrófitos” y “Riqueza de especies de macrófitos” se considerarán también aquellas especies que se encuentren por debajo de los 2 metros de profundidad.

Para la agregación de los datos obtenidos en los distintos puntos de muestreo con el objetivo de calcular unos valores de métricas para cada lago, se procederá como se explica a continuación. En cada transecto se establecerá, para cada uno de los dos grupos (hidrófitos y helófitos), el porcentaje aproximado de cobertura de cada uno de los grupos en términos numéricos, mediante la suma de las coberturas de las especies correspondientes a cada grupo, respectivamente (teniendo en cuenta las especificaciones dadas para el caso de multiestratificación).

Estos datos conjuntos de porcentaje (%) de cobertura se promediarán para todos los puntos de muestreo de todos los transectos y los resultados se utilizarán para la estimación de las métricas de cobertura. Todos

estos cálculos se realizan con promedios simples ya que las superficies de muestreo de todos los puntos se asume que son iguales (20 m²). En el caso de que algún punto de muestreo no pudiera hacerse con la misma superficie, debería hacerse una normalización en cada punto dividiendo la métrica por la superficie muestreada. De este modo todas las mediciones estarían referidas a la misma superficie (1 m²) y podrían promediarse y así mismo referirse a la superficie estándar de 20 m².

MACROINVERTEBRADOS

Se consideran macroinvertebrados bentónicos, a aquellos invertebrados que viven asociados a los distintos sustratos de un ecosistema acuático (bentos), habitualmente adheridos a la superficie y que por su tamaño pueden ser observados a simple vista y retenidos en redes de luz de malla de 250-300 µm. Comprende generalmente aquellos organismos que al final de su desarrollo larval o en su estadio adulto alcanzan un tamaño igual o superior a 3 mm.

PROCEDIMIENTO DE MUESTREO

El procedimiento de toma de muestras de un elemento de calidad tiene estrecha relación con las métricas seleccionadas para la clasificación del estado ecológico de la categoría de masa de agua en cuestión. Para el caso de la categoría lagos naturales, no existen, de momento, unas directrices oficiales de muestreo para el elemento de calidad "invertebrados bentónicos" ni sobre las métricas que han de emplearse para su evaluación. Para los muestreos se han seguido las recomendaciones que a este respecto establece el documento sobre condiciones de referencia y clasificación de estado ecológico (CIS Working Group 2.3. – REFCOND, 2005), y también se han tenido en consideración los trabajos previos que se han realizado tanto en nuestro país como en otros de la unión europea.

En el caso de los lagos y humedales, la comunidad litoral es la que se ha considerado para los muestreos. Esta comunidad refleja no sólo las presiones relacionadas con la calidad del agua y el estado trófico sino también las presiones hidromorfológicas. Las zonas para el muestreo del litoral de los lagos y humedales han sido seleccionadas de modo que éstas fuesen representativas de la diversidad de hábitats existente y de los posibles impactos humanos debidos a las actividades y/o usos existentes en el lago y en zonas circundantes.

Una vez seleccionados los hábitats a muestrear del litoral del lago, se ha realizado la recogida de macroinvertebrados haciendo pasadas con una red de muestreo de mano tipo Kicker con una luz de poro de 500 µm. El tiempo empleado para el muestreo de cada hábitat ha sido proporcional al porcentaje de cada hábitat presente en el litoral del lago o humedal. Para la realización del muestreo con la red se ha seguido el método del "dipping", realizando con la red de mano un recorrido de bajada desde la superficie hasta aproximadamente 1 metro del fondo, y volviendo a subir hasta superficie a continuación.

Esta muestra se ha completado con la limpieza de piedras sumergidas, siempre que hubiera este tipo de sustrato, para recoger aquellos organismos adheridos a ellas y que por tanto no pueden encontrarse con las pasadas de la red.

MÉTRICAS CALCULADAS

Con los resultados obtenidos se ha realizado un inventario taxonómico completo y se han calculado las siguientes métricas:

- R: Número de especies o riqueza específica de la muestra.
- Índice ETO: suma del número de familias de Ephemeroptera, Trichoptera y Odonata.
- %ETO: porcentaje de individuos de Ephemeroptera, Trichoptera y Odonata con respecto a la abundancia total.
- Taxón dominante dentro del conjunto de taxones presentes en la muestra.
- Porcentaje de abundancia del taxón dominante.
- % OLI: Porcentaje de oligoquetos
- N° TAX ML+CR : Número de taxones de moluscos y crustáceos

INDICADORES FISICOQUÍMICOS

Se ha llevado a cabo la determinación “in situ” de los siguientes parámetros fisicoquímicos:

- pH
- Oxígeno disuelto
- Conductividad
- Temperatura
- Transparencia

Junto a la determinación de estos parámetros “In situ”, se realiza una inspección sensorial (observación visual y apreciación olfativa) en los puntos de control para determinar la presencia de los siguientes parámetros en el agua:

Color	Para el cual no debe existir ningún cambio anormal en la zona
Fenoles	Sin olor específico presente en la zona
Aceites Minerales	Sin película en la superficie del agua y ausencia de olor
Sustancias Tensoactivas	No debe existir una presencia de espumas persistentes

Se realiza un perfil vertical de los parámetros fisicoquímicos, desde embarcación, mediante el empleo de una sonda o equipo multiparamétrico, que mida simultáneamente temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto, turbidez y clorofila a, entre otros; y del disco de Secchi para determinar la transparencia.

De los parámetros que se muestran en la tabla siguiente se obtiene un perfil vertical con determinaciones cada segundo.

Tabla 8. Parámetros analizados en los perfiles con la sonda multiparamétrica.

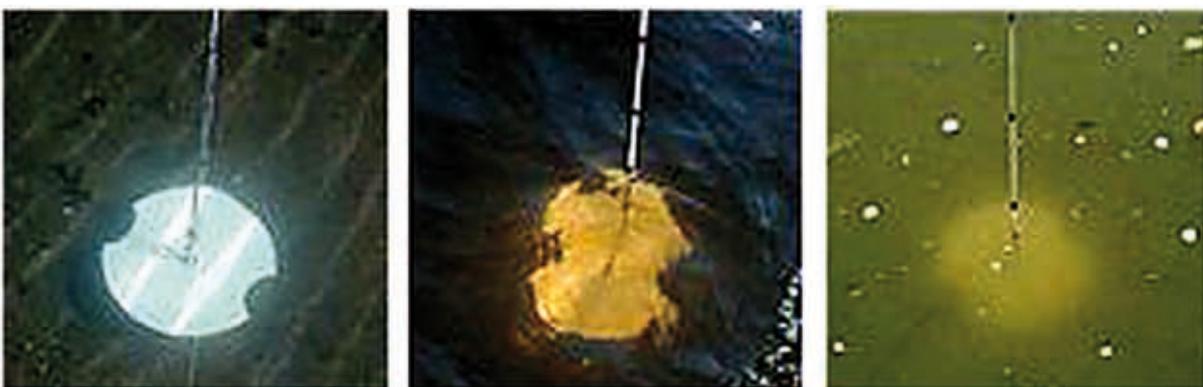
Parámetro	Método	Rango de medida	Resolución	Unidades
Temperatura	Sensor HACH	-5 - 50	0,1	°C
Turbidez	Sensor HACH	0 - 1000	1	NTU
Conductividad	Sensor HACH	0 - 100	0,001	mS/cm
pH	Sensor HACH	0 - 14	0,2	Unidades
Oxígeno disuelto	Sensor HACH	0 - 50	0,01	mg/l
Clorofila a	Sensor HACH	0 - 500	0,01	µg/l

Asimismo, se cuenta con diferentes procedimientos operativos dentro del sistema para asegurar la calidad de los trabajos en campo, en los que se determina la incertidumbre de medida anual de cada uno de los equipos y la aceptación o rechazo del mismo para la realización de las tareas de campo.

- **Determinación de pH:** Se han tomado como referencia las especificaciones contempladas en el método 150.1 de análisis de pH recogido en “*Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes*” de la United States Environmental Protection Agency (EPA). Mediante la utilización del método potenciométrico no se producen, en términos generales, interferencias debidas a coloración de la muestra, turbidez, presencia de materia coloidal, oxidantes, reductores ni salinidad alta.

Así mismo, se dispone de los siguientes reactivos: agua destilada para el lavado del electrodo del pH-metro y soluciones estándar para calibración a diferentes pH (4.01, 7.00 y 10.00 normalmente).

- **Determinación de la conductividad:** Se han tomado como referencia el método EPA 120.1 de medida de la conductividad eléctrica recogido en “*Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes*” de la United States Environmental Protection Agency (EPA) y la Norma UNE-EN 27888 de “*Calidad del agua. Determinación de la conductividad eléctrica*”.
- **Determinación del oxígeno disuelto:** Las mediciones de este parámetro se realizan tomando como referencia la Norma UNE-EN 25814 “*Calidad del agua. Determinación del oxígeno disuelto. Método Electroquímico*”.
- **Transparencia. Secchi:** La determinación de transparencia se realiza mediante la medición de la profundidad con el disco de Secchi. Para ello se sumerge lentamente el disco, unido a su cadena o cuerda, en el agua hasta que apenas sea visible desde arriba. Se anota esa profundidad o se procede a marcarla para su posterior medida, considerando desde la superficie del agua. Una vez que no se aprecia el disco se sumerge algo más antes de hacerlo ascender lentamente hacia la superficie. Dicho ascenso se realiza también lentamente. Cuando se vuelve a observar el disco se anota esa profundidad o se procede a marcarla para su posterior medida. Si la diferencia entre las dos profundidades medidas es inferior a 10 cm se considera una medida correcta. Si por el contrario la diferencia es superior debe repetirse.



Fotografía 31. Fases del muestreo mediante disco de Secchi.

Hay que tener en cuenta que:

- La determinación se efectúe con unas condiciones adecuadas de iluminación.
- Cuando sea posible, las lecturas del disco de Secchi se realizarán cuando el sol no se encuentre oculto por las nubes.
- Es recomendable realizar las medidas dejando el sol a la espalda del técnico que las lleva a cabo.
- Si se observa la presencia de turbulencias que pudieran influir en la realización de la medida se recomienda la ejecución de ésta en una zona próxima donde no existan dichas turbulencias



[3]

Resultados obtenidos



Laguna Grande del Tobar en Beteta, Cuenca.

EN ESTE APARTADO SE PRESENTAN los resultados obtenidos para cada masa de agua y campaña de muestreo. Primero se muestran los resultados fisicoquímicos obtenidos en las lagunas con mayor número de datos y a continuación los resultados de los indicadores biológicos.

3.1 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

Como resumen global del estudio de los parámetros fisicoquímicos medidos en las lagunas analizadas en este estudio, se muestran unas gráficas que representan las variaciones temporales de los parámetros:

- Clorofila a ($\mu\text{g/l}$): medida espectrofotométrica en laboratorio
- Profundidad de visión del disco de Secchi (m)
- Temperatura media en la columna del agua ($^{\circ}\text{C}$)
- Conductividad media ($\mu\text{S/cm}$)
- Oxígeno disuelto medio (%)
- pH medio de la columna de agua.

3.1.1 Laguna de Taravilla

La Figura 2 contiene la información correspondiente a la laguna de Taravilla. En todas las campañas en las que se dispone de datos de clorofila analizada en el laboratorio, se observa que los resultados en esta laguna han estado por debajo del límite de cuantificación para este parámetro (1,8 $\mu\text{g/l}$).

Como cabe esperar, la profundidad del Secchi ha sido inferior en los muestreos de verano que en los de primavera, presentándose un mínimo de 3 metros (verano 2008) y un máximo de 8 metros (primavera 2010). Los datos de precipitación de 2010, así como del porcentaje de agua embalsada en la cuenca del Tajo coinciden con estos resultados, ya que ambos fueron sustancialmente superiores en 2010, y muy similares entre 2008 y 2009. Este aumento en la precipitación se ha visto reflejado en un aumento de la transparencia de la masa de agua.

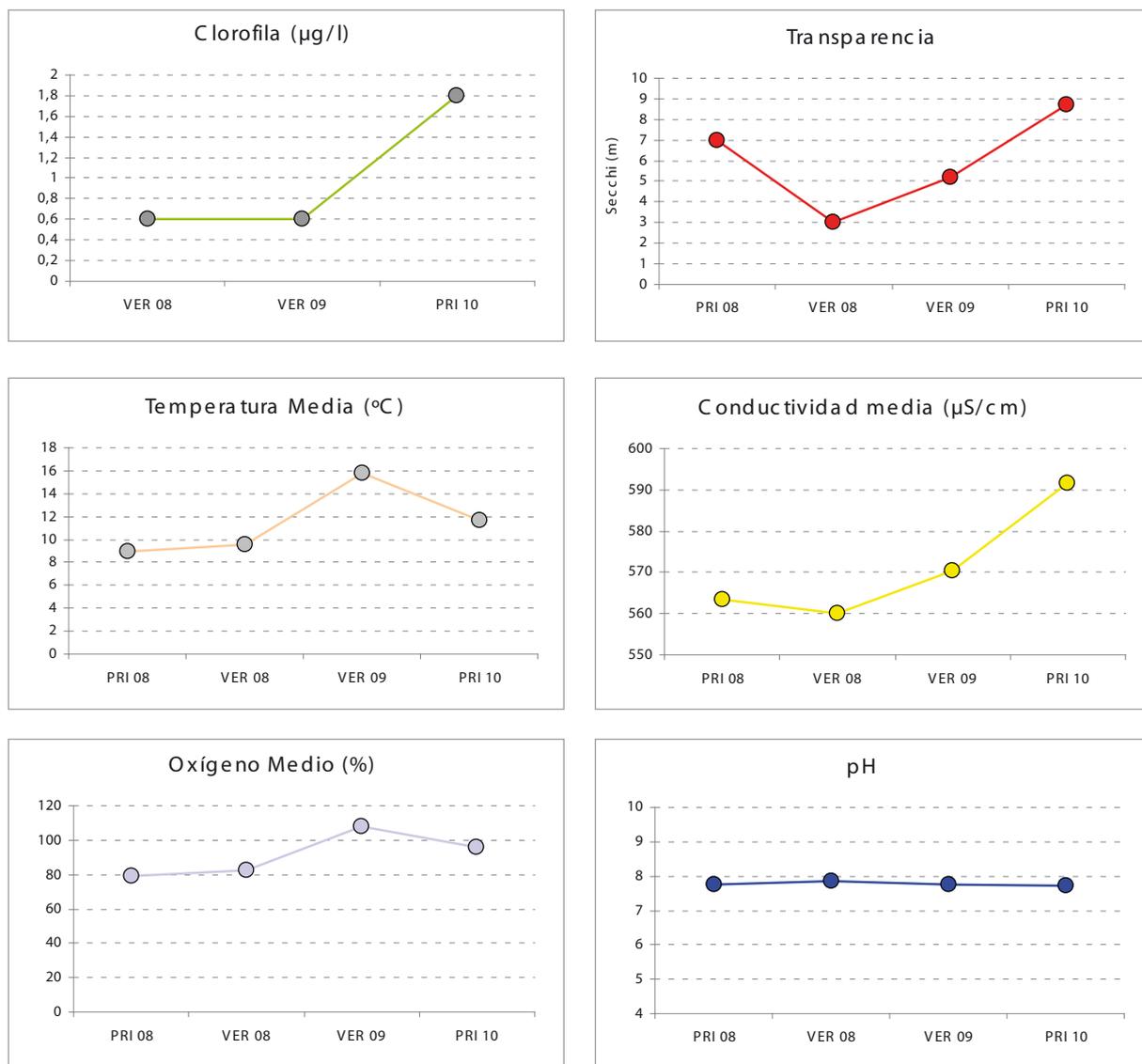


Figura 2. Evolución de diversos parámetros fisicoquímicos en la laguna de Taravilla.

Los datos de clorofila son resultados de análisis espectrofotométricos en laboratorio

3.1.2 Laguna de Somolinos

La Figura 3 contiene la información correspondiente a la laguna de Somolinos. Al igual que en la laguna de Taravilla, en todas las campañas en las que se dispone de datos de clorofila analizada en el laboratorio se observa que los resultados han estado por debajo del límite de cuantificación para este parámetro (1,8 $\mu\text{g/l}$). Además, los datos del disco de Secchi muestran el mismo patrón que en el caso anterior, ya que se ha observado el mínimo en el verano de 2008 (3,5 m) y el máximo (casi 7 m) en primavera de 2010.

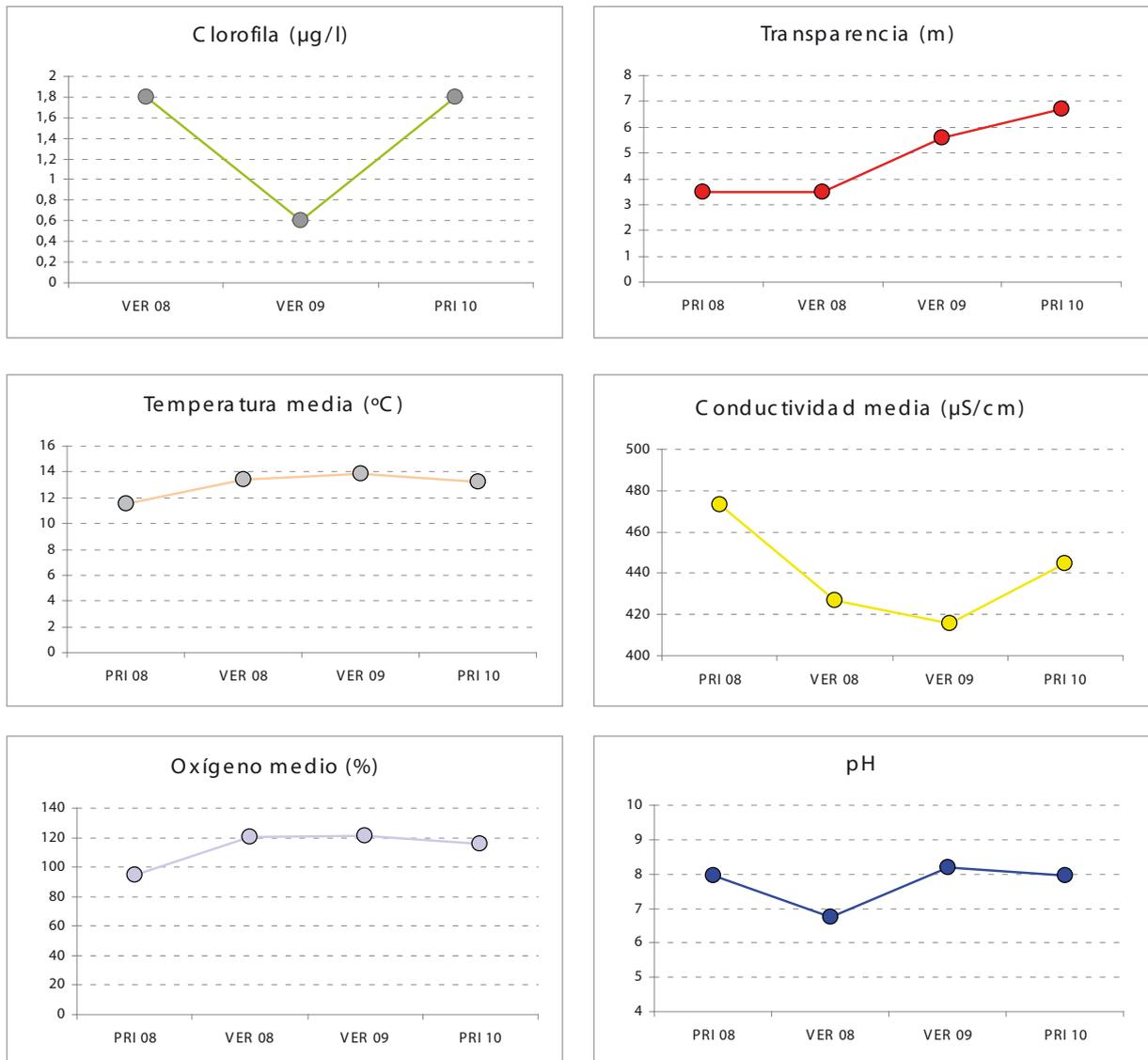


Figura 3. Evolución de diversos parámetros fisicoquímicos en la laguna de Somolinos.

