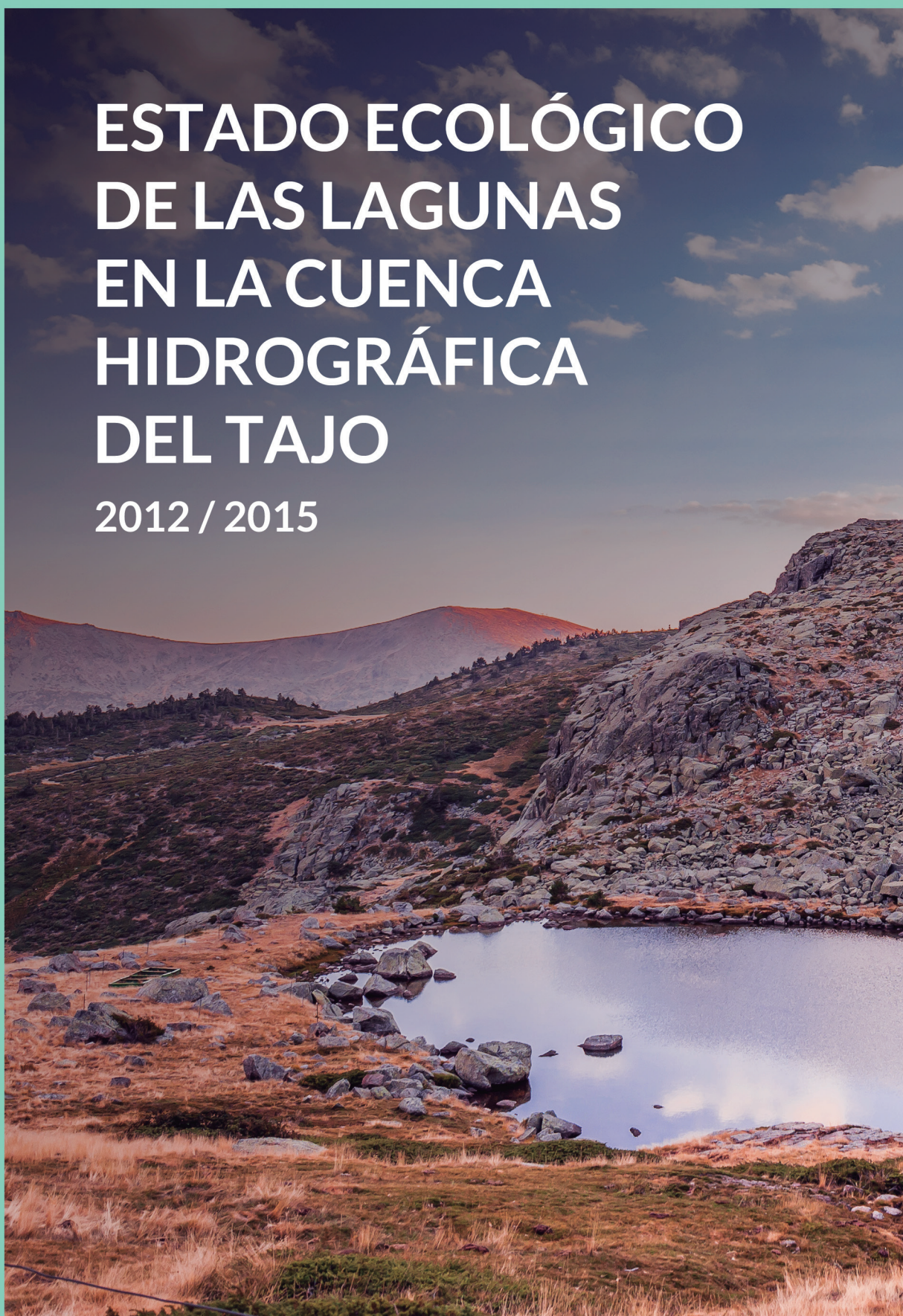


ESTADO ECOLÓGICO DE LAS LAGUNAS EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL TAJO