Los datos de clorofila son resultados de análisis espectrofotométricos en laboratorio.

3.1.3 Laguna Grande del Tobar

La Figura 4 contiene la información correspondiente a la laguna Grande del Tobar. En todas las campañas en las que se dispone de datos de clorofila analizada en el laboratorio se observa que los resultados han estado por debajo del límite de detección para este parámetro (0,6 $\mu\text{g/l}$). Además de la tendencia en el disco Secchi, similar a la hallada en las lagunas anteriores, una característica particular de esta laguna se encuentra en las grandes fluctuaciones en los valores de conductividad, con valores crecientes desde primavera de 2008. Los valores medios alcanzados en la columna de agua de 1,2 mS la convierten en la laguna más salina de las 4 analizadas, presentando valores mínimos de 500 $\mu\text{S/cm}$.

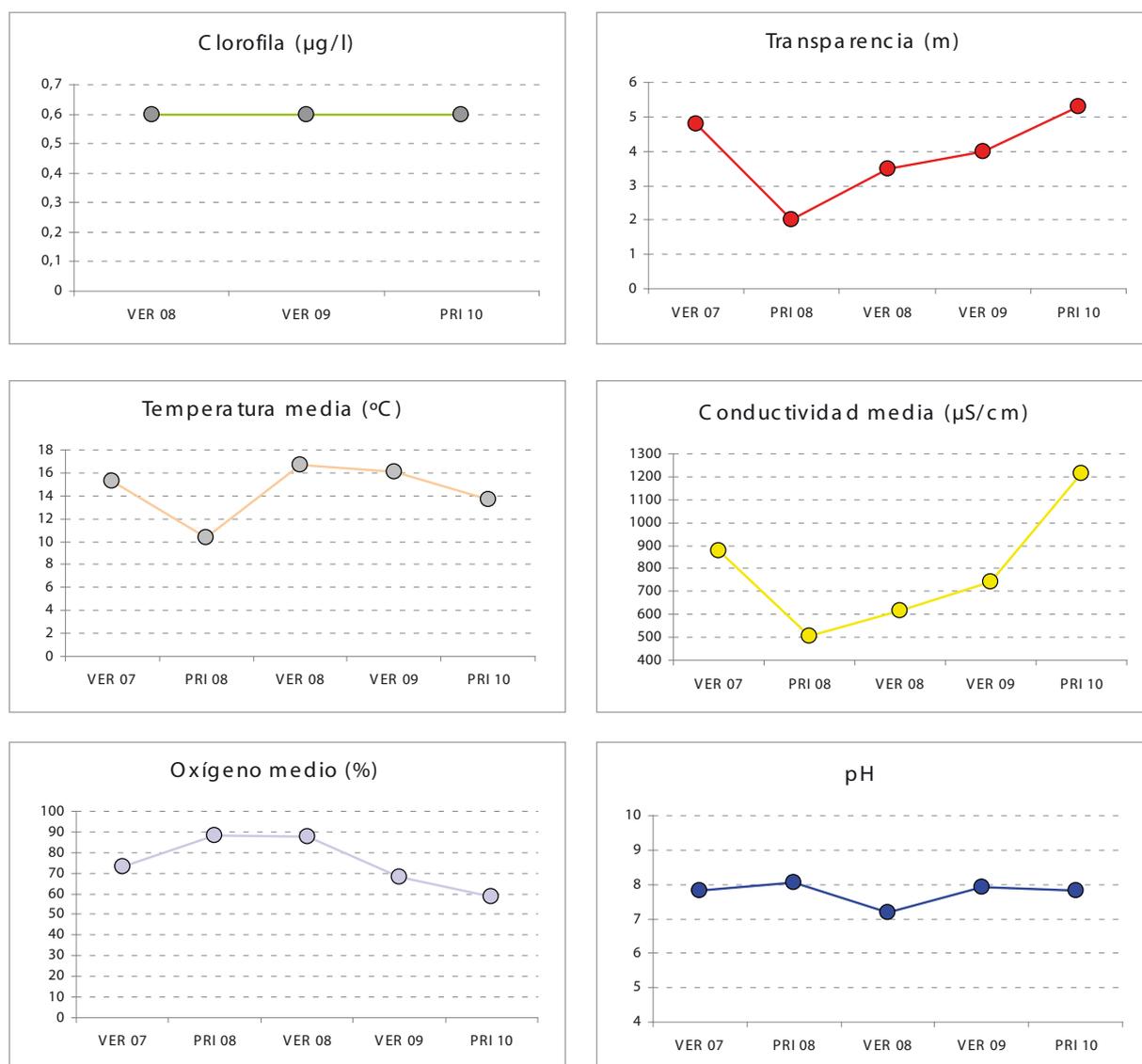


Figura 4. Evolución de diversos parámetros fisicoquímicos en la laguna Grande del Tobar.

Los datos de clorofila son resultados de análisis espectrofotométricos en laboratorio.

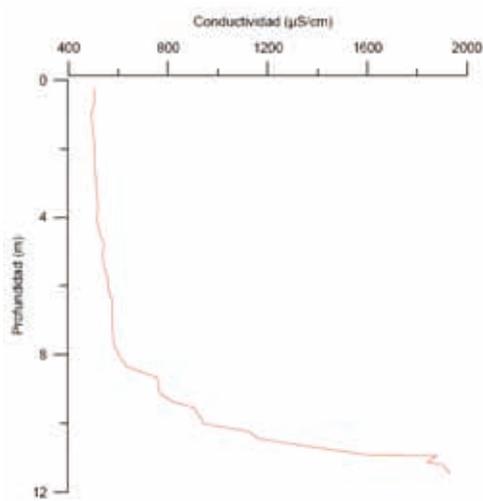


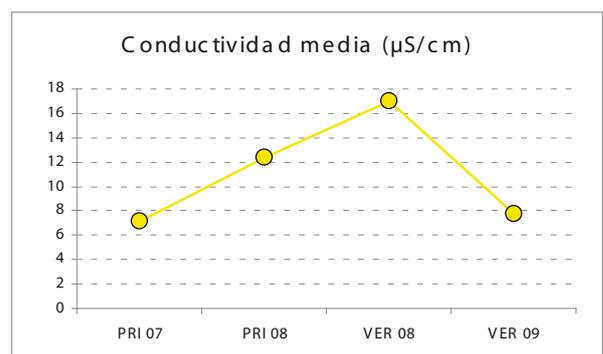
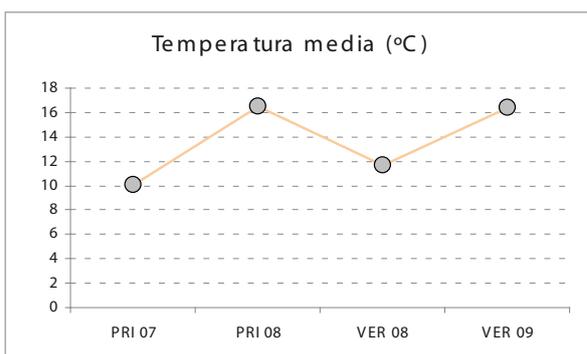
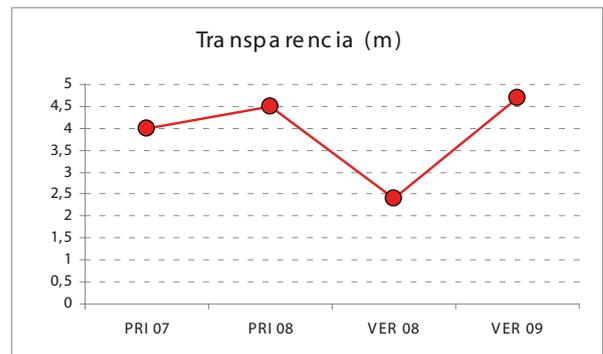
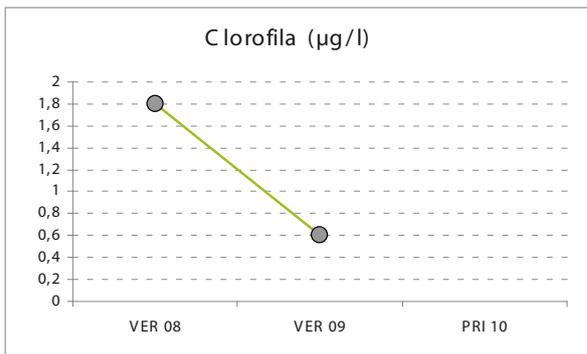
Figura 5. Perfil de conductividad en la laguna Grande del Tobar en la primavera de 2010.

En todos los perfiles realizados en esta laguna se observa el mismo patrón, con un aumento muy importante de la conductividad en el fondo, que ha llegado a alcanzar los 2 mS/cm en la campaña de 2010.

3.1.4 Laguna Grande de Peñalara

La Figura 6 contiene la información correspondiente a la laguna Grande de Peñalara. Como en los casos anteriores, en todas las campañas en las que se dispone de datos de clorofila analizada en el laboratorio se observa que los resultados han estado por debajo del límite de cuantificación para este parámetro (1,8 µg/l).

La menor profundidad del disco de Secchi se dio en 2008, de igual forma que ocurrió en el resto de las lagunas. Esta es la laguna que presenta menor conductividad, con valores que oscilan entre los 7 y los 17 µS/cm.



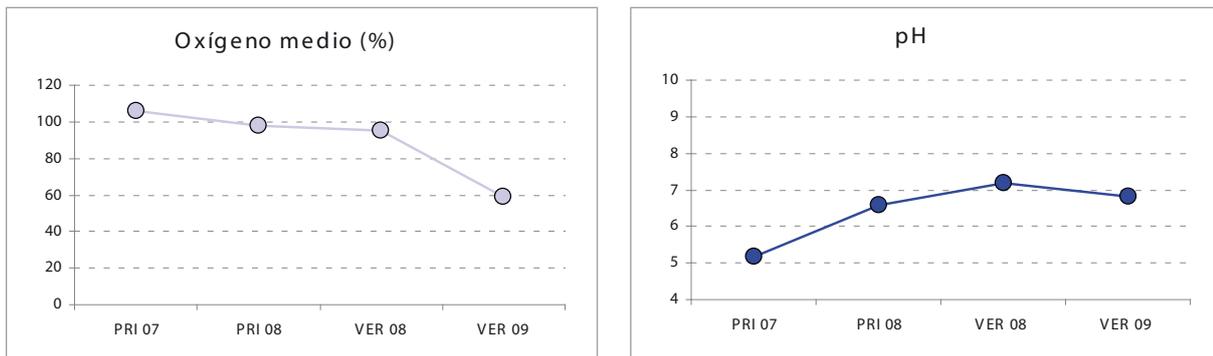


Figura 6. Evolución de diversos parámetros fisicoquímicos en la laguna Grande de Peñalara.

Los datos de clorofila son los resultados de análisis espectrofotométricos en laboratorio.

3.2 INDICADORES BIOLÓGICOS

3.2.1 Macroinvertebrados

Dada la escasez de datos relativos a los macroinvertebrados bentónicos, se muestra brevemente en la Figura 7 la variación temporal de la riqueza taxonómica para cada laguna.

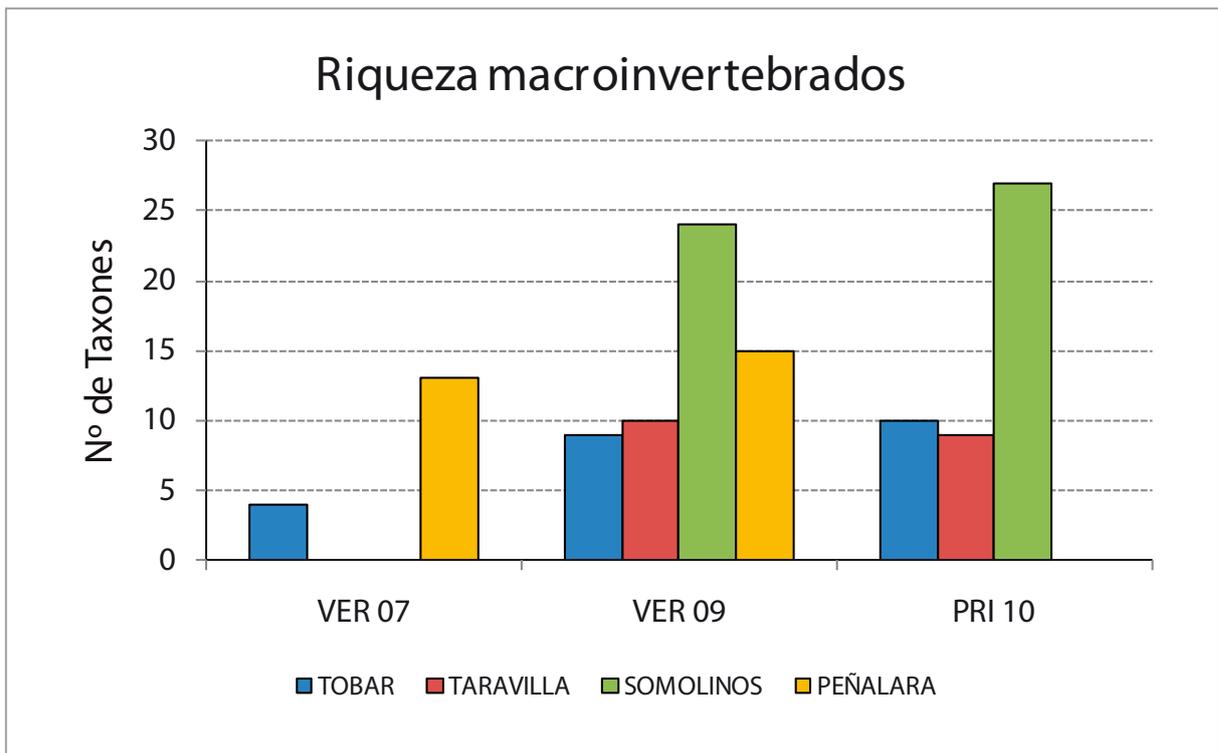
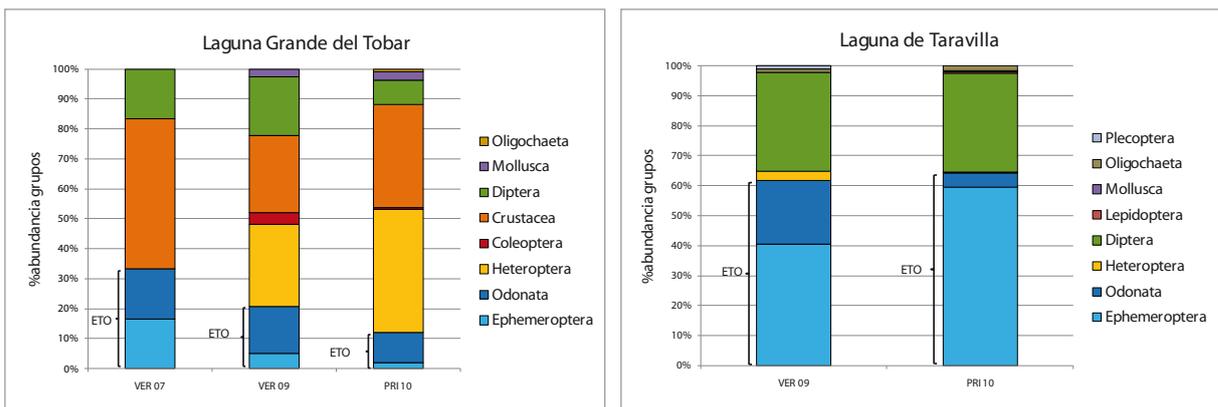


Figura 7. Riqueza taxonómica de macroinvertebrados para las campañas en las que se dispone de datos.

En la comparativa se observa que la laguna de Somolinos es la que presenta una mayor riqueza taxonómica de macroinvertebrados, por encima de la laguna Grande de Peñalara, La laguna del Tobar y la de Taravilla.



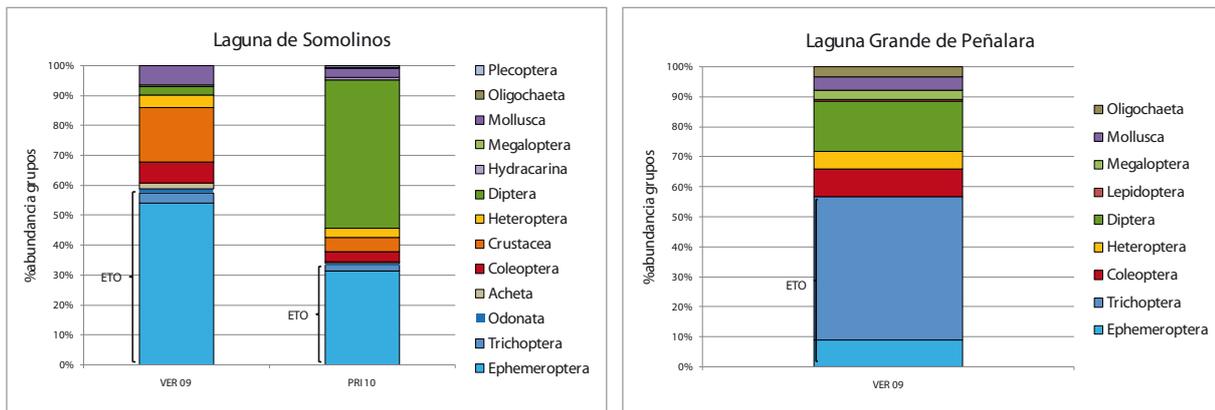


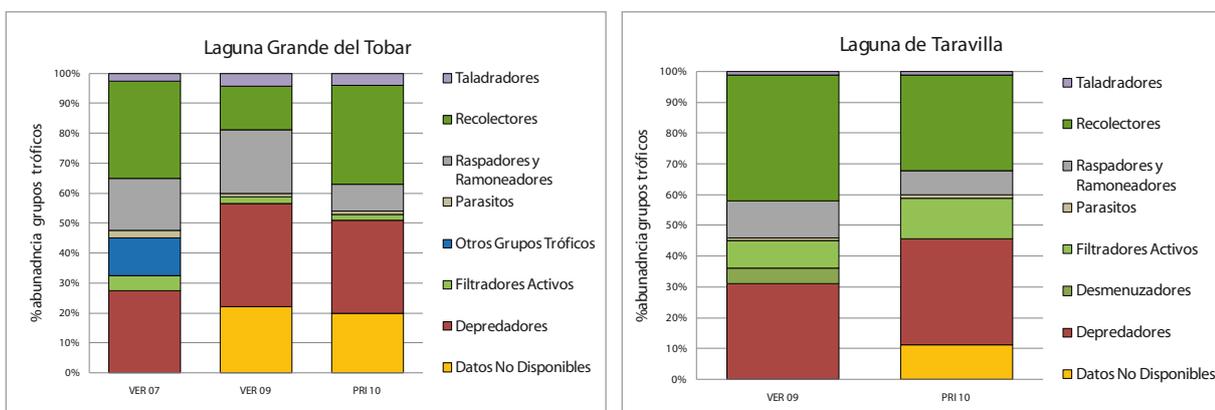
Figura 8. Porcentaje de abundancia de los principales grupos de macroinvertebrados.

En la Figura 8 se resumen brevemente los porcentajes de los distintos grupos de macroinvertebrados identificados en las lagunas muestreadas.

Para la laguna Grande del Tobar, los grupos mayoritarios son siempre Ephemeroptera, Heteroptera y Odonata.

La laguna de Taravilla tampoco presentó grandes diferencias durante las campañas de verano 2009 y primavera 2010. Los grupos dominantes en ambos casos fueron Ephemeroptera y Diptera. Para la laguna de Somolinos, se aprecia un cambio significativo en el porcentaje de taxones del grupo Diptera, aumentado durante la campaña de primavera 2010 en detrimento del grupo Ephemeroptera y Crustacea. Por último, la composición taxonómica de la laguna Grande de Peñalara, de la que sólo se dispone de datos de abundancia para la campaña verano 2009, se caracterizó por una dominancia del grupo Trichoptera y subdominancia de los grupos Diptera, Coleoptera y Ephemeroptera.

En la Figura 9 se representan los porcentajes de los distintos grupos tróficos identificados para cada una de las lagunas en las campañas de muestreo realizadas entre 2007 y 2010.



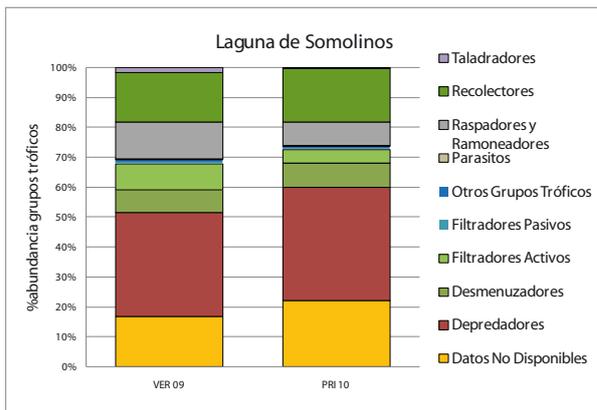


Figura 9. Porcentaje de abundancia de los principales grupos tróficos de macroinvertebrados.

En la laguna Grande del Tobar, los resultados muestran un equilibrio entre el porcentaje de taxones recolectores, raspadores y ramoneadores y el grupo de depredadores. Para la laguna de Taravilla, la mayor parte de los taxones identificados se agruparon en ambas campañas en recolectores y depredadores. En el caso de la laguna de Somolinos, los resultados son similares a los obtenidos en Taravilla, aunque el porcentaje de taxones de los que no se dispone de información fue mayor. No se dispone de datos para la laguna Grande de Peñalara.

3.2.2 Macrófitos

Durante la realización de la campaña de primavera 2010, la metodología del CEDEX estaba en fase de borrador, por lo que la información disponible para la realización de los trabajos estaba aún incompleta. Éstos se planificaron realizando diversos transectos/puntos para hidrófilos y helófitos en conjunto, en cada laguna. Hay que destacar también que en el momento en el que se realizaron los muestreos no se había desarrollado una metodología clara para solventar los casos de multiestratificación de especies en la columna de agua. Por este motivo, para cada punto de muestreo se anotó en campo si era un punto de orilla o de interior y se anotó la cobertura visual de cada especie identificada. Además se hizo un recorrido general por la laguna anotando todas las especies adicionales que se encontraban de cara a las métricas de riqueza y presencia/ausencia.

Para las lagunas de Taravilla, Somolinos y el Tobar, se muestrearon 4 zonas perpendiculares a la orilla, partiendo de ésta hacia aguas adentro. La longitud de cada transecto llegó en cada caso hasta donde se alcanzaron los 2 m de profundidad o hasta que no hubo hidrófitos y la anchura de cada uno de ellos fue de al menos 2 m.

Si la longitud del transecto resultó mayor de 10 m, se dividió el muestreo en más de un punto (ver el caso de la laguna de Somolinos, con más de un punto de muestreo en algunas de las zonas), anotando en cada uno la superficie muestreada. La superficie de todos los puntos de cada transecto, siempre que fue posible, fue como mínimo de 20 m².

Como se comentó anteriormente, en cada punto de muestreo se anotó la cobertura de cada especie individualmente, aunque no los casos en los que se detectó multiestratificación ni las coberturas globales de grupos (hidrófitos, helófitos, macrófitos) por lo que estos datos de cobertura específica han sido tratados posteriormente en gabinete para el cálculo de las métricas de “cobertura de hidrófitos”, “cobertura de helófitos” y “cobertura de macrófitos”.

Se han realizado tres tipos de cálculos de agrupamiento de coberturas para tener en cuenta los casos más favorables, los menos favorables y un promedio de ambos y así poder realizar una comparativa de todos los resultados.

- A.** Cálculo de cobertura global de grupos de vegetación (hidrófitos, helófitos, macrófitos) mediante la suma de las coberturas de las especies características de cada tipo. En el caso de que estas coberturas sumen más de 100 (debido a situaciones de multiestratificación), el porcentaje se ha asimilado al 100%. Para cada laguna se ha realizado un promedio de este dato para todos los puntos. Esta sería la situación más favorable.
- **Hidrófitos:** Suma de los % de cobertura en todos los puntos (orilla e interior) de las especies características del tipo pertenecientes al grupo de los hidrófitos.
 - **Helófitos:** Suma de los % de cobertura de las especies características del tipo en los puntos ubicados en las zonas de orilla pertenecientes al grupo de los helófitos
 - **Macrófitos:** Suma de los porcentajes anteriores. En el caso de que esta suma supere el 100% (debido a situaciones de multiestratificación), el porcentaje se ha asimilado al 100%.
- B.** Cálculo de cobertura global de grupos de vegetación (hidrófitos, helófitos, macrófitos) tomando en cada punto el porcentaje de la especie con mayor cobertura. Para cada laguna se ha realizado un promedio de este dato para todos los puntos. Esta sería la situación menos favorable.
- **Hidrófitos:** tomar en cada punto el porcentaje de la especie característica de hidrófito con mayor cobertura.
 - **Helófitos:** tomar en cada punto de orilla el porcentaje de la especie característica de helófito con mayor cobertura.
 - **Macrófitos:** tomar en cada punto el porcentaje de la especie característica del tipo con mayor cobertura (tanto helófitos como hidrófitos)
- C.** Promedio de los dos datos de las métricas de cobertura calculados en A y B para cada grupo de vegetación. Esta sería la situación intermedia.

Hay que tener precaución en la interpretación de los resultados ya que no se ha realizado un muestreo específico de helófitos, sino que éstos se han muestreado siguiendo los patrones que se indicaron para los hidrófitos.

3.2.2.1 LAGUNA DE TARAVILLA

En la siguiente fotografía se muestran los puntos de muestreo para macrófitos que se realizaron en la laguna, en una superposición realizada sobre las ortofotos de la laguna.



Fotografía 32. Localización de puntos de muestreo de vegetación en la laguna de Taravilla.

Laguna profunda de menos de 50 ha.

La tabla siguiente presenta los resultados del elemento de calidad otra flora acuática en la laguna. Se presenta el listado taxonómico, tipo y características de cada grupo.

Tabla 9. Listado taxonómico de macrófitos en la laguna de Taravilla.

Taxón	TIPO	Característica de la tipología	Eutrófica	Exótica
<i>Helófito</i>	HELÓFITO	NO	NO	NO
<i>Phragmites australis</i>	HELÓFITO	SI	NO	NO
<i>Chaetophora sp</i>	HIDRÓFITO	NO	NO	NO
<i>Chara sp</i>	HIDRÓFITO	SI	NO	NO
<i>Hippuris vulgaris</i>	HIDRÓFITO	SI	NO	NO
<i>Potamogeton natans</i>	HIDRÓFITO	SI	NO	NO
<i>Tetraspora sp</i>	HIDRÓFITO	NO	NO	NO
<i>Zygnema sp</i>	HIDRÓFITO	NO	NO	NO

3.2.2.2 LAGUNA DE SOMOLINOS

En la siguiente fotografía se muestran los puntos de muestreo para macrófitos que se realizaron en la laguna, en una superposición realizada sobre las ortofotos de la laguna.



Fotografía 33. Localización de puntos de muestreo de vegetación en la laguna de Somolinos.

Laguna profunda de menos de 50 ha.

La tabla siguiente presenta los resultados del elemento de calidad otra flora acuática en la laguna. Se presenta el listado taxonómico, tipo y características de cada grupo.

Tabla 10. Listado taxonómico de macrófitos en la laguna de Somolinos.

Taxón	TIPO	Característica de la tipología	Eutrófica	Exótica
<i>Apium nodiflorum</i>	HELÓFITO	SI	NO	NO
<i>Carex riparia</i>	HELÓFITO	SI	NO	NO
<i>Chara sp</i>	HIDRÓFITO	SI	NO	NO
<i>Epilobium hirsutum</i>	HELÓFITO	NO	NO	NO
<i>Galium palustre</i>	HELÓFITO	NO	NO	NO
<i>Groenlandia densa</i>	HIDRÓFITO	SI	NO	NO
Hidrófito	HIDRÓFITO	NO	NO	NO
<i>Nasturtium officinalis</i>	HELÓFITO	NO	NO	NO
<i>Phragmites australis</i>	HELÓFITO	SI	NO	NO
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	HIDRÓFITO	SI	NO	NO
<i>Rorippa sp</i>	HELÓFITO	SI	NO	NO
<i>Scirpus lacustris</i>	HELÓFITO	NO	NO	NO
<i>Taxiphyllum</i> (Briófito)	HIDRÓFITO	NO	NO	NO

3.2.2.3 LAGUNA GRANDE DEL TOBAR

En la siguiente fotografía se muestran los puntos de muestreo para macrófitos que se realizaron en la laguna, en una superposición realizada sobre las ortofotos de la laguna.



Fotografía 34. Localización de puntos de muestreo de vegetación en la laguna Grande del Tobar.

Laguna profunda de menos de 50 ha.

La tabla siguiente presenta los resultados del elemento de calidad otra flora acuática en la laguna. Se presenta el listado taxonómico, tipo y características de cada grupo.

Tabla 11. Listado taxonómico de macrófitos en la laguna Grande del Tobar.

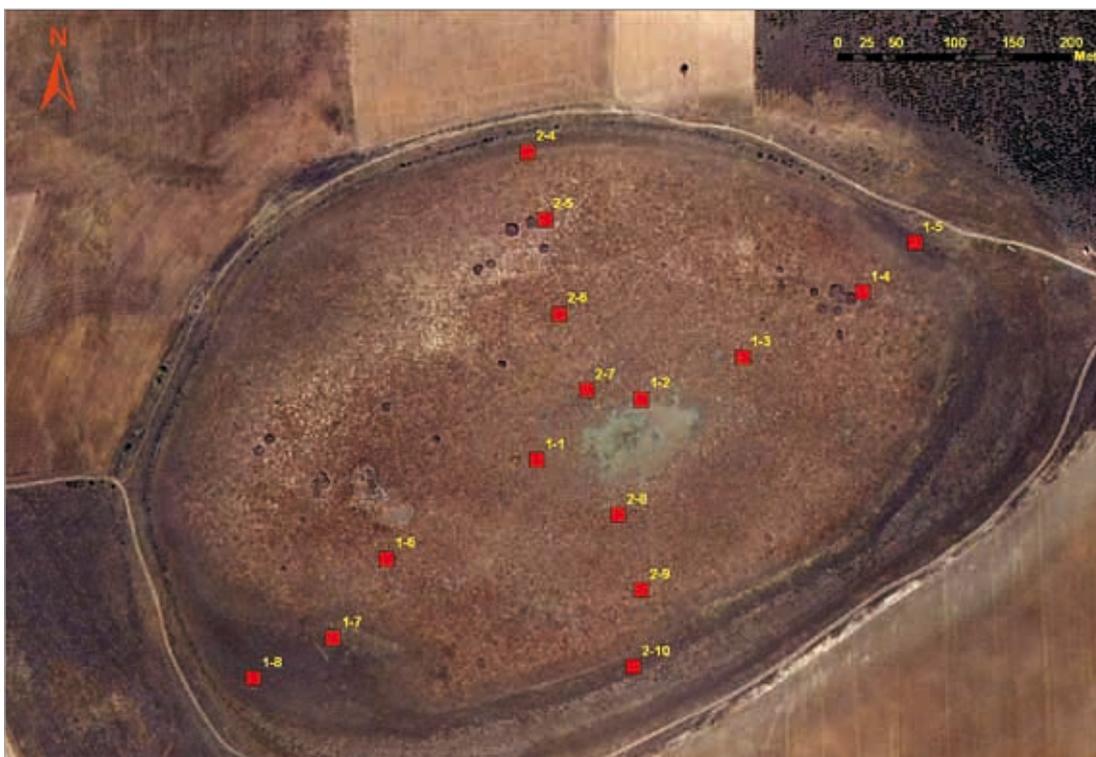
Taxón	TIPO	Característica de la tipología	Eutrófica	Exótica
<i>Phragmites australis</i>	HELÓFITO	SI	NO	NO
<i>Alga</i>	HIDRÓFITO	NO	NO	NO
<i>Chaetophora sp</i>	HIDRÓFITO	NO	NO	NO
<i>Lyngbya sp</i>	HIDRÓFITO	NO	NO	NO
<i>Myriophyllum spicatum</i>	HIDRÓFITO	SI	NO	NO
<i>Nuphar sp</i>	HIDRÓFITO	SI	NO	NO
<i>Phormidium sp</i>	HIDRÓFITO	NO	NO	NO
<i>Plectonema sp</i>	HIDRÓFITO	NO	NO	NO
<i>Rhizoclonium sp</i>	HIDRÓFITO	NO	SI	NO
<i>Spirogyra sp</i>	HIDRÓFITO	NO	SI	NO
<i>Taxiphyllum (Briófito)</i>	HIDRÓFITO	NO	NO	NO
<i>Zygnema sp</i>	HIDRÓFITO	NO	NO	NO

3.2.2.4 LAGUNA GRANDE DE BELEÑA

Para el ecotipo al que pertenece la laguna Grande de Beleña, la vegetación típica de la cubeta es todo el conjunto de macrófitos, considerando tanto los hidrófitos como los helófitos, y las especies integrantes de ambos grupos deben ser muestreadas en toda la extensión de la cubeta mediante transectos.

En la laguna de Beleña se realizaron de este modo 2 transectos perpendiculares, ya que la laguna era completamente vadeable, uno en el eje mayor y otro en el eje menor. Se analizaron 15 puntos de muestreo de 2x10 m, anotando la estimación visual del porcentaje de cobertura de cada especie.

En la siguiente fotografía se muestran los puntos de muestreo para macrófitos que se realizaron en la laguna, en una superposición realizada sobre las ortofotos de la laguna.



Fotografía 35. Realización de un transecto durante el muestreo de la laguna Grande de Beleña (campana primavera 2010).

Laguna somera de menos de 50 ha.



Fotografía 36. Realización de un transecto durante el muestreo de la laguna de Beleña (campana primavera 2010).

La tabla siguiente presenta los resultados del elemento de calidad otra flora acuática en la laguna. Se presenta el listado taxonómico, tipo y características de cada grupo.

Tabla 12. Listado taxonómico de macrófitos en la laguna de Beleña.

Taxón	TIPO	Característica de la tipología	Eutrófica	Exótica
<i>Eleocharis palustris</i>	HELÓFITO	SI	NO	NO
Helófito 1	HELÓFITO	NO	NO	NO
Helófito 2	HELÓFITO	NO	NO	NO
<i>Rumex sp</i>	HELÓFITO	NO	NO	NO
<i>Scirpus lacustris</i>	HELÓFITO	NO	NO	NO
<i>Callitriche brutia</i>	HIDRÓFITO	SI	NO	NO
Hidrófito 1	HIDRÓFITO	NO	NO	NO
<i>Isoetes velata</i>	HIDRÓFITO	SI	NO	NO
<i>Myriophyllum alterniflorum</i>	HIDRÓFITO	SI	NO	NO
<i>Ranunculus peltatus</i>	HIDRÓFITO	SI	NO	NO
<i>Tolypothrix sp</i>	HIDRÓFITO	NO	NO	NO

3.2.3 Comunidad fitoplanctónica

Como resumen global del estudio del fitoplancton en las lagunas muestreadas, se presentan a continuación unas gráficas relativas a las variaciones temporales en cada laguna con respecto a la abundancia y biomasa de los principales grupos fitoplanctónicos, así como las variaciones en abundancia y biovolumen total para cada periodo de estudio. La Figura 10 presenta los resultados relativos a la abundancia celular del fitoplancton, mientras que en la Figura 11 se muestran los resultados relativos al biovolumen.

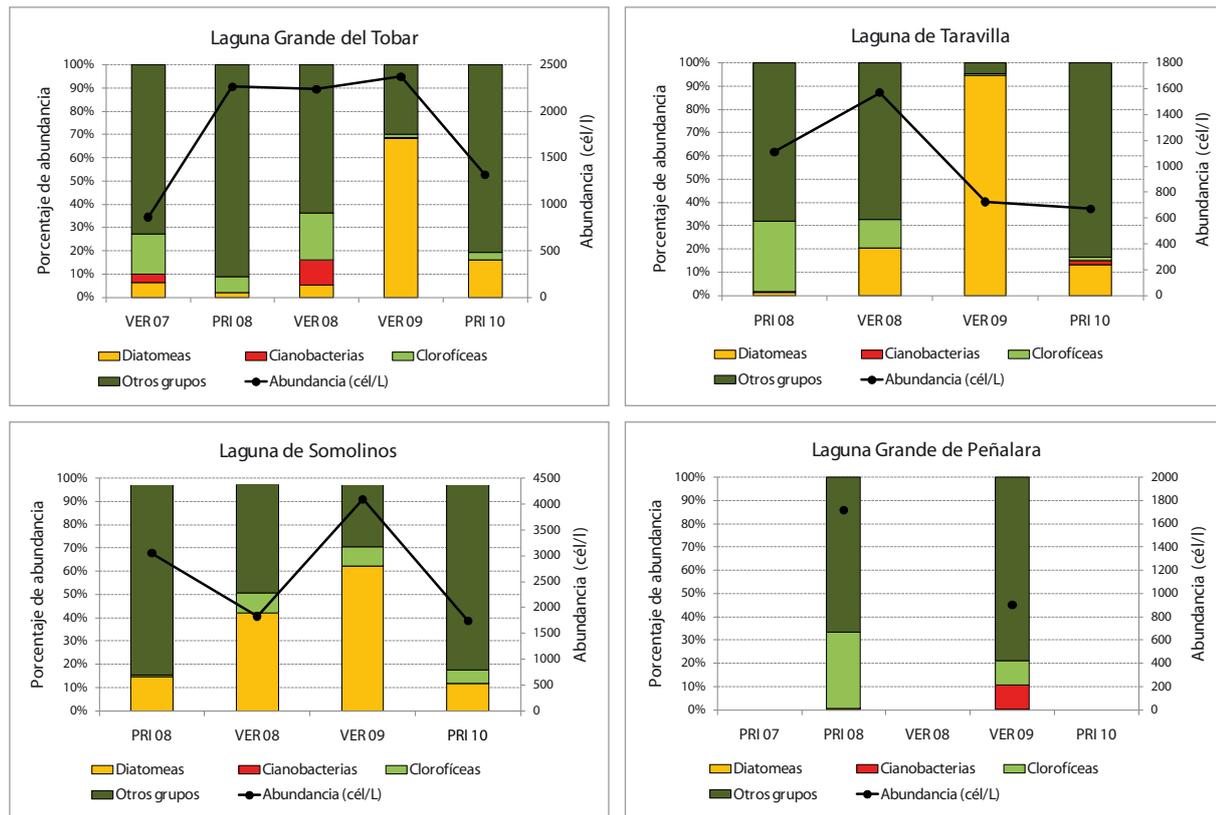


Figura 10. Abundancia total (cél/l) y porcentaje de abundancia de los principales grupos fitoplanctónicos.

En lo referente a los porcentajes de abundancia y biomasa de los principales grupos fitoplanctónicos, se observa, como tónica general, una escasa importancia del grupo de las cianobacterias, tanto en abundancia como en biovolumen. El porcentaje de este grupo en abundancia sólo ha alcanzado el 10% en muestras de verano en la laguna Grande del Tobar (verano 2008) y laguna Grande de Peñalara (verano 2009). En cuanto al porcentaje de este grupo referido al biovolumen total de la muestra, éste siempre ha sido menor que en el caso de la abundancia.

Como esquema predominante también se puede apreciar que en las muestras tomadas a comienzos de verano de 2009 (30 y 31 de junio), momento en el que ninguna de las lagunas muestreadas presentaba estratificación térmica, la abundancia, y, en menor medida, el biovolumen, estaban dominados porcentualmente por el grupo de las diatomeas, con la única excepción de la laguna Grande de Peñalara.