2012 / 2015



DATOS DE LA PUBLICACIÓN

Estado ecológico de las lagunas en la cuenca hidrográfica del Tajo (2012-2015)

Año de publicación 2018
Publicador Confederación Hidrográfica del Tajo

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



Dirección y coordinación del informe Antonio Yáñez Ciudad (Confederación Hidrográfica del Tajo)
M^a Victoria Corral Hernán (Confederación Hidrográfica del Tajo)
Con la colaboración de:
Ana Fernández Santamarina (Tragsatec)

Elaboración y redacción del informe M^a Victoria Corral Hernán (Confederación Hidrográfica del Tajo)
Ana Fernández Santamarina (Tragsatec)
Mikel Zaragüeta Amondarain (Cimera Estudios Aplicados, S.L)
Alejandra Goldenberg Vilar (Cimera Estudios Aplicados, S.L)
Amaia Pérez Bilbao (Cimera Estudios Aplicados, S.L)
Ana Bermejo Albiñana (Cimera Estudios Aplicados, S.L)
Santiago Robles Claros (Cimera Estudios Aplicados, S.L)
José Miguel Rodríguez Cristóbal (Cimera Estudios Aplicados, S.L)

Diseño y maquetación Blas Oliet
Irene Fernández

Impresión Gráficas Chindas, S.L.

Depósito legal M-5789-2018

ESTADO ECOLÓGICO DE LAS LAGUNAS EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL TAJO