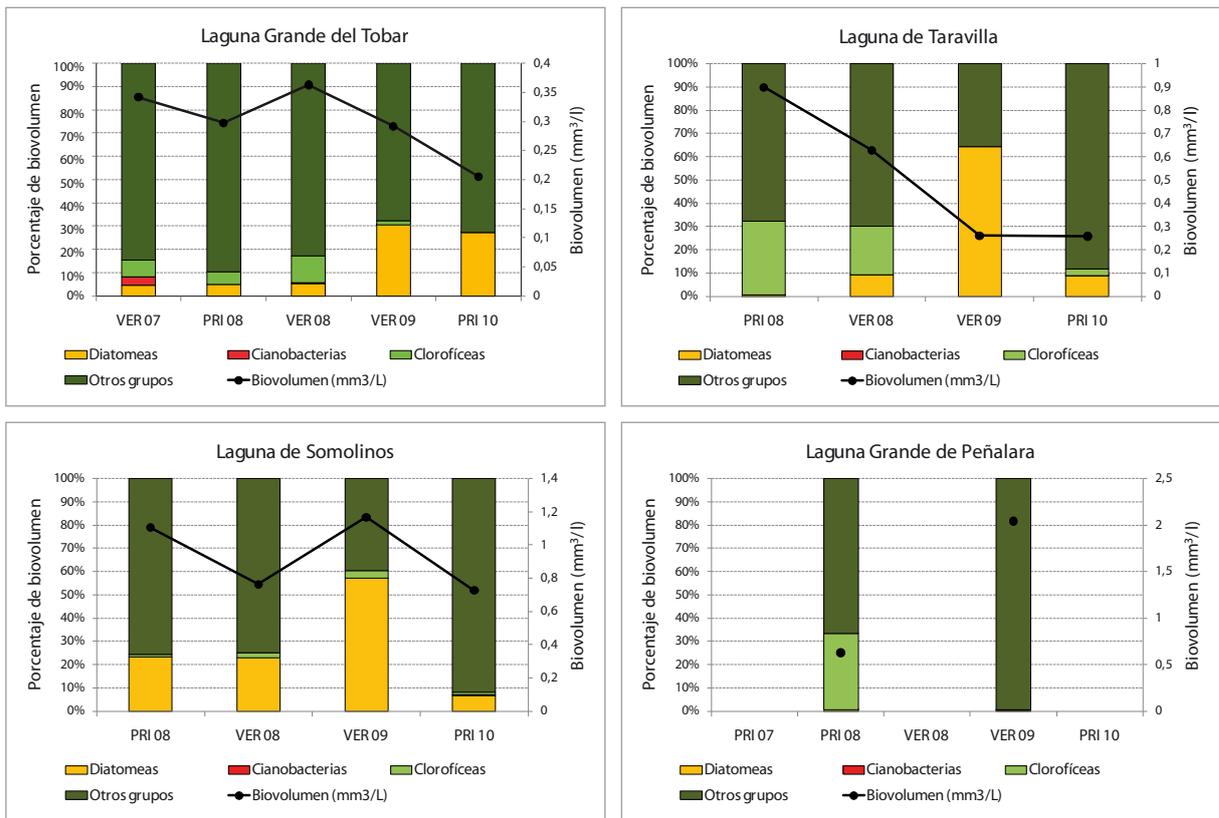


Figura 11. Porcentaje de biovolumen de los principales grupos fitoplanctónicos.

La siguiente figura hace una comparativa de la riqueza específica de fitoplancton para las 4 lagunas en las que se dispone de información suficiente.

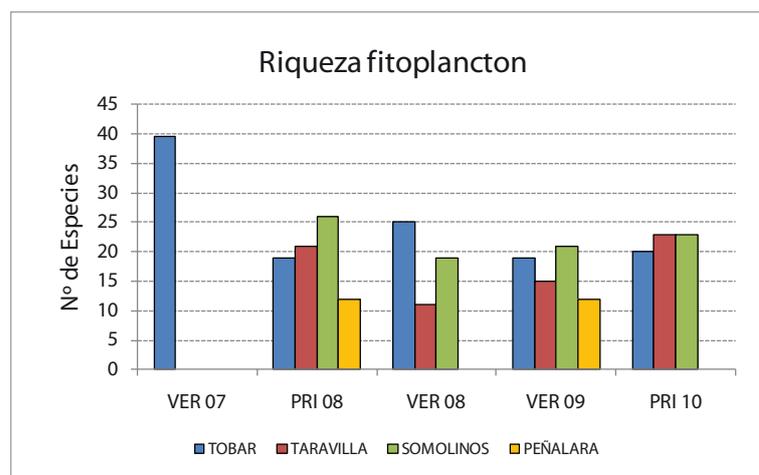


Figura 12. Riqueza taxonómica de fitoplancton para las campañas en las que se dispone de datos.

Por último, en las tablas a continuación se recogen los taxones potencialmente tóxicos encontrados en cada una de las lagunas, según la campaña de muestreo.

Durante la primavera de 2008, en la laguna Grande de Peñalara sólo se identificó un taxón potencialmente tóxico, *Planktolyngbya* sp. Por otro lado, la especie *Chrysochromulina parva* estuvo presente en el resto de lagunas muestreadas, siendo la laguna de Somolinos la más afectada por especies potencialmente tóxicas.

Tabla 13. Taxones fitoplanctónicos potencialmente tóxicos en lagunas en la campaña de muestreo de Primavera 2008.

Filo	Taxón	Lagunas donde aparece
Cyanobacteria	<i>Planktolyngbya</i> sp.	Laguna Grande de Peñalara
	<i>Lyngbya</i> sp.	Laguna de Taravilla
Haptophyta	<i>Chrysochromulina parva</i>	Laguna de Somolinos, Laguna de Taravilla, Laguna Grande del Tobar
Heterokontophyta	<i>Dinobryon divergens</i>	Laguna de Somolinos, Laguna de Taravilla
	<i>Pseudopedinella ambigua</i>	Laguna de Somolinos, Laguna Grande del Tobar

En la tabla 14, se indican los dos taxones potencialmente tóxicos identificados durante la campaña verano 2008. Estas dos especies fueron *Chrysochromulina parva* y *Dinobryon divergens*.

Tabla 14. Taxones fitoplanctónicos potencialmente tóxicos en lagunas en la campaña de muestreo de Verano 2008.

Filo	Taxón	Lagunas donde aparece
Haptophyta	<i>Chrysochromulina parva</i>	Laguna de Taravilla, Laguna Grande del Tobar
Heterokontophyta	<i>Dinobryon divergens</i>	Laguna de Somolinos, Laguna de Taravilla

Los resultados obtenidos en la campaña de verano 2009, se recogen en la Tabla 15. En total se identificaron 3 taxones potencialmente tóxicos: *Anabaena* sp., *Oscillatoria limnetica* y *Dinobryon divergens*.

Tabla 15. Taxones fitoplanctónicos potencialmente tóxicos en lagunas en la campaña de muestreo de Verano 2009.

Filo	Taxón	Lagunas donde aparece
Cyanobacteria	<i>Anabaena</i> sp.	Laguna de los Pájaros
	<i>Oscillatoria limnetica</i>	Laguna Grande de Peñalara, Laguna de los Pájaros
Heterokontophyta	<i>Dinobryon divergens</i>	Laguna de Somolinos, Laguna Grande del Tobar

En la campaña de Primavera 2010, la laguna Grande del Tobar es la que alberga un mayor porcentaje de taxones potencialmente tóxicos (10%), aunque en número de taxones la supera la laguna de Beleña con 3 taxones frente a los 2 de la del Tobar.

En la Tabla 16 se presenta una lista de los taxones potencialmente tóxicos. En esta tabla se puede apreciar que las especies potencialmente tóxicas más abundantes son *Aphanizomenon flos-aquae*, *Oscillatoria agardhii*, *Chrysochromulina parva*, *Dinobryon divergens* y *Oscillatoria planctonica*.

Tabla 16. Taxones fitoplanctónicos potencialmente tóxicos en lagunas en la campaña de muestreo de Primavera 2010.

Filo	Taxón	Lagunas donde aparece
Cyanobacteria	Aphanizomenon flos-aquae	Laguna Grande de Beleña
Haptophyta	Chrysochromulina parva	Laguna Grande del Tobar, Laguna de Taravilla, Laguna Grande de Beleña
Heterokontophyta	Dinobryon divergens	Laguna Grande del Tobar, Laguna de Taravilla, Laguna de Somolinos
Cyanobacteria	Oscillatoria agardhii	Laguna de Somolinos
Cyanobacteria	Oscillatoria planctonica	Laguna Grande de Beleña

Dentro de los efectos de estos taxones potencialmente tóxicos se pueden encontrar:

- Disminución de la biodiversidad.
- Reducción de los niveles de oxígeno.
- Variación de las especies de zooplancton por toxicidad.
- Alteración de las poblaciones de peces debida a la variación de la estructura de las comunidades planctónicas, lo que puede conducir al desequilibrio de la estructura trófica del ecosistema.
- Mortandad directa de peces.
- Bioacumulación en la cadena trófica por ingesta en vertebrados e invertebrados.
- Generación de mal sabor y mal olor del agua.
- Problemas relacionados con el uso del recurso hídrico, lo que limita su utilización desde el punto de vista turístico-recreativo.
- Problemas de colmatación de filtros en plantas potabilizadoras si el agua del embalse va destinada al uso potable así como obstrucción de aspersores y válvulas en el caso de que se destine a riego.

De forma general, la presencia de un afloramiento masivo de fitoplancton, independientemente de si éste es potencialmente tóxico o no lo es, puede ser responsable de un descenso brusco en las condiciones de oxigenación en la columna de agua. Esto sería debido al gran consumo de oxígeno que requiere la degradación de la gran cantidad de materia orgánica resultante de la muerte y degradación de las células fitoplanctónicas.

Dado que estas células muertas sufrirían un proceso de sedimentación en la columna de agua, esto aumentaría el consumo de oxígeno en las zonas profundas, ya que éste es necesario para descomponer la materia orgánica. De este modo, la proliferación masiva de algas podría ocasionar en las zonas superficiales una disminución en la transparencia del agua, y en las zonas profundas una disminución del oxígeno disuelto, generando situaciones de anoxia, con el metabolismo anaeróbico que esto acarrea.

[4]

Evolución del estado
de eutrofización



Laguna de Somolinos en Somolinos, Guadalajara.

LA EUTROFIZACIÓN NO NATURAL consiste en la incorporación excesiva de nutrientes y materia orgánica alóctonos a un ecosistema acuático. Esto supone la alteración de las condiciones de equilibrio del ecosistema, induciendo desviaciones en sus características, en su composición biótica y en los procesos de sucesión natural (Margalef et al. 1976).

El grado de eutrofización en las lagunas estudiadas en la cuenca del Tajo en el periodo 2007-2010 se ha valorado mediante estimaciones a partir de los datos del disco de Secchi, clorofila a planctónica y biovolumen fitoplanctónico siguiendo los criterios que se detallan a continuación.

4.1 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

Con el objetivo de estudiar el grado trófico de las lagunas se han empleado los límites específicos para ciertos parámetros de calidad del agua establecidos por el Programa Internacional Cooperativo de la OCDE para la Supervisión de Aguas Interiores en 1982. Igualmente se ha considerado la escala de valoración elaborada por Willen (Willen 2000) y empleada por la Confederación Hidrográfica del Ebro.

El establecimiento de programas de control de la eutrofización en masas de aguas, necesita previamente de una relación entre los términos tróficos establecidos (oligotrófico, mesotrófico, eutrófico e hipertrófico) y unos valores límite para ciertos parámetros indicativos de la calidad de un agua.

El empleo de valores “precisos” tiene limitaciones dado que una masa de agua puede presentar una clasificación en base a un parámetro y otra respecto a otro. El Programa Internacional Cooperativo de la OCDE para la Supervisión de Aguas Interiores (1982), proporciona valores límites específicos de fósforo total, clorofila a y disco de Secchi para embalses de zonas templadas (Tabla 17).

Para el caso concreto en el que los muestreos se hayan realizado en primavera - verano, se ha empleado la metodología específica definida por la OCDE para los muestreos llevados a cabo en la época de máxima producción anual (máximo anual de clorofila y mínimo anual de profundidad del disco de Secchi).

Tabla 17. Escala de valoración de parámetros para el cálculo del estado trófico según la OCDE.

PT	Cla (media anual)	Cla (máximo anual)	Secchi (media anual)	Secchi (mínimo anual)	ESTADO TRÓFICO
µg/l			m		
<4,0	<1,0	<2,5	> 12,0	> 6,0	ULTRAOLIGOTRÓFICO
<10,0	<2,5	<8,0	> 6,0	> 3,0	OLIGOTRÓFICO
10 - 35	2,5 - 8	8 - 25	6 - 3	3 - 1,5	MESOTRÓFICO
35 - 100	8 - 25	25 - 75	3 - 1,5	1,5 - 0,7	EUTRÓFICO
> 100	> 25	> 75	<1,5	<0,7	HIPEREUTRÓFICO

Para completar el estudio trófico se ha estimado el grado de eutrofización con los datos de biovolumen, siguiendo las directrices marcadas por Willen (2000) y seguidas en el “Protocolo de muestreo y análisis para fitoplancton”, elaborado por la Confederación Hidrográfica del Ebro, según el cual se establecen rangos de eutrofización indicados en la Tabla 18 (CH Ebro 2005).

Tabla 18. Eutrofización en función del biovolumen fitoplanctónico (Willen 2000).

GRADO DE EUTROFIZACIÓN	BIOVOLUMEN (mm ³ /l)
OLIGOTRÓFICO	< 1
MESOTRÓFICO	$1 \leq X \leq 2,5$
EUTRÓFICO	> 2,5

4.2 RESULTADOS DE LA VALORACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO

A continuación se muestra la Tabla 19, en la que se resume toda la información disponible sobre la clasificación del estado trófico de las lagunas en el periodo 2007 - 2010.

Tabla 19. Resultados de la valoración del estado trófico en las lagunas estudiadas desde 2007 a 2010.

LAGUNA	CÓDIGO	PARÁMETRO	CAMPAÑA											
			PRIMAVERA 2007		PRIMAVERA 2008		VERANO 2008		VERANO 2009		PRIMAVERA 2010			
			D	Valoración	D	Valoración	D	Valoración	D	Valoración	D	Valoración		
TOBAR	310001	BIOV (mm ³ /l)	0,35	OLIGO	0,36	OLIGO	0,29	OLIGO	0,21	OLIGO				
		CLA (µg/l)	0,76	ULTRAOLIGO	ND	ULTRAOLIGO	ND	ULTRAOLIGO	ND	ULTRAOLIGO				
		DS (m)	4,8	OLIGO	3,5	OLIGO	4	OLIGO	5,3	OLIGO				
PEÑALARA	31NML4	BIOV (mm ³ /l)	0,51	ULTRAOLIGO	0,46	OLIGO	2,04	MESO						
		CLA (µg/l)			< 1,8	ULTRAOLIGO	ND	ULTRAOLIGO						
		DS (m)	4	OLIGO	2,4	MESO	4,7	OLIGO						
TARAVILLA	31NML1	BIOV (mm ³ /l)			0,63	OLIGO	0,26	OLIGO	0,26	OLIGO				
		CLA (µg/l)			ND	ULTRAOLIGO	ND	ULTRAOLIGO	< 1,8	ULTRAOLIGO				
		DS (m)			3	MESO	5,2	OLIGO	8,7	ULTRAOLIGO				
SOMOLINOS	31NML3	BIOV (mm ³ /l)			1,1	MESO	1,17	MESO	0,73	OLIGO				
		CLA (µg/l)			0,5	ULTRAOLIGO	< 1,8	ULTRAOLIGO	< 1,8	ULTRAOLIGO				
		DS (m)			3,5	OLIGO	5,6	OLIGO	6,7	ULTRAOLIGO				
BELEÑA	31NML2	BIOV (mm ³ /l)							5,96	EU				
		CLA (µg/l)							13,6	MESO				
		DS (m)							FONDO					
PÁJAROS	31NML5	BIOV (mm ³ /l)						0,97	OLIGO					
		CLA (µg/l)							ND	ULTRAOLIGO				
		DS (m)							FONDO					
CLAVELES	31NML6	BIOV (mm ³ /l)						0,99	OLIGO					
		CLA (µg/l)							ND	ULTRAOLIGO				
		DS (m)							FONDO					

DS: Disco de Secchi; BIOV: Biovolumen; CLA: Clorofila a; D: Dato; HIPEREU: Hipereutrófico; EU: Eutrófico; MESO: Mesotrófico; OLIGO: Oligotrófico; ULTRAOLIGO: Ultraoligotrófico; SD; SIN DATO; FONDO: en aquellos casos en los que la profundidad de visión del disco de Secchi coincide con el fondo la valoración de esta variable no es representativa, ya que en el caso de que la laguna tuviera más profundidad de la lámina de agua el Secchi podría ser mayor. Los datos de la concentración de clorofila han sido analizados en el laboratorio de **Interlab**. N.D indica que el resultado se encuentra por debajo del límite de detección (LD: 0,6 µg). Los valores de <1,8 corresponden al límite de cuantificación (LC)

4.2.1 Eutrofización en función del biovolumen fitoplanctónico.

De las cuatro lagunas de las que se dispone de una información temporal suficiente como para poder realizar un estudio comparativo (Tobar, Taravilla, Somolinos, Peñalara) se han realizado gráficos comparativos del grado de eutrofización en función de la escala de valoración de Willen para el biovolumen fitoplanctónico.

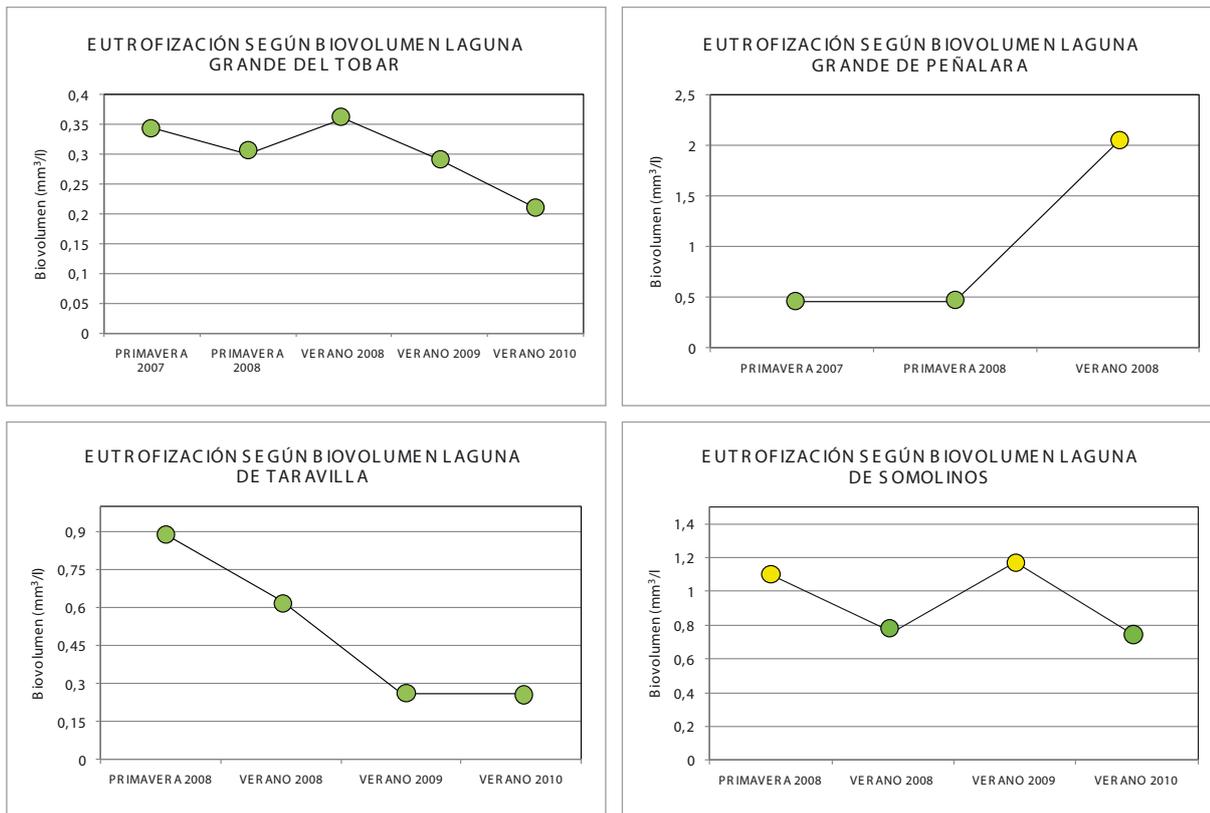


Figura 13. Evolución temporal del estado trófico en función del biovolumen fitoplanctónico (Willen 2000).

En todas las campañas el estado de la laguna Grande del Tobar y Peñalara ha sido oligotrófico, con la única excepción del verano de 2009, cuando el estado trófico en Peñalara se clasificó como mesotrófico.

Mientras en el caso de Taravilla su estado ha sido oligotrófico en todas las ocasiones, en la laguna de Somolinos se han dado estados alternos entre la oligotrofia y la mesotrofia, variando el biovolumen en un estrecho margen.

4.2.2 Eutrofización en función de la clorofila a

De las cuatro lagunas de las que se dispone de una información temporal suficiente como para poder realizar un estudio comparativo (Tobar, Taravilla, Somolinos, Peñalara) se han realizado gráficos comparativos del grado de eutrofización en función de la clorofila a fitoplanctónica según la escala de valoración de la OCDE.

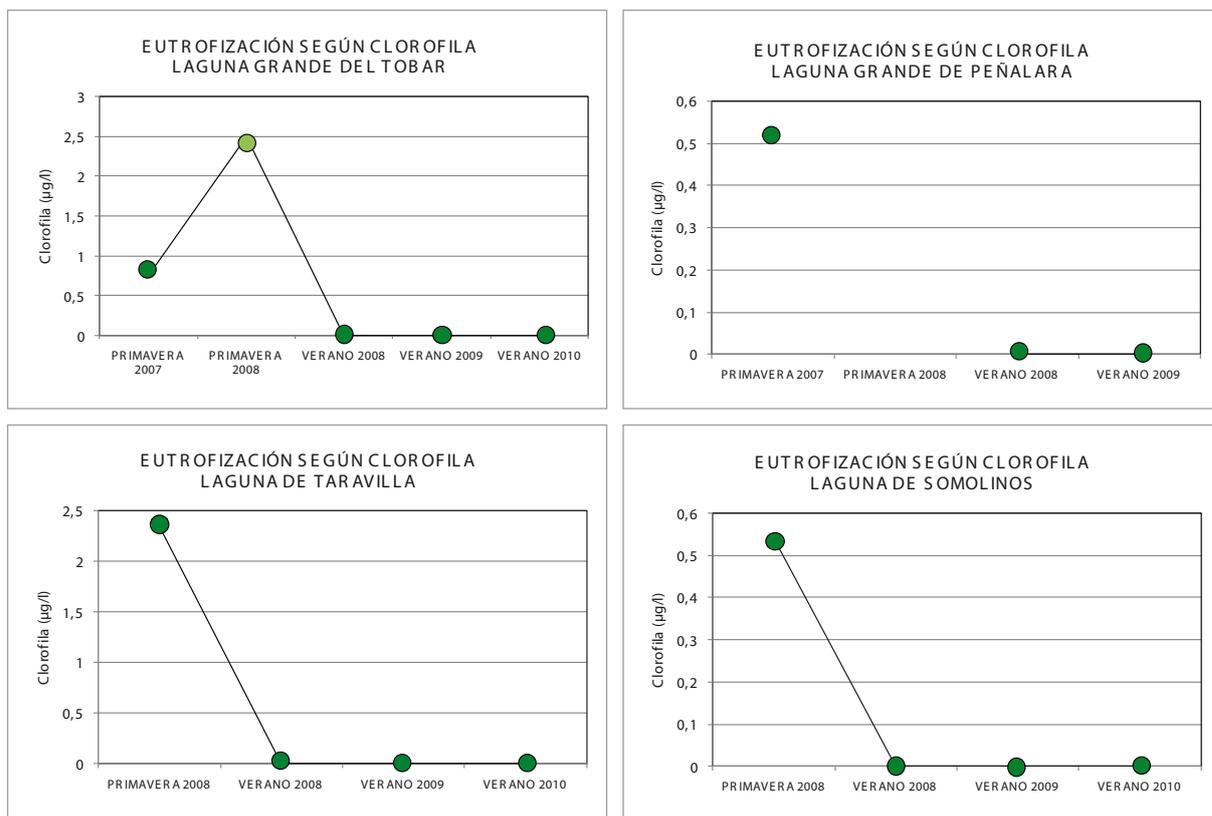


Figura 14. Evolución temporal del estado trófico en función de la concentración de clorofila a (OCDE).

En las lagunas de Taravilla y Somolinos la valoración del estado trófico según la concentración de clorofila ha sido siempre la menor posible (ultraoligotrófica), siendo prácticamente igual en el caso de la laguna Grande del Tobar, en la cual la única desviación se dio en la campaña de primavera de 2008 donde la valoración fue oligotrófica.

En cuanto a la laguna de Peñalara, en todas las ocasiones en las que se ha muestreado su estado trófico se ha clasificado como ultraoligotrófico según la clorofila a fitoplanctónica.

4.2.3 Eutrofización en función de la profundidad del disco de Secchi

De las cuatro lagunas de las que se dispone de una información temporal suficiente como para poder realizar un estudio comparativo (Tobar, Taravilla, Somolinos, Peñalara) se han realizado gráficos comparativos del grado de eutrofización en función de la profundidad de visión del disco de Secchi según la escala de valoración de la OCDE.

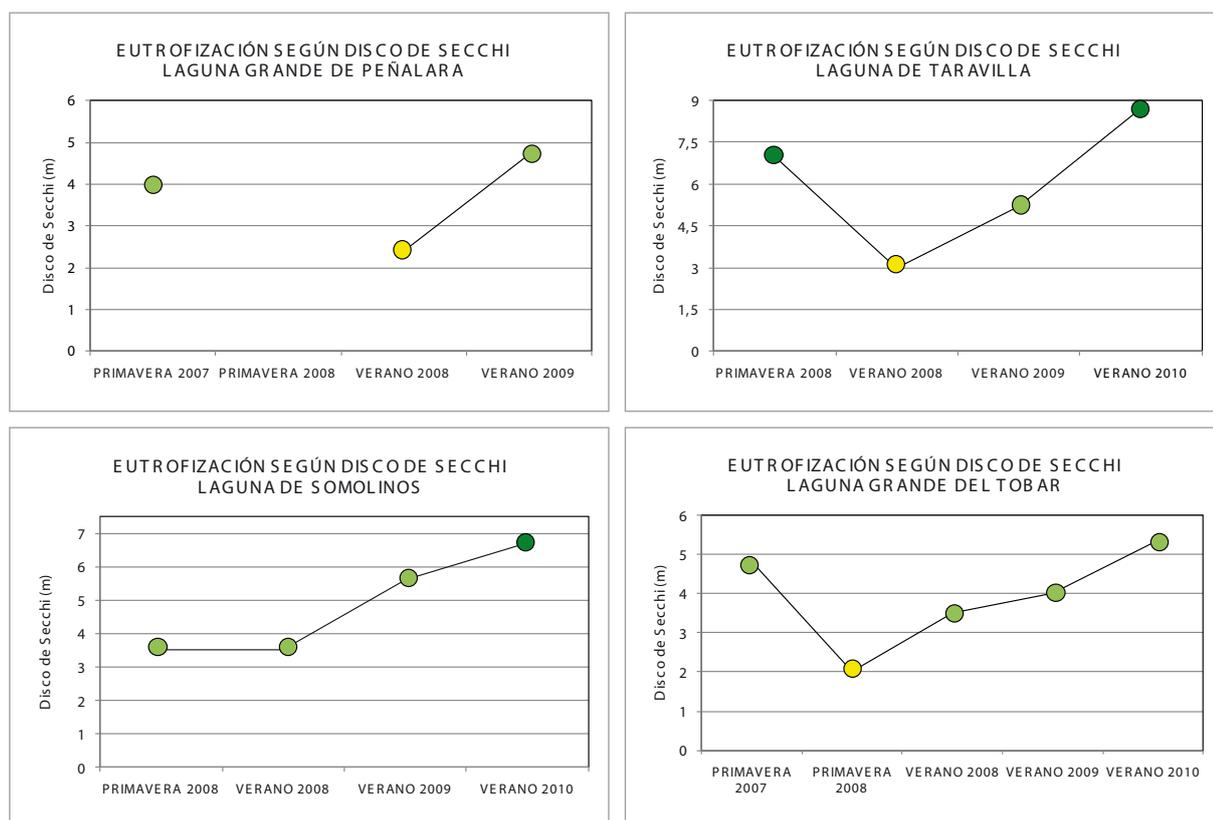


Figura 15. Evolución temporal del estado trófico en función del disco de Secchi (OCDE).

En las lagunas del Tobar y Peñalara la valoración del estado trófico según la profundidad del disco de Secchi se ha encontrado siempre entre la mesotrofia y la oligotrofia, variando la profundidad del disco de Secchi entre los 2 y 5 metros. Las variaciones han sido mayores en el caso de la laguna de Taravilla, oscilando entre el estado mesotrófico del verano de 2008 (Secchi 3 m) y el estado ultraoligotrófico del verano de 2010 (Secchi cercano a 9 m). En la laguna de Somolinos, la profundidad del disco de Secchi ha variado entre los 3,5 m registrados en el año 2008 y los casi 7 metros de 2010. Estos datos se corresponden con un estado oligotrófico y ultraoligotrófico respectivamente.

[5]

Evaluación del
estado ecológico



Laguna de Taravilla en Taravilla, Guadalajara.

UNO DE LOS OBJETIVOS PRIMORDIALES en la explotación de las redes de control biológico es el cálculo del estado ecológico en las masas de agua.

La metodología propuesta por el Ministerio para evaluar el estado ecológico en lagos, a partir del documento *Selección de métricas para la evaluación del estado ecológico de las masas de agua de la categoría "lagos" basadas en el elemento de calidad "composición y abundancia de otra flora acuática" en aplicación de la Directiva Marco del Agua*. (CEDEX. 2009c), solamente pudo aplicarse durante la campaña de 2010 y no en todas las lagunas.

Es importante resaltar que esta metodología requiere un esfuerzo mucho mayor del que se ha podido realizar con los medios de los que se ha dispuesto. Es por ello por lo que los resultados que se presentan en este capítulo deben tomarse como orientativos y nunca como definitivos. Una evaluación correcta del estado ecológico requiere de más tiempo de muestreo y análisis, así como una mayor preparación para aplicar en profundidad los protocolos de muestreo y evaluación propuestos.

Los apartados que se describen a continuación definen los procedimientos que se han realizado para poder establecer la clasificación del estado ecológico en las lagunas que forman parte de la red, definiendo la metodología de evaluación y las condiciones de referencia así como el conjunto de resultados obtenidos.

5.1 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Tal y como establece la DMA, la determinación del estado ecológico de las masas de agua de la categoría “lago” no debe realizarse con una simple aplicación de uno u otro indicador biológico, sino que es necesario comparar los resultados obtenidos con un valor de referencia que corresponda con las mejores condiciones posibles para la tipología de laguna que se está estudiando.

Con este fin, y dado que en la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH; Orden ARM/2656/2008) todavía no se dispone de condiciones de referencia para las tipologías de lagos, se ha tomado de referencia los documentos CEDEX. 2009d y CEDEX. 2009e.

Las lagunas estudiadas en la Red de Control Biológico pertenecen a los siguientes tipos:

- (3) *Alta montaña septentrional, poco profundo, aguas ácidas*
- (5) *Alta montaña septentrional, temporal*
- (10) *Cárstico, calcáreo, permanente, hipogénico.*
- (12) *Cárstico, calcáreo, permanente, cierre travertínico.*
- (17) *Interior en cuenca de sedimentación, mineralización baja, temporal.*

Tabla 20. Tipologías de las lagunas presentes en la Cuenca del Tajo.

NOMBRE	TIPO	ALTITUD	HIDROPERIODO
LAGUNA GRANDE DEL TOBAR	10	1150	Permanente
LAGUNA DE SOMOLINOS	12	1274	Permanente
LAGUNA DE TARAVILLA	10	1140	Permanente
LAGUNA GRANDE DE BELEÑA	17	950	Temporal
COMPLEJO LAGUNAR DE HUMEDALES TEMPORALES DE PEÑALARA (Los Claveles)	5	2080	Temporal
LAGUNA DE LOS PÁJAROS	3	2170	Permanente
LAGUNA GRANDE DE PEÑALARA	3	2022	Permanente

Para el establecimiento del estado ecológico en las masas de agua de la categoría “lago”, los protocolos de muestreo, selección de métricas, condiciones de referencia y evaluación para el elemento de calidad “fauna bentónica de invertebrados” están todavía en elaboración, habiendo datos más o menos definitivos para la selección de métricas, protocolos de muestreo y evaluación de:

- Elemento de calidad **Fitoplancton**
- Elemento de calidad **Otra Flora Acuática**: Fitobentos y Macrófitos
- Elemento de calidad **Fisicoquímica**
- Elementos de calidad **Hidromorfológica**

A lo largo de las campañas 2007-2010 no se han recabado datos suficientes que permitan la valoración de los elementos de calidad “Hidromorfológica” y “Otra flora acuática – FITOBENTOS”, razón por la cual su evaluación no se contempla en el presente informe.

Todos los criterios que se detallan a continuación para el establecimiento del estado ecológico en masas de agua de la categoría “lago” han sido extraídos de los siguientes documentos del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, elaborados en su mayoría con la colaboración del CEDEX:

- Protocolo de muestreo de fitoplancton en lagos y embalses. (MARM M-LE-FP-2010).
- Selección de métricas para la evaluación del estado ecológico de las masas de agua de la categoría “lagos” basadas en el elemento de calidad “composición, abundancia y biomasa de fitoplancton” en aplicación de la Directiva Marco del Agua. (CEDEX 2009b)
- Selección de métricas para la evaluación del estado ecológico de las masas de agua de la categoría “lagos” basadas en el elemento de calidad “composición y abundancia de otra flora acuática” en aplicación de la Directiva Marco del Agua. (CEDEX. 2009c)
- Establecimiento de condiciones de referencia y valores frontera entre clases de estado ecológico para los elementos de calidad “fitoplancton” y “otra flora acuática” en masas de agua de la categoría “lago”. (CEDEX 2009e)
- Establecimiento de condiciones hidromorfológicas y fisicoquímicas específicas de cada tipo ecológico en masas de agua de la categoría “lagos” en aplicación de la Directiva Marco del Agua. (CEDEX 2009d)
- Documento de ampliación y actualización de la tipología de lagos. CEDEX.
- Documento sobre selección preliminar de estaciones de referencia en lagos. MARM - CEDEX.
- Documento de discusión sobre aspectos conflictivos en el cálculo del estado. MARM
- Documentos y presentaciones del curso sobre aplicación del sistema para la evaluación del estado ecológico en masas de agua de la categoría “lagos”. MARM – CEDEX.
- Documento de “Dudas para la clasificación del estado de las masas de agua: propuesta de modificación de la Instrucción de Planificación Hidrológica y síntesis de conclusiones”. MARM.
- Orden ARM/2656/2008, por la que se aprueba la Instrucción técnica de Planificación Hidrológica.

A continuación se describe el método de evaluación de cada uno de los elementos de calidad, pasando finalmente a indicar el procedimiento para evaluar el estado ecológico.

5.1.1 Fitoplancton

En el caso del fitoplancton, las dos métricas propuestas para valorar su estado son sensibles a la presión por eutrofización, por lo que se debe aplicar una ponderación de los valores de estado, una vez normalizados a la escala de 1 a 5. Dado que la disponibilidad de información para la métrica “Concentración de Clorofila a” ha sido mucho mayor que para la métrica “Biovolumen total de fitoplancton”, en esta fase se da más peso a la concentración de clorofila a en dicha ponderación, ya que la estimación realizada para el establecimiento de condiciones de referencia y valores frontera entre clases de estado ecológico ha sido bastante más robusta para esta métrica.

En la DMA se contemplan para este indicador, como parámetros relevantes:

- Abundancia (densidad de células) y biomasa del fitoplancton.
- Composición taxonómica del fitoplancton.
- Frecuencia e intensidad de floraciones planctónicas (“blooms”).

Para este elemento de calidad el Ministerio ha seleccionado las siguientes dos métricas:

- **Concentración de clorofila a (C_{la}).**
- **Biovolumen total de fitoplancton (BioV).**

La concentración de clorofila a se ha propuesto para todos los tipos de lagos, mientras que el biovolumen total de fitoplancton se ha propuesto para lagos someros y humedales. Los datos de biovolumen por especies se han recogido en todos los tipos de lagos.

Tabla 21. Aplicabilidad de las métricas seleccionadas a los tipos de lagos de la cuenca del Tajo.

Lagunas	Tipología	Clorofila A	Biovolumen Fitoplancton
<ul style="list-style-type: none"> • Grande de Peñalara • Pájaros 	3	SI	SI
<ul style="list-style-type: none"> • Complejo lagunar de humedales temporales de Peñalara 	5	SI	SI
<ul style="list-style-type: none"> • Grande del Tobar • Taravilla 	10	SI	SI
<ul style="list-style-type: none"> • Somolinos 	12	SI	SI
<ul style="list-style-type: none"> • Beleña 	17	SI	NO

Desde el **Ministerio** se ha adoptado la decisión de no seleccionar ninguna métrica para la evaluación de la composición de fitoplancton debido a la poca cantidad de datos existentes hasta el momento para poder evaluar ninguna métrica de este tipo.

Tampoco se han seleccionado métricas para evaluación de la frecuencia e intensidad de floraciones planctónicas, ya que la detección de “blooms algales” requiere de una frecuencia de muestreo, al menos, semanal. La detección fiable de “blooms algales” requiere el uso de sistemas de detección en continuo como sondas fluorimétricas o la teledetección, sistemas que actualmente no están contemplados en todas las masas de agua.

Para estimar el estado ecológico en base al elemento de calidad biológica fitoplancton, se han calculado los EQR para cada métrica teniendo en cuenta los valores de referencia que figuran en el documento *Establecimiento de condiciones de referencia y valores frontera entre clases de estado ecológico para los elementos de calidad “fitoplancton” y “otra flora acuática” en masas de agua de la categoría “lago”*. CEDEX (CEDEX 2009e)

Una vez calculados los EQR se aplicarían las siguientes fórmulas:

A. Ecotipos 3, 5, 10 y 12 (todas las lagunas del Tajo, excepto Beleña)

$$\text{Est. ecológico} = 0,75 \cdot \text{Valor Estado Cla} + 0,25 \cdot \text{Valor Estado BioV}$$

Se aplicaría el promedio de los estados ecológicos normalizados para cada una de las métricas. Se da más peso a la concentración de clorofila a, ya que la mayor cantidad y fiabilidad de sus datos provoca una estimación más robusta de las condiciones de referencia y los valores frontera entre clases de estado.

B. Ecotipo 17: Laguna de Beleña

Al no calcularse el biovolumen, el valor obtenido para la métrica “Concentración de clorofila-a” será el utilizado para la clasificación del estado ecológico mediante este elemento de calidad.

A. CONDICIONES DE REFERENCIA Y VALORES FRONTERA

Los valores de referencia y de cambio de clase de calidad para la clorofila a se muestran en la Tabla 22.

Tabla 22. Niveles de calidad determinados mediante la evaluación de la “Concentración de Clorofila a”.