2012/2015

CONTENIDOS PRINCIPALES

INTRODUCCIÓN

RED DE CONTROL DEL
ESTADO ECOLÓGICO
EN LAGUNAS

CRITERIOS DE
EVALUACIÓN DEL
ESTADO DE LAS MASAS

ÍNDICES DE CALIDAD.
PROTOCOLOS DE
MUESTREO Y ANÁLISIS



10

12

20

24

40

RESULTADOS

50

ESTADO ECOLÓGICO

58

ESTADO TRÓFICO

60

CONCLUSIONES

62

BIBLIOGRAFÍA

Laguna de las Esteras

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	10
RED DE CONTROL DEL ESTADO ECOLÓGICO EN LAGUNAS	12
LA DEMARCACIÓN Y SUS MASAS DE AGUA SUPERFICIALES	12
CLASIFICACIÓN DE LAS MASAS DE AGUA SUPERFICIALES DE CATEGORÍA LAGO POR TIPOLOGÍA Y NATURALEZA	13
PROGRAMAS DE CONTROL	15
PUNTOS DE MUESTREO	16
CAMPAÑAS DE MUESTREO	19
CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LAS MASAS	20
NORMATIVA DE APLICACIÓN	20
EVALUACIÓN DEL ESTADO ECOLÓGICO	22
ÍNDICES DE CALIDAD. PROTOCOLOS DE MUESTREO Y ANÁLISIS	24
INDICADORES BIOLÓGICOS	25
INDICADORES FISICOQUÍMICOS	36
CONDICIONES DE REFERENCIA Y LÍMITES DE CAMBIO DE CLASE DE ESTADO	36
VALORACIÓN DEL ESTADO ECOLÓGICO	39
RESULTADOS	40
INDICADORES BIOLÓGICOS	40
INDICADORES BIOLÓGICOS AÑO 2012	40
INDICADORES BIOLÓGICOS AÑO 2013	43
INDICADORES BIOLÓGICOS AÑO 2015	45
INDICADORES FISICOQUÍMICOS	48
ESTADO ECOLÓGICO	50
ESTADO ECOLÓGICO AÑO 2012	50
ESTADO ECOLÓGICO AÑO 2013	51
ESTADO ECOLÓGICO AÑO 2015	52
ESTADO ECOLÓGICO EN LAGOS. EVOLUCIÓN 2012-2015 y 2008-2015	52
ESTADO TRÓFICO	58
CONCLUSIONES	60
BIBLIOGRAFÍA	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables que intervienen en la definición de tipologías en masa de la categoría lago
Tabla 2. Tipologías de lagos en la Demarcación Hidrográfica del Tajo
Tabla 3. Frecuencias mínimas de muestreo para los programas de control de vigilancia y operativo para la categoría lago (RD 817/2015).
Tabla 4. Nombre, localización y tipología de las lagunas muestreadas
Tabla 5. Campañas de muestreo de las lagunas
Tabla 6. Tabla resumen de la normativa y protocolos que se aplican a cada elemento de calidad en la categoría lago. En color blanco aparece la normativa anterior y en amarillo la actual
Tabla 7. Correspondencia entre los tipos IBCAEL y los tipos de lagos de la IPH (Protocolo IBCAEL-2013)
Tabla 8. Metodología de muestreo de macrófitos según las características de la masa de agua 1-16, 18, 20-29
Tabla 9. Clases de estado para los valores de RCE transformados para lagos (métricas de fitoplancton)
Tabla 10. CR y límites de cambio de clase de estado de las tipologías de lagos presentes en la CHT antes y después del RD 817/2015. En negrita y cursiva los valores de los límites establecidos por el CEDEX
Tabla 11. Escala de clasificación del estado ecológico en lagunas
Tabla 12. Valor del índice IBCAEL para el cálculo del elemento "Fauna invertebrada bentónica" del año 2012
Tabla 13. Valores para el cálculo del elemento "Otra flora acuática" del año 2012
Tabla 14. Valores para el cálculo del elemento "Fitoplancton" del año 2012
Tabla 15. Valor del índice IBCAEL para el cálculo del elemento "Fauna invertebrada bentónica" del año 2013
Tabla 16. Valores para el cálculo del elemento "Otra flora acuática" del año 2013
Tabla 17. Valores para el cálculo del elemento "Fitoplancton" del año 2013
Tabla 18. Valor del índice IBCAEL para el cálculo del elemento "Fauna invertebrada bentónica" del año 2015
Tabla 19. Valores para el cálculo del elemento "Otra flora acuática" del año 2015
Tabla 20. Valores para el cálculo del elemento "Fitoplancton" del año 2015
Tabla 21. Valoración de los parámetros fisicoquímicos del año 2012
Tabla 22. Valoración de los parámetros fisicoquímicos del año 2013
Tabla 23. Valoración de los parámetros fisicoquímicos del año 2015
Tabla 24. Estado ecológico de las lagunas muestreadas durante el año 2012
Tabla 25. Estado ecológico de las lagunas muestreadas durante el año 2013
Tabla 26. Estado ecológico de las lagunas muestreadas durante el año 2015
Tabla 27. Tabla resumen con las valoraciones del estado ecológico de las siete lagunas durante los años 2012-2015
Tabla 28. Estado ecológico 2012-2015 considerando o no los resultados del índice IBCAEL
Tabla 29. Comparación del estado ecológico de los años 2008-2015
Tabla 30. Límites de referencia para el cálculo del estado trófico según la OCDE
Tabla 31. Límites de referencia para el cálculo del estado trófico en función del Biovolumen según Willen (2000)
Tabla 32. Estado trófico de las lagunas durante los años 2012, 2013 y 2015, donde Pt: fósforo total, DS: Disco de Secchi, Ultraoligo: ultraoligotrófico, Oligo: oligotrófico, Meso: mesotrófico, Eut: eutrófico, Hipereut: hipereutrófico