Niveles de calidad determinados mediante la evaluación de la “Concentración de la Clorofila a (mg/m ³ ó µg/L)”						
Tipología	Valor de ref.	Muy Bueno	Bueno	Moderado	Deficiente	Malo
3	1,3	< 1,9	(1,9-2,6)	(2,7-3,9)	(4,0-7,7)	> 7,7
5	1,8	< 2,9	(3,0-4,9)	(5,0-7,9)	((8,0-14,0)	> 14
10	2,5	< 3,5	(3,5-5,5)	(5,6-7,9)	(8,0-14,0)	> 14
12	1,9	< 3,1	(3,1-4,7)	(4,8-7,7)	(7,8-13,5)	> 13,5
17	3,7	< 5,5	(5,5-8,7)	(8,8-14,6)	(14,7-23,5)	> 23,5

Los valores de referencia y de cambio de clase de calidad para el biovolumen se muestran en la Tabla 23.

Tabla 23. Niveles de calidad determinados mediante la evaluación del “Biovolumen total del fitoplancton”.

Niveles de calidad determinados mediante la evaluación del “Biovolumen total del fitoplancton (mm ³ /l)”						
Tipología	Valor de ref.	Muy Bueno	Bueno	Moderado	Deficiente	Malo
3	1,4	< 2,1	(2,2-2,5)	(2,6-3,8)	(3,9-7,7)	> 7,7
10	0,7	< 1,2	(1,2-2,0)	(2,1-2,7)	(2,8-5,5)	> 5,5
12	0,9	< 1,4	(1,4-2,2)	(2,3-3,7)	(3,8-6,7)	> 6,7

No se han establecido condiciones de referencia ni valores frontera de biovolumen para la tipología 5.

5.1.2 Otra flora acuática

En el caso del elemento de calidad biológica “Otra flora acuática” se utilizan métricas distintas para valorar una misma presión (presión hidromorfológica) o diversas presiones (eutrofización, presiones hidromorfológicas y biológicas). Además, dependiendo de la tipología de cada lago se deben utilizar unas métricas u otras.

5.1.2.1 MÉTRICAS PARA LA EVALUACIÓN DE PRESIONES DE TIPO HIDROMORFOLÓGICO

En los siguientes apartados se describen las métricas a utilizar en las tipologías de masas de agua de la categoría “lago” presentes en la demarcación hidrográfica del Tajo (10, 12, 17).

A. RIQUEZA ESPECÍFICA DE MACRÓFITOS

El aumento o disminución de la riqueza de especies de macrófitos en un lago es considerado fruto de la presencia de presiones de distinto tipo, entre las que se encuentran las hidromorfológicas, puesto que su existencia tiene implicaciones en el grado de inundación y permanencia de la lámina de agua y por tanto en las características de las comunidades litorales.

Esta métrica que no se utilizará en aquellos lugares en los que las condiciones aptas para la colonización no superen el 20% del total de la superficie. Asimismo conviene también incidir en la necesidad para el cálculo de este índice del recuento taxonómico de todas las especies de hidrófitos, incluso por debajo de los 2 m.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, este índice se utilizará en todas las masas de agua que forman parte de la red inicialmente considerada para la realización de los trabajos.

Para la elaboración del listado taxonómico, en cada masa de agua se tendrá en cuenta el listado de especies características de cada uno de los tipos presentes en esta campaña. Partiendo de este listado taxonómico se actuará de la siguiente forma ante toda especie observada no incluida en él:

- Especies que forman parte del listado de especies indicadoras de aguas eutróficas. Estas especies no se tendrán en consideración para el cálculo del Índice de Riqueza de Macrófitos.
- Especies que forman parte del listado de especies exóticas. Estas especies no se tendrán en consideración para el cálculo del Índice de Riqueza de Macrófitos.
- Especies distintas de todas las anteriores. Para estos casos se recurrirá al apoyo de un experto en taxonomía o cita científica que avalen la identificación debido a que el listado de especies características inicial es sólo orientativo (CEDEX, 2009c).

Se tendrá en cuenta a la hora de la aplicación de esta métrica que como en ella no interviene la cobertura no es necesario acotar la zona de muestreo para los hidrófitos a la zona de menos de 2 metros de profundidad. Se evaluará por tanto la presencia de especies en cada transecto hasta su profundidad máxima de colonización.

Los valores de referencia y de cambio de clase de calidad en función de la riqueza específica de macrófitos se muestran en la Tabla 24.

Tabla 24. Niveles de calidad determinados mediante la evaluación de la “Riqueza de especies de macrófitos”.

Riqueza de especies de macrófitos (número de especies)					
Tipología	Valor de ref.	Buena o Muy buena	Moderado	Deficiente	Malo
10	11	> 7	7 - 5	4 - 3	2 - 0
12	10	> 7	7 - 5	4 - 3	2 - 0
17	20	> 10	10 - 7	6 - 4	2 - 0

B. COBERTURA TOTAL DE HIDRÓFITOS

Esta métrica evalúa el porcentaje de cobertura de hidrófitos en las partes de la cubeta del lago que cumplan los requisitos necesarios para considerarse zona colonizable (zona inundada sin rocas, con profundidad menor a 2 metros y pendiente de menos de 30°). (Camacho et al. 2009a).

Se fundamenta en la estima de la proporción de la cobertura total de hidrófitos sobre el 100% de la zona colonizable por éstos de acuerdo a la metodología de muestreo que se ha indicado anteriormente.

Del conjunto de tipologías presentes en este estudio, su uso se ha evaluado como adecuado en todas excepto la 17, correspondiente a la Laguna Grande de Beleña. En esta laguna no se recomienda su aplicación por considerarse como vegetación característica el conjunto de los macrófitos (hidrófitos y helófitos).

En el caso de especies típicas (en principio las incluidas en el listado del protocolo del Ministerio) se evaluará el porcentaje de cobertura respecto al total colonizable por el grupo de los hidrófitos. Partiendo de este listado taxonómico se actuará de la misma forma que en el caso anterior ante toda especie observada no incluida en él.

Los cambios de clase de calidad, marcados por los valores de condiciones de referencia, en función de la cobertura total de hidrófitos, se muestran en la Tabla 25.

Tabla 25. Niveles de calidad determinados mediante la evaluación de la “Cobertura total de hidrófitos”.

Cobertura total de hidrófitos (%)						
Tipología	Valor de ref.	Muy buena	Buena	Moderado	Deficiente	Malo
10	90	> 75	75 - 50	49 - 25	24 - 1	0
12	80	> 75	75 - 50	49 - 25	24 - 1	0

B. COBERTURA TOTAL DE HELÓFITOS

Esta métrica evalúa el porcentaje de cobertura de helófitos en las partes de la cubeta del lago que cumplan los requisitos necesarios para considerarse zona colonizable (zona inundada o no pero sin rocas, y pendiente de menos de 30°). (Camacho et al. 2009a).

Se fundamenta en la estima de la proporción de la cobertura total de helófitos sobre el 100% de la zona colonizable por éstos de acuerdo a la metodología de muestreo que se ha indicado anteriormente.

Del conjunto de tipologías presentes en la demarcación del Tajo, su uso se considera adecuado en todas las tipologías, excepto la 17, correspondiente a la laguna Grande de Beleña. En esta laguna no se recomienda su aplicación por considerarse como vegetación característica el conjunto de los macrófitos (hidrófitos y helófitos).

En el caso de especies típicas (en principio las incluidas en el listado del protocolo del Ministerio) se evaluará el porcentaje de cobertura respecto al total colonizable por el grupo de los helófitos. Partiendo de este listado taxonómico, ante toda especie observada no incluida en él se actuará de la misma forma que en los apartados previos.

Los valores de referencia y de cambio de clase de calidad en función de la cobertura total de helófitos se muestran en la Tabla 26.

Tabla 26. Niveles de calidad determinados mediante la evaluación de la “Cobertura total de helófitos”.

Tipología	Valor de ref.	Cobertura total de helófitos (%)				
		Muy bueno	Bueno	Moderado	Deficiente	Malo
10	100	> 90	90 - 75	74 - 30	29 - 10	<10
12	80	> 70	70 - 60	59 - 30	29 - 10	<10

C. COBERTURA TOTAL DE MACRÓFITOS (HIDRÓFITOS+HELÓFITOS)

Esta métrica evalúa el porcentaje de cobertura de la suma de hidrófitos, helófitos y anfífitos en las partes de la cubeta del lago que cumplan los requisitos necesarios para considerarse zona colonizable (zona inundada o no pero sin rocas, y pendiente de menos de 30°). (Camacho et al. 2009a).

Se fundamenta en la estima de la proporción de la cobertura total de helófitos+hidrófitos+anfífitos sobre el 100% de la zona colonizable por éstos de acuerdo a la metodología de muestreo que se ha indicado anteriormente.

Del conjunto de tipologías presentes en el presente estudio, su uso se ha evaluado como adecuado en la tipología 17, correspondiente a la laguna Grande de Beleña. El carácter somero y fluctuante de esta masa provoca que en algún momento del año en toda o casi toda la cubeta se cumplan las características de área colonizable para helófitos y/o hidrófitos. Esta situación provoca que en muchos momentos sea difícil definir de forma separada la cobertura de uno u otro grupo, por lo que se plantea el uso de este índice como alternativa a los índices que valoran su cobertura de forma independiente.

Al igual que en otros índices, en el caso de especies características (en principio las incluidas en el listado del protocolo del Ministerio) se evaluará el porcentaje de cobertura respecto al total colonizable por el grupo de los hidrófitos y helófitos. Partiendo de este listado taxonómico, ante toda especie observada no incluida en él se actuará de la misma forma que en los apartados previos.

Los cambios de clase de calidad, marcados por los valores de condiciones de referencia, en función de la cobertura total de macrófitos, se muestran en la Tabla 27.

Tabla 27. Niveles de calidad determinados mediante la evaluación de la “Cobertura total de macrófitos”.

Tipología	Valor de ref.	Cobertura total de macrófitos (%)				
		Muy bueno	Bueno	Moderado	Deficiente	Malo
17	100	> 90	90 - 75	74 - 30	29 - 10	<10

5.1.2.2 MÉTRICAS PARA LA EVALUACIÓN DE PRESIÓN POR EUTROFIZACIÓN

A. COBERTURA DE ESPECIES DE MACRÓFITOS INDICADORAS DE CONDICIONES EUTRÓFICAS

Esta métrica evalúa el porcentaje de cobertura de hidrófitos indicadores de condiciones eutróficas en las partes de la cubeta del lago que cumplan los requisitos necesarios para considerarse zona colonizable (zona inundada o no pero sin rocas, y pendiente de menos de 30°). (Camacho et al. 2009).

Se fundamenta en la estima de la proporción de la cobertura total de especies indicadoras de condiciones eutróficas sobre el 100% de la zona colonizable por éstas de acuerdo a la metodología de muestreo que se ha indicado anteriormente.

Su uso es adecuado para todas las lagunas muestreadas en esta campaña de 2010.

En principio, para la ejecución de estos trabajos se considerará el listado elaborado por el CEDEX (CEDEX, 2009c) e incluido en el protocolo del Ministerio, como referencia para la valoración de una especie de macrófitos como indicadora de condiciones eutróficas. Este listado se irá actualizando con nuevas especies en caso de nuevas citas durante el transcurso de los trabajos.

Los valores de referencia y de cambio de clase de calidad para este elemento se muestran en la Tabla 28.

Tabla 28. Niveles de calidad determinados mediante la evaluación de la “Cobertura de especies de macrófitos indicadoras de condiciones eutróficas”.

Tipología	Valor de ref.	Cobertura de especies de macrófitos indicadoras de condiciones eutróficas (%)				
		Muy bueno	Bueno	Moderado	Deficiente	Malo
Todas	Ausencia	<1	1 - 10	11 - 50	51 - 70	>70

5.1.2.3 MÉTRICAS PARA LA EVALUACIÓN DE PRESIÓN POR INTRODUCCIÓN DE ESPECIES EXÓTICAS

A. COBERTURA DE ESPECIES EXÓTICAS DE MACRÓFITOS

Esta métrica evalúa el porcentaje de cobertura de especies de macrófitos exóticas en cada masa de agua (helófitos+hidrófitos+anófitos).

Se fundamenta en la estima de la proporción de la cobertura total de especies exóticas sobre el 100% de la zona colonizable por éstas de acuerdo a la metodología de muestreo que se ha indicado anteriormente y se realizará para cada tipo de macrófitos por separado (hidrófitos y helófitos). El resultado de la evaluación del estado ecológico con esta métrica será el que aporte el peor de los resultados que se obtengan.

Del conjunto de tipologías presentes en el estudio, su uso se ha evaluado como adecuado para todas las tipologías presentes.

En principio, para la ejecución de estos trabajos se considerará el listado de especies elaborado por el CEDEX (CEDEX, 2009c) e incluido en el protocolo del Ministerio, como referencia para la valoración de una especie de macrófitos como especie exótica. Este listado se irá actualizando con nuevas especies en caso de nuevas citas durante el transcurso de los trabajos.

Los cambios de clase de calidad, marcados por los valores de condiciones de referencia, en función de la cobertura total de macrófitos, se muestran en la Tabla 29.

Tabla 29. Niveles de calidad determinados mediante la evaluación de la “Cobertura de especies exóticas”.

Tipología	Valor de ref.	Cobertura de especies exóticas (%)				
		Muy bueno	Bueno	Moderado	Deficiente	Malo
Todas	Ausencia	0	1 - 5	6 - 25	26 - 50	>50

5.1.2.4 COMBINACIÓN DE MÉTRICAS RELATIVAS A “OTRA FLORA ACUÁTICA”

En el siguiente listado se resume para las tipologías presentes en las lagunas muestreadas esta campaña en la demarcación del Tajo las métricas propuestas para la evaluación del estado ecológico conforme al elemento de calidad “otra flora acuática” para masas de agua de la categoría “lagos” propuestas por el CEDEX (CEDEX 2009c):

Tabla 30. Métricas propuestas para la evaluación del estado ecológico conforme al elemento de calidad “otra flora acuática” para masas de agua de la categoría “lagos” propuestas por el CEDEX (CEDEX 2009c).

Tipos	Índice de diatomeas	Presencia de macrófitos	Riqueza de sp. de macrófitos	Cobertura total de hidrófitos	Cobertura total de helófitos	Cobertura total macrófitos (hidrófitos + helófitos)	Cobertura de sp. indicadoras de condiciones eutróficas	Cobertura de sp. exóticas
3	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI	SI
5	NO	SI	NO	NO	NO	NO	SI	SI
10	NO	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI
12	NO	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI
17	NO	NO	SI	NO	NO	SI	SI	SI

En aquellas lagunas y humedales que tengan alta turbidez de manera natural (por resuspensión continua o formación de coloides) no se utilizarán métricas basadas en los macrófitos en la evaluación del estado ecológico.

En la Tabla 31 se recogen las distintas posibilidades de combinación para este elemento de calidad biológica según los tipos de lagos considerados en este trabajo.

Es importante reseñar que las condiciones de referencia y valores límite se fijan para las fechas del año que se indican en los protocolos de muestreo de “otra flora acuática”, por lo que los datos obtenidos en otras fechas y que no cumplen el resto de directrices del protocolo de muestreo no deberían ser utilizados en la evaluación del estado ecológico.

Tabla 31. Procedimientos de combinación de métricas¹ del elemento de calidad biológica “Otra flora acuática” según los tipos de lagos.

Tipos	Combinación propuesta ¹
<p>Tipos 10 y 12</p>	<p>En primer lugar se calcula el estado ecológico mediante las métricas que evalúan la presión por impactos hidromorfológicos a partir de un promedio simple de los valores de estado normalizados obtenidos para éstas. Las métricas consideradas son:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Riqueza de especies de macrófitos² b) Cobertura total de hidrófitos c) Cobertura total de helófitos <p>Una vez realizada esta combinación de las métricas para presiones hidromorfológicas, el resultado obtenido con esta combinación se combina con los de las métricas que valoran otro tipo de presiones, tomándose para ello el peor de los estados que se obtienen para cada una de ellas de manera individual. En concreto, se considerarían las siguientes métricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Combinación de métricas para presiones hidromorfológicas b) Cobertura de especies de macrófitos indicadoras de condiciones eutróficas c) Cobertura de especies exóticas de macrófitos
<p>Tipo 17</p>	<p>En primer lugar se calcula el estado ecológico de la combinación de métricas que evalúan la presión por impactos hidromorfológicos a partir del un promedio simple de éstas. Las métricas consideradas en este caso son las siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Riqueza de especies de macrófitos² b) Cobertura total de macrófitos <p>Una vez realizada la combinación de las métricas que valoran presiones hidromorfológicas, se combina ésta con los de las métricas que valoran otro tipo de presiones, tomándose para ello el peor de los estados obtenidos para cada de las siguientes métricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Combinación de métricas para presiones hidromorfológicas b) Cobertura de especies de macrófitos indicadoras de condiciones eutróficas c) Cobertura de especies exóticas de macrófitos

1. La combinación propuesta para métricas que evalúan el mismo elemento de calidad biológica se hace con respecto de los valores de estado normalizados que se obtienen de la aplicación de cada una de éstas. Estos valores normalizados se definen conforme a directrices establecidas en este apartado que siguen las pautas marcadas al respecto por el Ministerio (2009c) reseñadas en el apartado 5.1.1
2. Dado que esta métrica agrupa los estados bueno y muy bueno en un único estado, de cara a realizar un promedio con el resto de indicadores que valoran presiones hidromorfológicas, a este estado se le aplica el valor de 4,5

Siguiendo las directrices del CEDEX especificadas en la Tabla 31, se han combinado las métricas del elemento de calidad “otra flora acuática” para clasificar su calidad según las escalas de valoración detalladas con anterioridad.

5.1.3 Elementos de calidad fisicoquímicos

En el siguiente listado se resume, para las tipologías presentes en este informe, las métricas propuestas para la evaluación del estado ecológico conforme a los elementos de calidad “fisicoquímicos” para masas de agua de la categoría “lagos” propuestas por el CEDEX (CEDEX 2009d):

Tabla 32. Métricas propuestas para la evaluación del estado ecológico conforme a los elementos de calidad “fisicoquímicos” para masas de agua de la categoría “lagos” propuestas por el CEDEX (CEDEX 2009d) en la demarcación del Tajo.

Tipos	Profundidad del disco de Secchi	Conductividad	pH	Alcalinidad	Fósforo total
3	SI	SI	SI	SI	SI
5	NO	SI	SI	SI	SI
10	SI	SI	SI	SI	SI
12	SI	SI	SI	SI	SI
17	NO	SI	SI	SI	SI

En la Tabla 33 se expresan los procedimientos de combinación en base a las métricas definidas para cada uno de los elementos fisicoquímicos.

Tabla 33. Procedimientos para la combinación de las métricas de los elementos fisicoquímicos (para los tipos en que sea aplicable cada indicador y métrica).

Elementos	Combinación propuesta
Transparencia	Se aplica el valor de estado ecológico obtenido a través de la evaluación realizada por medio de la siguiente métrica para los siguientes tipos de lagos (tipos 1-4, 6, 7, 9, 10, 12, 14-15) <ul style="list-style-type: none"> Profundidad de visión del Disco de Secchi (Ds)
Salinidad	Se aplica el valor de estado ecológico obtenido a través de la evaluación realizada por medio de la siguiente métrica <ul style="list-style-type: none"> Conductividad eléctrica
Estado de acidificación	Se realiza un promedio simple a partir de los valores de estado ecológico de las siguientes métricas normalizadas conforme a la escala definida <ul style="list-style-type: none"> pH Alcalinidad
Condiciones relativas a nutrientes	Se aplica el valor de estado ecológico obtenido a través de la evaluación realizada por medio de la siguiente métrica <ul style="list-style-type: none"> Fósforo Total

En la Tabla 34 se reflejan los procedimientos de combinación de los elementos fisicoquímicos para obtener una clasificación en base a este elemento.

Tabla 34. Procedimientos para la combinación de elementos fisicoquímicos.