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Localización de las lagunas objeto de estudio en la Cuenca Hidrográfica del Tajo
- Figura 2. Tipología de las lagunas objeto de estudio en la cuenca hidrográfica del Tajo
- Figura 3. Laguna Grande de El Tobar
- Figura 4. Laguna de Taravilla
- Figura 5. Laguna Grande de Beleña
- Figura 6. Laguna de Somolinos
- Figura 7. Laguna Grande de Peñalara
- Figura 8. Laguna de los Claveles
- Figura 9. Laguna de los Pájaros
- Figura 10. Clasificación del estado ecológico de acuerdo al esquema elaborado por la Comisión Europea
- Figura 11. Diversidad de invertebrados bentónicos de lagos y humedales. De izquierda a derecha y de arriba abajo: Clase Ostracoda, Subfilo Turbellaria, y familias Pleidae, Baetidae y Dytiscidae
- Figura 12. Esquema del procedimiento de muestreo de invertebrados bentónicos
- Figura 13. Método de muestreo de invertebrados bentónicos en lagos. Fuente: CHE (2005)
- Figura 14. Esquema de la distribución de los diferentes macrófitos en un ecosistema acuático. Fuente: ID-TAX Flora acuática: Macrófitos (Cirujano *et al.*, 2012)
- Figura 15. Esquema del procedimiento de muestreo de macrófitos
- Figura 16. Identificación de macrófitos sumergidos *in situ*
- Figura 17. Detalle de macrófitos identificados *in situ*
- Figura 18. *Dynobryon divergens*
- Figura 19. Esquema del procedimiento de muestreo de fitoplancton
- Figura 20. Medición de la transparencia mediante el Disco de Secchi
- Figura 21. Taxones de macroinvertebrados bentónicos más frecuentes en las lagunas muestreadas en el año 2012
- Figura 22. Taxones de macrófitos más frecuentes recogidos en las lagunas durante el año 2012
- Figura 23. Taxones de macroinvertebrados bentónicos más frecuentes en las lagunas muestreadas en el año 2013
- Figura 24. Taxones de macrófitos más frecuentes recogidos en las lagunas durante el año 2013
- Figura 25. Taxones de macroinvertebrados bentónicos más frecuentes en las lagunas en el año 2015
- Figura 26. Taxones de macrófitos más frecuentes en las lagunas en el año 2015
- Figura 27. Representación del estado ecológico de las lagunas en el año 2008
- Figura 28. Representación del estado ecológico de las lagunas en el año 2009
- Figura 29. Representación del estado ecológico de las lagunas en el año 2010
- Figura 30. Representación del estado ecológico de las lagunas en el año 2012
- Figura 31. Representación del estado ecológico de las lagunas en el año 2013
- Figura 32. Representación del estado ecológico de las lagunas en el año 2015



INTRODUCCIÓN

Los lagos y lagunas constituyen ecosistemas de una gran productividad y diversidad biológica, cumpliendo funciones ecológicas fundamentales, tales como regular los regímenes hidrológicos o ser el hábitat de una gran cantidad de especies animales y vegetales (Convención Ramsar, 1971; Mitsch & Gosselink, 2000). El Convenio Ramsar promueve la conservación de los humedales mediante un uso racional, definido como la “utilización sostenible que otorga beneficios a la humanidad de una manera compatible con el mantenimiento de las propiedades naturales del ecosistema”.

Sin embargo, durante las últimas décadas estos ecosistemas de aguas estancadas han sufrido un grave deterioro a nivel mundial debido a la influencia humana (Solimini *et al.*, 2008; Stenert & Maltchik, 2007). La disminución en la calidad del agua, el drenaje, la eutrofización y las alteraciones en las cuencas, tales como el desarrollo humano, la pérdida de vegetación y las malas prácticas agrícolas, están provocando cambios en

la ecología de los ecosistemas leníticos en todo el mundo (Drake *et al.*, 2011). En España, por ejemplo, la creencia de que eran focos infecciosos en los que se reproducían insectos transmisores de enfermedades, la consideración de estas zonas como improductivas y la necesidad de nuevas tierras de cultivo, hizo que durante los años 50 se desecaran muchos de estos hábitats. A finales del siglo pasado se estimaba que habían desaparecido aproximadamente más del 60% de humedales españoles (Casado & Montes, 1995).