Elementos	Combinación propuesta
Elementos fisicoquímicos	<p>Se aplica el peor valor de estado de la evaluación realizada de manera individual mediante cada uno de los siguientes elementos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Transparencia • Salinidad • Estado de acidificación • Condiciones relativas a nutrientes

Los elementos fisicoquímicos: condiciones térmicas y condiciones de oxigenación no se consideran en esta propuesta de clasificación del estado ecológico para masas de agua de la categoría lagos. Por su parte para la evaluación de los contaminantes específicos sintéticos y de los contaminantes específicos no sintéticos hay que remitirse a lo establecido en la legislación específica

Es importante reseñar que las condiciones de referencia y valores límite se fijan para unas fechas del año concretas que se indican en los protocolos del Ministerio, por lo que en sentido estricto los datos obtenidos en otras fechas y que no cumplen el resto de directrices del protocolo de muestreo no deberían ser utilizados en la evaluación del estado ecológico.

De este modo, por ejemplo, tal como se especifica en el documento del CEDEX sobre las métricas de elementos de calidad fisicoquímicos a tener en cuenta para la valoración del estado, sólo se elegirá aquel valor de conductividad correspondiente a la fecha de muestreo que más se aproxime al periodo de máxima de inundación. Esto implicaría un seguimiento periódico mayor que el llevado a cabo durante las campañas realizadas entre los años 2006 y 2010, ya que muestreos puntuales no permiten controlar los periodos de inundación de cada sistema lagunar.

No se dispone de datos de las métricas “Alcalinidad” y “Fósforo total” para la valoración de la calidad fisicoquímica. Los valores de referencia y de cambio de clase de calidad para los elementos de calidad valorados se presentan en las Tablas 35 y 36.

Para valorar el estado de la conductividad es necesario conocer los valores orientativos de este parámetro en las diferentes tipologías de masas de la categoría lago para así poder calcular el porcentaje de desviación de los valores hallados in situ con los rangos de clases de calidad para esta métrica que se establecen en el documento del CEDEX (CEDEX 2009d). Estos valores de referencia están resumidos en la Tabla 37.

Tabla 35. Condiciones específicas del tipo de lago para la métrica “Profundidad de visión del Disco de Secchi (Ds)” (en metros).

Tipología	Muy Bueno	Bueno	Moderado o inferior
3	>4,5	4,5 - 3	<3
10	>4	4 - 3	<3
12	>4	4 - 3	<3

En aquellos lagos que presenten una profundidad máxima inferior a los valores frontera entre clases de estado establecidos en esta tabla, estas fronteras serán sustituidas por el hecho de que la profundidad de visión del Disco de Secchi alcance el fondo del sistema lagunar. En el caso de que su profundidad máxima sea inferior al valor propuesto como frontera entre los estados bueno y moderado o inferior, si la profundidad de visión del Disco de Secchi alcanza el fondo del sistema lagunar el resultado de la evaluación del estado conforme con esta métrica será bueno o superior. Por su parte, en el caso de que su profundidad máxima se encuentre entre el valor establecido como frontera entre los estados muy bueno y bueno y el valor establecido como frontera entre los estados bueno y moderado o inferior, si la profundidad del Disco de Secchi alcanza el fondo del sistema lagunar, el resultado de la evaluación de acuerdo con esta métrica será **muy bueno**.

Tabla 36. Condiciones específicas del tipo de lago para la métrica “Conductividad eléctrica” Porcentaje de desviación respecto a los valores típicos que definen el tipo de lago.

Tipología	Muy Bueno	Bueno	Moderado o inferior
Todos los tipos	< 5 %	5 – 20 %	> 20 %

Porcentaje de desviación relativos a los límites establecidos en la Tabla 29 de la IPH (BOE, 2008) para cada uno de los tipos

Información extraída de la Tabla 20 del documento CEDEX 2009d.

Tabla 37. Valores orientativos de conductividad que definen las tipologías de lagos (IPH, Tabla 39).

Tipos	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)
3	< 500
5	< 500
10	< 3.000
12	< 3.000
17	< 500

Referente al parámetro pH la Tabla 38 muestra las condiciones específicas de cada tipología de lago, presentando los datos de cambio de clase para las valoraciones bueno y superior y moderado e inferior. Para este parámetro los valores de cambio de clase disponibles no permiten distinguir entre la clase de calidad muy buena y buena.

Tabla 38. Condiciones específicas del tipo de lago para la métrica “pH”.

Tipología	Bueno o Superior	Moderado o inferior
3	6 - 9	≤ 6 o ≥ 9
5	6 - 9,5	≤ 6 o $\geq 9,5$
10	7 - 9,7	≤ 7 o $\geq 9,7$
12	7 - 9,7	≤ 7 o $\geq 9,7$
17	6,5 - 9,5	$\leq 6,5$ o $\geq 9,5$

Información extraída de la Tabla 21 del documento CEDEX 2009d.

5.1.4 Combinación de elementos de calidad

La combinación de los distintos elementos de calidad biológica se realiza de acuerdo con el principio “one out-all out”, es decir, se escoge el peor resultado (estado) de los obtenidos mediante la evaluación realizada por separado para cada uno de los elementos de tipo biológico.

Este mismo criterio es el que se sigue para la combinación de los elementos de calidad biológicos con los de tipo fisicoquímico e hidromorfológico, si bien los dos últimos sólo intervienen en la clasificación de determinados estados (concretamente los elementos de calidad fisicoquímicos solo intervienen en la determinación de los estados muy bueno, bueno y moderado, mientras que los de tipo hidromorfológico sólo en la determinación de los estados muy bueno y bueno). Las reglas de combinación de los elementos de calidad biológica con los elementos hidromorfológicos y fisicoquímicos están recogidas en la Tabla 39.

Tabla 39. Reglas de combinación de los elementos de calidad para valorar el estado ecológico de las masas de agua.

BIOLÓGICO	FQ	HMF*	ESTADO ECOLÓGICO
MB	MB	MB	MB
	MB/B	B	B
	MOD	MB/B	MOD
B	MB/B	MB/B	B
	MOD	--	MOD
MOD	MB/B	--	MOD
	MOD	--	MOD
DEF	MB/B/MOD	--	DEF
MA	MB/B/MOD	--	MA

**El elemento de calidad hidromorfológico no ha sido analizado en ninguna de las campañas.*

5.2 EVALUACIÓN DEL ESTADO ECOLÓGICO

A continuación se muestran los resultados obtenidos para las lagunas muestreadas en las campañas llevadas a cabo entre los años 2008 y 2010.

Los años 2008 y 2009 cuentan únicamente con datos de fitoplancton porque aún no se disponía de la metodología explicada anteriormente aplicable a “otra flora acuática”.

Hay que resaltar que según las indicaciones del Ministerio, para valorar correctamente las métricas, las lagunas deben muestrearse dos veces durante el periodo de estratificación estival en el caso de las tipologías 3, 10 y 12, lo que correspondería a los meses de julio y septiembre. Para las lagunas de tipología 17 y 5, habría que muestrear dos veces durante el hidrop periodo, con un muestreo un mes después del comienzo del llenado y otro antes de la desecación estival, entre los meses de abril y mayo. Los valores de referencia y los límites entre clases de los distintos parámetros están adaptados a estas épocas del año. Por este motivo, se han eliminado de este capítulo las campañas de primavera realizadas en 2007 y 2008.

En todas las lagunas muestreadas, a excepción de la laguna Grande de Peñalara, la laguna de los Claveles y la laguna Grande de Beleña, los valores de pH y conductividad corresponden al promedio de los datos registrados en superficie y en profundidad, entendida como fin de la zona fótica. En los casos excepcionales mencionados anteriormente, sólo se dispone de un dato para cada valor. Este dato ha sido el empleado en el cálculo de la calidad fisicoquímica.



5.2.1 Estado Ecológico Año 2008

En esta campaña de muestreo se dispone de datos para poder valorar el estado ecológico de forma parcial, ya que sólo se clasifican datos de calidad biológica, para la laguna Grande del Tobar, Taravilla, Somolinos y la laguna Grande de Peñalara. Todas ellas obtienen una calidad biológica muy buena según los indicadores fitoplanctónicos “clorofila a” y “biovolumen”. El EQR obtenido para la valoración en todos los casos (con la única excepción de la clorofila de Peñalara) es superior a 1, lo que indica que el dato medido supera el dato correspondiente a las condiciones de referencia. Esto llevaría de nuevo a plantear una revisión en las condiciones de referencia.

Tabla 40. Elemento de calidad biológica fitoplancton. Año 2008.

Nombre Laguna	CLOROFILA A			BIOVOLUMEN			FITOPLANCTON	
	Valor Observ. (µg/l)	Valor Ref. (µg/l)	EQR Cla	Valor Observ. (mm3/l)	Valor Ref. (mm3/l)	EQR BioV	EQR FITO. NORM.	CALIDAD FITO-PLANCTON
Laguna Grande del Tobar	<LC	2,5	1,00	0,36		1,00	1,00	MUY BUENA
Laguna de Taravilla	<LC	2,5	1,00	0,63		1,00	1,00	MUY BUENA
Laguna de Somolinos	<LC	1,9	1,00	0,76		1,00	1,00	MUY BUENA
Laguna Grande de Peñalara	<LC	1,3	0,72	0,456		1,00	0,79	MUY BUENA

Ref.: referencia; BioV: Biovolumen; EQR: Ecological Quality Ratio (en el caso de obtener en el EQR un valor superior a 1 este valor será 1)

Para la valoración de la calidad fisicoquímica, todas las lagunas muestreadas obtuvieron una clasificación de “muy buena” para el elemento de calidad conductividad. En el caso de disco de Secchi, la calidad fue “buena” para las lagunas Grande del Tobar, Taravilla y Somolinos, mientras que fue “moderada” para la laguna Grande de Peñalara. En cuanto al pH, la calidad fue “buena o superior” para todas las lagunas salvo la laguna de Somolinos, cuya calidad fue “moderada o inferior”.

Tabla 41. Elementos de calidad fisicoquímicos. Año 2008.

Tipo	COD	Nombre	Calidad Secchi (m)	Calidad conductividad (µS/cm)	Calidad pH	CALIDAD FÍSICOQUÍMICA
10	310001	Laguna de Grande del Tobar	3,5	616	7,2	≥ BUENA
10	31NML1	Laguna de Taravilla	3	560	7,86	≥ BUENA
12	31NML3	Laguna de Somolinos	3,5	427	6,74	≤ MODERADA
3	31NML4	Laguna Grande de Peñalara	2,4	17	7,2	≤ MODERADA

En la Tabla 42 se resumen los resultados obtenidos para la valoración del estado ecológico para la campaña de primavera de 2008. Para este periodo, las lagunas Grande del Tobar y Taravilla obtuvieron una valoración de “bueno o superior”, mientras que las lagunas de Somolinos y Grande de Peñalara fueron clasificadas como de estado “moderado o inferior”.

Tabla 42. Combinación de los elementos de calidad para valorar el estado ecológico de las lagunas. Año 2008.

Tipo	COD	Nombre	BIOLÓGICO	FQ	ESTADO ECOLÓGICO
10	310001	Laguna Grande del Tobar	MUY BUENA	≥ BUENA	≥ BUENO
10	31NML1	Laguna de Taravilla	MUY BUENA	≥ BUENA	≥ BUENO
12	31NML3	Laguna de Somolinos	MUY BUENA	≤ MODERADA	≤ MODERADO
3	31NML4	Laguna Grande de Peñalara	MUY BUENA	≤ MODERADA	≤ MODERADO

La laguna Grande de Beleña, laguna temporal catalogada como tipo 17, fue visitada el 14/08/2008. Esta fecha se encuentra fuera de los meses de muestreo establecidos por el Ministerio. Según dicho documento, los meses de Abril y Mayo se corresponden con el periodo previo a la desecación estival. En el momento de la visita, la laguna ya se encontraba seca, como puede observarse en la fotografía siguiente:



5.2.2 Estado Ecológico Año 2009

En esta campaña de muestreo se dispone de datos para poder valorar la calidad biológica para la laguna Grande del Tobar, Taravilla, Somolinos, la laguna Grande de Peñalara, la laguna de los Pájaros y la laguna de los Claveles. Todas ellas obtienen una clasificación de la calidad biológica “muy buena” según los indicadores fitoplanctónicos “clorofila a” y “biovolumen”. El EQR obtenido para la valoración en muchos de los casos es de nuevo superior a 1.

Tabla 43. Elemento de calidad biológica fitoplancton. Año 2009.

Nombre Lagunas	CLOROFILA A			BIOVOLUMEN			FITOPLANCTON	
	Valor Observ. (µg/l)	Valor Ref. (µg/l)	EQR Cla	Valor Observ. (mm3/l)	Valor Ref. (mm3/l)	EQR BioV	EQR FITO. NORM.	CALIDAD FITO-PLANCTON
Laguna Grande del Tobar	<LC	2,5	1,00	0,29	0,7	1,00	1,00	MUY BUENA
Laguna de Taravilla	<LC	2,5	1,00	0,26	0,7	1,00	1,00	MUY BUENA
Laguna de Somolinos	<LC	1,9	1,00	1,17	0,9	0,77	1,00	MUY BUENA
Laguna Grande de Peñalara	<LC	1,3	0,72	2,04	1,4	0,69	0,71	MUY BUENA
Laguna de los Pájaros	<LC	1,3	0,72	0,97	1,4	1,00	0,79	MUY BUENA
Laguna de los Claveles	<LC	1,8	1,00	0,99				MUY BUENA

Ref.: referencia; BioV: Biovolumen; EQR: Ecological Quality Ratio (en el caso de obtener en el EQR un valor superior a 1 este valor será 1)

En cuanto a la calidad fisicoquímica, todas las lagunas muestreadas obtuvieron una clasificación de “muy buena” para el elemento de calidad conductividad. En el caso de disco de Secchi, la calidad fue “muy buena” para todas las lagunas excepto la laguna Grande del Tobar, cuya calidad fue “buena”. Para el pH, la calidad en todos los casos fue “buena o superior”.

Tabla 44. Elementos de calidad fisicoquímicos. Año 2009.

Tipo	COD	Nombre	Calidad Secchi (m)	Calidad conductividad (µS/cm)	Calidad pH	CALIDAD FISICOQUÍMICA
10	310001	Laguna de Grande del Tobar	4	743,5	7,92	BUENA
10	31NML1	Laguna de Taravilla	5,2	570,5	7,75	≥ BUENA
12	31NML3	Laguna de Somolinos	5,6	416	8,19	≥ BUENA
3	31NML4	Laguna Grande de Peñalara	4,7	7,7	6,81	≥ BUENA
3	31NML5	Laguna de los Pájaros	1,5*	9,2	7,86	≥ BUENA
5	31NML6	Laguna de los Claveles	1*	6	7,36	≥ BUENA

*El disco de Secchi coincide con el fondo, por lo que no se puede valorar.

En la Tabla 45 se resumen los resultados obtenidos para la valoración del estado ecológico en esta campaña. Para este periodo, todas las lagunas obtuvieron un estado ecológico “bueno o superior”, a excepción de la laguna Grande del Tobar cuyo estado ecológico fue “Bueno”.

Tabla 45. Combinación de los elementos de calidad para valorar el estado ecológico de las lagunas. Año 2009.

Tipo	COD	Nombre	BIOLÓGICO	FQ	ESTADO ECOLÓGICO
10	310001	Laguna Grande del Tobar	MUY BUENA	BUENA	BUENO
10	31NML1	Laguna de Taravilla	MUY BUENA	≥ BUENA	≥ BUENO
12	31NML3	Laguna de Somolinos	MUY BUENA	≥ BUENA	≥ BUENO
3	31NML4	Laguna Grande de Peñalara	MUY BUENA	≥ BUENA	≥ BUENO
3	31NML5	Laguna de los Pájaros	MUY BUENA	≥ BUENA	≥ BUENO
5	31NML6	Laguna de los Claveles	MUY BUENA	≥ BUENA	≥ BUENO

En esta campaña, los muestreos se desarrollaron durante los meses de junio y julio. Este periodo se corresponde con el segundo muestreo planteado en las indicaciones del Ministerio para las tipologías 3, 10 y 12, asociado a los últimos meses de estratificación estival. Sin embargo no se corresponden con los periodos establecidos para la tipología 5, es decir la laguna de los Claveles.



5.2.3 Estado Ecológico Año 2010

En esta campaña de muestreo se dispone de datos para poder valorar la calidad biológica de las lagunas Grande del Tobar, Taravilla, Beleña y Somolinos. Excepto Beleña, todas ellas obtuvieron una clasificación de la calidad biológica “muy buena” según los indicadores fitoplanctónicos “clorofila a” y “biovolumen”. El EQR obtenido para la valoración en muchos de los casos fue de nuevo superior a 1.

Tabla 46. Elemento de calidad biológica fitoplancton. Año 2010.

Nombre	Cla (µg/l)	Ref Cla (µg/l)	EQR Cla	EQR VAL Cla	BioV (mm3/l)	Ref BioV (mm3/l)	EQR BioV	EQR VAL BioV	EQR FITO. NORM.	CALIDAD FITOPLANCTON
Laguna Grande del Tobar	1,8	2,5	1,39	1,00	0,21	0,7	3,33	1,00	1,00	MUY BUENA
Laguna de Taravilla	1,8	2,5	1,39	1,00	0,26	0,7	2,69	1,00	1,00	MUY BUENA
Laguna de Somolinos	1,8	1,9	1,06	1,00	0,73	0,9	1,23	1,00	1,00	MUY BUENA
Laguna Grande de Beleña	13,6	3,7	0,27	0,27	5,96	-	-	-	0,27	MODERADA

Ref.: valor de referencia; BioV: Biovolumen; EQR: Ecological Quality Ratio; EQR VAL: EQR para la valoración (en el caso de obtener en el EQR un valor superior a 1 este valor será 1)

En cuanto a la calidad biológica, los resultados evaluados con el elemento de calidad “Otra flora acuática: macrófitos” se muestran en las tablas: 47, 48, 49 y 50. En ellas se exponen los resultados obtenidos para cada laguna según las directrices detalladas en el epígrafe 5.1.2.4 para los cálculos de agrupamiento de coberturas. Se han tenido así en cuenta los cálculos más favorables (**A**), los menos favorables (**B**) y un promedio de ambos (**C**) para poder realizar una comparativa de todos los resultados.

En la tabla 51 se presentan los resultados obtenidos para disco de Secchi, conductividad y pH. Para las lagunas pertenecientes a la tipología 17, en este caso la laguna Grande de Beleña, no se tiene en cuenta la profundidad del disco de Secchi. La escasa profundidad de estas masas temporales impide conocer la profundidad máxima a la que llegaría el disco de Secchi en condiciones de referencia.

La tabla 52 muestra los resultados de aplicar las reglas de combinación de los elementos de calidad biológicos (fitoplancton y macrófitos) a la hora de valorar la calidad biológica global en las masas de agua de la categoría lago.

En la laguna de Beleña la calidad moderada del fitoplancton hace que la diferente valoración obtenida en la evaluación del elemento de calidad “otra flora acuática” no influya en la valoración final de la calidad biológica que es moderada.

Tabla 47. Valoración del elemento de calidad “otra flora acuática” en la laguna Grande de Beleña; Campaña Año 2010.

TAXONES QUE SE CONSIDERAN	LAGUNA GRANDE DE BLEÑA		PRESIONES HIDROMORFOLÓGICAS						EUTROFÍA	EXÓTICAS	CALIDAD OTRA FLORA ACUÁTICA
	Metodología de cálculo de métricas		Riqueza de sp. características	Cobertura macrófitos (hidrófitos + helófitos)		PROMEDIO EQR HM	Cobertura de especies eutróficas (%)	Cobertura de sp. exóticas (%)			
	Nº	EQR		(%)	EQR						
TODOS (☉)	SUMA DE SP EN CADA PUNTO (A)	0.55	11	92.7	0.93	0.74	0	0	0	BUENA	
	VALOR DEL % MÁXIMO (B)	0.55	11	58.1	0.58	0.57	0	0	0	MODERADA	
	PROMEDIO DE LOS ANTERIORES (C)	0.55	11	75.4	0.75	0.65	0	0	0	BUENA	
ESPECÍFICOS DE TIPO (☉)	SUMA DE SP EN CADA PUNTO (A)	0.3	6	66.4	0.66	0.48	0	0	0	MODERADA	
	VALOR DEL % MÁXIMO (B)	0.3	6	44.1	0.44	0.37	0	0	0	DEFICIENTE	
	PROMEDIO DE LOS ANTERIORES (C)	0.3	6	55.3	0.55	0.43	0	0	0	MODERADA	
	VALOR DE REFERENCIA		20		100	-	0	0	0	-	

**Tabla 48. Valoración del elemento de calidad “otra flora acuática” en la laguna de Somolinos. Año 2010.**

TAXONES QUE SE CONSIDERAN	LAGUNA DE SOMOLINOS		PRESIONES HIDROMORFOLÓGICAS						EUTROFÍA	EXÓTICAS	CALIDAD OTRA FLORA ACUÁTICA		
	Metodología de cálculo de métricas		Riqueza de sp. características	Cobertura hidrófitos		Cobertura helófitos		PROMEDIO EQR HM				Cobertura de especies eutróficas (%)	Cobertura de sp. Exóticas (%)
	Nº	EQR		(%)	EQR	(%)	EQR						
TODOS (☉)	SUMA DE SP EN CADA PUNTO (A)	1.00	13	41.0	0.51	91.0	1.0	0.84	0	0	MUY BUENA		
	VALOR DEL % MÁXIMO (B)	1.00	13	25.5	0.32	76.0	0.95	0.76	0	0	BUENA		
	PROMEDIO DE LOS ANTERIORES (C)	1.00	13	33.3	0.42	83.5	1.0	0.81	0	0	MUY BUENA		
ESPECÍFICOS DE TIPO (☉)	SUMA DE SP EN CADA PUNTO (A)	0.90	9	40.5	0.51	89.0	1.0	0.80	0	0	MUY BUENA		
	VALOR DEL % MÁXIMO (B)	0.90	9	25.5	0.32	76.0	0.95	0.72	0	0	BUENA		
	PROMEDIO DE LOS ANTERIORES (C)	0.90	9	33.0	0.41	82.5	1.0	0.77	0	0	BUENA		
	VALOR DE REFERENCIA		10	80	80	80	-	0	0	0	-		

☉ Valoración obtenida usando todas las especies de macrófitos (salvo eutróficas/exóticas) en las métricas de otra flora acuática. ☉ Valoración obtenida usando las especies de macrófitos características del tipo para las métricas de otra flora acuática. Las distintas metodologías de cálculo del porcentaje de cobertura de explican en el epígrafe 5.1.2.4.

Tabla 49. Valoración del elemento de calidad “otra flora acuática” en la laguna de Taravilla; Campaña Primavera 2010.

LAGUNA DE TARAVILLA		PRESIONES HIDROMORFOLÓGICAS						EUTROFÍA		EXÓTICAS		CALIDAD OTRA FLORA ACUÁTICA
TAXONES QUE SE CONSIDERAN	Metodología de cálculo de métricas	Riqueza de sp. características		Cobertura hidrófilos		Cobertura helófitos		PROMEDIO EQR HM	Cobertura especies eutróficas (%)	Cobertura de sp. Exóticas (%)		
		(%)	EQR	(%)	EQR	(%)	EQR					
TODOS (a)	SUMA DE SP EN CADA PUNTO (A)	9	0.82	7.8	0.09	95	0.95	0.88	0	0	MUY BUENA	
	VALOR DEL % MÁXIMO (B)	9	0.82	5.0	0.06	95	0.95	0.88	0	0	MUY BUENA	
	PROMEDIO DE LOS ANTERIORES (C)	9	0.82	6.4	0.07	95	0.95	0.88	0	0	MUY BUENA	
ESPECÍFICOS DE TIPO (a)	SUMA DE SP EN CADA PUNTO (A)	4	0.36	7.5	0.08	95	0.95	0.66	0	0	BUENA	
	VALOR DEL % MÁXIMO (B)	4	0.36	5.0	0.06	95	0.95	0.66	0	0	BUENA	
	PROMEDIO DE LOS ANTERIORES (C)	4	0.36	6.25	0.07	95	0.95	0.66	0	0	BUENA	
VALOR DE REFERENCIA		11		90		100		-	0	0	-	

Dado que el sustrato y la pendiente de esta laguna no permiten una adecuada potencialidad para los hidrófilos éstos no se han tenido en cuenta para la valoración.

Tabla 50. Valoración del elemento de calidad “otra flora acuática” en la laguna Grande de El Tobar. Año 2010.

LAGUNA GRANDE DE EL TOBAR		PRESIONES HIDROMORFOLÓGICAS						EUTROFÍA		EXÓTICAS		CALIDAD OTRA FLORA ACUÁTICA
TAXONES QUE SE CONSIDERAN	Metodología de cálculo de métricas	Riqueza de sp. características		Cobertura hidrófilos		Cobertura helófitos		PROMEDIO EQR HM	Cobertura especies eutróficas (%)	Cobertura de sp. Exóticas (%)		
		Nº	EQR	(%)	EQR	(%)	EQR					
TODOS (a)	SUMA DE SP EN CADA PUNTO (A)	10	0.91	95.3	1.00	85	0.85	0.92	0.25	0	MUY BUENA	
	VALOR DEL % MÁXIMO (B)	10	0.91	85.0	0.94	85	0.85	0.90	0.25	0	MUY BUENA	
	PROMEDIO DE LOS ANTERIORES (C)	10	0.91	90.2	1.00	85	0.85	0.92	0.25	0	MUY BUENA	
ESPECÍFICOS DE TIPO (a)	SUMA DE SP EN CADA PUNTO (A)	3	0.27	10.5	0.12	85	0.85	0.41	0.25	0	MODERADA	
	VALOR DEL % MÁXIMO (B)	3	0.27	10.3	0.11	85	0.85	0.41	0.25	0	MODERADA	
	PROMEDIO DE LOS ANTERIORES (C)	3	0.27	10.4	0.12	85	0.85	0.41	0.25	0	MODERADA	
VALOR DE REFERENCIA		11		90		100		-	0	0	-	

Para la riqueza de especies no se ha tenido en cuenta las especies exóticas.

(a) Valoración obtenida usando todas las especies de macrofitos (salvo eutróficas/exóticas) en las métricas de otra flora acuática. (b) Valoración obtenida usando las especies de macrofitos características del tipo para las métricas de otra flora acuática. Las distintas metodologías de cálculo del porcentaje de cobertura de explícitan en el epígrafe 5.1.2.4.

Tabla 51. Elementos de calidad fisicoquímicos. Año 2010.

Tipos	COD	Nombre	Calidad Secchi (m)	Calidad conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Calidad pH	CALIDAD FISICOQUÍMICA
10	310001	Laguna Grande del Tobar	5,3	733,30	7,84	\geq BUENA
10	31NML1	Laguna de Taravilla	8,7	591,45	7,70	\geq BUENA
12	31NML3	Laguna de Somolinos	6,7	442,64	7,91	\geq BUENA
17	31NML2	Laguna Grande de Beleña	-	127,00	6,60	\geq BUENA

La profundidad del disco de Secchi no se tiene en cuenta en la valoración de lagos pertenecientes a la tipología 17 (Beleña).

Tabla 52. Combinación de los elementos de calidad biológica (fitoplancton + flora acuática). Año 2010.

TIPOLOGÍA	CÓDIGO	Nombre	Calidad "fitoplancton"	Calidad "otra flora acuática" ^①	Calidad "otra flora acuática" ^②	CALIDAD BIOLÓGICA ^①	CALIDAD BIOLÓGICA ^②
10	310001	Laguna Grande del Tobar	MUY BUENA	MUY BUENA	MODERADA	MUY BUENA	MODERADA
10	31NML1	Laguna de Taravilla	MUY BUENA	MUY BUENA	BUENA	MUY BUENA	BUENA
12	31NML3	Laguna de Somolinos	MUY BUENA	MUY BUENA	BUENA	MUY BUENA	BUENA
17	31NML2	Laguna de Beleña	MODERADA	BUENA	MODERADA	MODERADA	MODERADA

^① Valoración obtenida usando todas las especies de macrófitos (salvo eutróficas/exóticas) en las métricas de otra flora acuática. ^② Valoración obtenida usando las especies de macrófitos características del tipo para las métricas de otra flora

En el resto de lagunas la calidad del fitoplancton es muy buena, y la calidad biológica final está condicionada por el método de valoración del elemento de calidad "otra flora acuática". En el caso de la laguna de Taravilla y en la de Somolinos, ambos métodos de valoración igualan/superan el buen estado, ya que con el método de valoración menos restrictivo (^①) el elemento de calidad biológica "otra flora acuática" está calificado con calidad como muy buena, y con el más restrictivo (^②) la calidad es buena.

En la laguna Grande del Tobar la calidad biológica obtenida en la combinación de los elementos de calidad "fitoplancton" y "otra flora acuática" difiere de forma importante en función del método de valoración que se haya empleado para "otra flora acuática".

En cuanto a la presencia de especies de macrófitos indicadoras de condiciones eutróficas únicamente se encuentran presentes en la Laguna Grande del Tobar, pero en una proporción que no llega a empeorar la calidad. En esta laguna se han encontrado dos especies indicadoras de condiciones eutróficas: *Rhizoclonium* sp. y *Spirogyra* sp.

Dado que la metodología de clasificación del estado ecológico en lagunas se ha desarrollado muy recientemente, no estando aún completamente definida, se hace necesario tener en cuenta el principio de

precaución a la hora de tener en cuenta esta primera valoración. Además hay que recordar que sólo se han tenido en cuenta los datos procedentes de la séptima campaña de muestreo que, como se indica en los apartados anteriores, se ha realizado entre los meses de junio y agosto de 2010, época que puede ser coincidente con el periodo de mínima inundación, por lo que los valores obtenidos pueden verse afectados a la hora de llevar a cabo la valoración de los diferentes elementos de calidad.

La Tabla 53 muestra los resultados de aplicar las reglas de combinación de los elementos de calidad a la hora de valorar el estado ecológico en las masas de agua tipo lago.

Tabla 53. Combinación de los elementos de calidad para valorar el estado ecológico de las lagunas. Año 2010.

Tipo	COD	Nombre	CAL. BIOLÓGICA ①	CAL. BIOLÓGICA ②	CAL. FQ	ESTADO ECOLÓGICO ①	ESTADO ECOLÓGICO ②
10	310001	Laguna Grande del Tobar	MUY BUENA	MODERADA	≥ BUENA	≥ BUENA	MODERADO
10	31NML1	Laguna de Taravilla	MUY BUENA	BUENA	≥ BUENA	≥ BUENA	BUENA
12	31NML3	Laguna de Somolinos	MUY BUENA	BUENA	≥ BUENA	≥ BUENA	BUENA
17	31NML2	Laguna Grande de Beleña	MODERADA	MODERADA	≥ BUENA	MODERADO	MODERADO

① Valoración obtenida usando todas las especies de macrófitos (salvo eutróficas/exóticas) en las métricas de otra flora acuática. ② Valoración obtenida usando las especies de macrófitos características del tipo para las métricas de otra flora acuática. En ambos casos se ha tomado la estimación C de la cobertura (promedio de A y B).

En la laguna de Beleña la calidad moderada obtenida para los elementos de calidad biológicos es independiente del método de valoración empleado para evaluar la calidad del elemento de calidad “otra flora acuática”, por lo que el estado ecológico no alcanza el buen estado en ninguno de los dos métodos de evaluación.

En el caso de las lagunas de Taravilla y Somolinos, ambos métodos de valoración del elemento de calidad biológica “otra flora acuática” implican que el estado ecológico sea al menos bueno. Por su parte, en la laguna Grande del Tobar la calidad biológica difiere de forma importante en función del método de valoración que se haya empleado para “otra flora acuática”. En esta laguna se ha encontrado un alga no identificada con una cobertura muy importante. Al tener una amplia cobertura y no estar identificada a nivel de especie, el hecho de suponer o no que pertenece al listado de especies características del tipo condiciona de forma muy importante el resultado de la evaluación, pasando de muy buena calidad biológica a moderada. Esto implica que en combinación con los elementos de calidad fisicoquímicos evaluados, la evaluación del estado ecológico pueda ser buena o superior o bien moderada.

En cualquier caso se ha de reiterar que ni los periodos ni las metodologías de muestreo del elemento de calidad “otra flora acuática” se han seguido de forma estricta para todas las métricas, por lo que esta evaluación de la calidad pretende ser una primera aproximación con vistas a poder definirla totalmente en los muestreos siguientes. De forma adicional, no se han evaluado elementos de calidad hidromorfológicos en las lagunas, al no disponer en el momento de la realización de los trabajos de la información necesaria para llevar a cabo este estudio.

5.2.4 Valoración global

En la siguiente tabla se resumen los resultados obtenidos para las diferentes campañas de las lagunas en las que se ha realizado un seguimiento más continuo.

Tabla 54. Valoración del estado ecológico en las campañas realizadas entre los años 2008 y 2010 en las lagunas de la cuenca hidrográfica del Tajo.

Tipo	Nombre	VER08	VER09	PRI10
10	Laguna Grande del Tobar	≥ BUENO	BUENO	BUENO
10	Laguna de Taravilla	≥ BUENO	≥ BUENO	MODERADO
12	Laguna de Somolinos	≤ MODERADO	≥ BUENO	BUENO
3	Laguna Grande de Peñalara	≤ MODERADO	≥ BUENO	
17	Laguna Grande de Beleña			MODERADO
5	Laguna de los Pájaros		≥ BUENO	
3	Laguna de los Claveles		≥ BUENO	

(*) Se ha referenciado la valoración más restrictiva, valoración 2, con los promedios de cobertura (C)

Es importante tener en cuenta que solamente en la última campaña (primavera 2010) se dispuso de información para poder emplear las métricas del elemento de calidad “otra flora acuática” referentes a la vegetación, y que por tanto en todas las ocasiones anteriores sólo se dispuso de datos para poder valorar el fitoplancton y los elementos de calidad fisicoquímicos. Esto impide hacer un estudio de la evolución del estado al no haberse evaluado éste del mismo modo en todas las campañas.

Teniendo en cuenta los muestreos de verano hasta 2009, muestreos realizados en periodo más acorde al exigido por el Ministerio para valorar el estado y en los que sólo se tiene datos para fitoplancton y fisicoquímicos in situ, las lagunas de **Taravilla**, los **Pájaros** y los **Claveles** habrían cumplido el buen estado en todas las ocasiones en las que se han muestreado, si bien hay que destacar que para las dos últimas lagunas sólo se dispone de un dato en 2009. La laguna **Grande del Tobar** ha alcanzado el buen estado en todas las ocasiones. **Somolinos** y **Peñalara** por su parte han obtenido valoraciones dispares según la fecha de muestreo. Ambas se han clasificado con estado *moderado* o *inferior* en el periodo de verano de 2008 mientras que en verano de 2009 la evaluación del estado fue *bueno* o *superior*. En cuanto a la laguna temporal de **Beleña**, la ausencia de datos hasta primavera de 2010, año en el que debido a las cuantiosas lluvias se ha podido alargar el periodo de llenado de la laguna, hace que sólo se disponga de valoración para esta última campaña, clasificándose su estado como *moderado*.

[6]

Conclusiones



Laguna de los Pájaros en Rascafría, Madrid.

DE LOS TRABAJOS REALIZADOS para la evaluación del estado ecológico de las lagunas declaradas como masas de agua en la cuenca hidrográfica del Tajo se puede concluir lo siguiente:

- El estado ecológico de todas las lagunas es bueno o muy bueno, con la única excepción de la laguna Grande de Beleña, que presenta un estado ecológico moderado debido al resultado obtenido de clorofila (13,6mg/l). Al tratarse ésta de una laguna temporal solamente ha podido realizarse un muestreo; por tanto, el resultado obtenido no debería considerarse como concluyente.
- El muestreo biológico en las lagunas de la cuenca lleva poco tiempo realizándose y hasta que no se dispuso (en 2010) de los protocolos de muestreo y evaluación de “otra flora acuática”, no pudieron introducirse los macrófitos en la evaluación de estado ecológico. Por lo tanto, solamente durante el último año se pudo llevar a cabo un análisis más completo de las lagunas.
- Con sólo una campaña de muestreo de macrófitos y teniendo en cuenta de que se trata de una metodología de muestreo compleja y novedosa, que requiere un mayor preparación del personal, los resultados que se presentan en este informe deben tomarse como orientativos y nunca como definitivos.
- Por lo dicho anteriormente, es necesario continuar con el muestreo y análisis de las lagunas para obtener unos resultados más robustos, con los que se pueda determinar con mayor grado de fiabilidad el estado ecológico de las lagunas de la cuenca.

[7]

Bibliografía



Laguna de Taravilla en Taravilla, Guadalajara.

- **C.H. Ebro. 2005.** Metodología para el establecimiento del Estado Ecológico según la Directiva Marco del Agua. Protocolos de muestreo y análisis para fitoplancton. Ministerio de Medio Ambiente.
- **Camacho, A.; C. Borja, B. Valero-Garcés, M. Sahuquillo, S. Cirujano, J. M. Soria, E. Rico, A de la Hera, A. C. Santamans, A. García de Domingo, A. Chicote y R. U. Gosálvez. 2009.** Aguas continentales retenidas. Ecosistemas leníticos. En: VV.AA., Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Dirección General de Medio Natural y Política Forestal, Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Madrid. Edición en formato DVD.
- **CEDEX. 2008.** Ampliación y actualización de la tipología de lagos. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Madrid, 116 pp.
- **CEDEX. 2009a.** Selección preliminar de posibles estaciones de referencia en lagos v 1.0. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Madrid.
- **CEDEX. 2009b.** Selección de métricas para la evaluación del estado ecológico de las masas de agua del tipo “lagos” basadas en el elemento de calidad “fitoplancton”, en aplicación de la Directiva Marco del Agua v 1.0. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Madrid.

- **CEDEX. 2009c.** Selección de métricas para la evaluación del estado ecológico de las masas de agua del tipo “lagos” basadas en el elemento de calidad “Otra flora acuática”, en aplicación de la Directiva Marco del Agua v 1.0. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Madrid.
- **CEDEX. 2009d.** Establecimiento de condiciones hidromorfológicas y físico-químicas específicas del tipo de lago v 1.0. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Madrid.
- **CEDEX. 2009e.** Establecimiento de condiciones de referencia y valores frontera entre clases de estado ecológico para los elementos de calidad “fitoplancton” y “otra flora acuática” en masas de agua de la categoría “lago”.
- **CEN. European Committee for Standardization. 2004.** /TC 230. Water Quality. Standard for the routine analysis of phytoplankton abundance and composition using inverted microscope (Utermöhl technique).
- **D.O.C.E. 2000.** Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en la política de aguas. D.O.C.E. L327 de 22.12.00. 69 pp.
- **Margalef, R., D. Planas, J. Armengol, A. Vidal, N. Prat, A. Guisset, J. Toja & M. Estrada. 1976.** Limnología de los embalses españoles. Dirección General de Obras Hidráulicas. Ministerio de Obras Públicas. Publicación N°123. Madrid.
- **MARM. 2008a.** Borrador del protocolo de identificación y recuento de fitoplancton.
- **MARM. 2008b.** Borrador del protocolo de muestreo y análisis de clorofila.
- **MARM. 2010.** Protocolo de muestreo de fitoplancton en lagos y embalses (Código M-LE-FP-2010).
- **OCDE. 1982.** Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control. OCDE, Paris, 154 pp.
- **Orden ARM/2656/2008,** de 10 de septiembre, por la que se aprueba la Instrucción de Planificación Hidrológica. BOE 22.09.08.
- **Utermöhl, H. 1958.** Zur Vervollkomrnung ver quantitativen Phytoplankton Methodic. Mitt. Int. Verein. Limnol. 9: 1-38.
- **Willen, E. 2000.** Phytoplankton water quality assessment- an indicator concept. En: Hydrological and limnological aspects of lake monitoring 58-80. Heinonen, I., Ziglio, G. & Van der Beken, A. (Eds). Wiley & Sons. LTD.

Valoración del estado
ecológico en las lagunas
de la cuenca
hidrográfica del Tajo

[2008-2010]