LA DISMINUCIÓN EN LA CALIDAD DEL AGUA, EL DRENAJE, LA EUTROFIZACIÓN Y LAS ALTERACIONES EN LAS CUENCAS, TALES COMO EL DESARROLLO HUMANO, LA PÉRDIDA DE VEGETACIÓN Y LAS MALAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS, ESTÁN PROVOCANDO CAMBIOS EN LA ECOLOGÍA DE LOS ECOSISTEMAS LENÍTICOS EN TODO EL MUNDO (DRAKE ET AL., 2011).

La necesidad de proteger estos ecosistemas llevó, entre otras actuaciones, a la aprobación de la **Directiva Marco del Agua (DMA)** (Directiva 2000/60/CE, de 23 de octubre de 2000) (DOCE, 2000), en la cual se estableció que para todas las aguas superficiales (ríos, lagos, aguas de transición y aguas costeras) debía alcanzarse el mejor estado ecológico¹ y estado químico posibles, considerando el potencial ecológico² para aquellas masas muy modificadas o artificiales.

De acuerdo a la DMA, el estado ecológico se clasificará como *muy bueno*, *bueno*, *moderado*, *deficiente* o *malo* utilizando para su clasificación una serie de indicadores biológicos, fisicoquímicos e hidromorfológicos. Por su lado, el estado químico se clasificará como *bueno* o *no alcanza el buen estado* utilizando para ello las Normas de Calidad Ambiental (NCA)³ de un conjunto de sustancias prioritarias y otros contaminantes.

¹ «estado ecológico»: expresión de la calidad de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos asociados a las aguas superficiales, que se clasifica con arreglo al anexo V;

² «potencial ecológico»: el estado de una masa de agua muy modificada o artificial, que se clasifica con arreglo a las disposiciones pertinentes del anexo V;



Marc de Ontigola

Se trata de una evaluación en términos relativos, donde la clasificación en las diferentes clases especificadas por la DMA será el resultado de estimar la desviación respecto a unas condiciones de referencia (CR) especificadas para cada tipo de masa de agua.

En el caso de los lagos, la **Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH)** (Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre) no contemplaba CR para esta categoría de masa de agua. Sin embargo, a partir de septiembre de 2015, con la entrada en vigor del **RD 817/2015, de 11 de septiembre**, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental, quedan desarrolladas las CR para todas las tipologías de lagos, otorgando así un criterio más preciso a la hora de establecer el estado de estas masas de agua.

Con este fin, la Confederación Hidrográfica del Tajo (CHT) ha llevado a cabo el estudio y seguimiento de la calidad de sus lagos. Fruto de esos estudios surge este informe, que, siguiendo la lí-

nea del anterior **“Valoración del estado ecológico en las lagunas de la cuenca hidrográfica del Tajo. 2008-2010”** (CHT, 2012), pretende unificar los resultados obtenidos con respecto a la calidad de las masas de agua categoría lago pertenecientes a la cuenca del Tajo durante el periodo 2012-2015.

A FINALES DEL SIGLO PASADO SE ESTIMABA QUE HABÍAN DESAPARECIDO APROXIMADAMENTE MÁS DEL 60% DE HUMEDALES ESPAÑOLES (CASADO & MONTES, 1995).

³ «norma de calidad medioambiental»: la concentración de un determinado contaminante o grupo de contaminantes en el agua, los sedimentos o la biota, que no debe superarse en aras de la protección de la salud humana y el medio ambiente.

RED DE CONTROL DEL ESTADO ECOLÓGICO EN LAGUNAS



Nymphaea alba. Laguna Grande de el Tobar

LA DEMARCACIÓN Y SUS MASAS DE AGUA SUPERFICIALES

La Demarcación Hidrográfica Internacional del Tajo es una demarcación compartida entre España y Portugal. El ámbito territorial al que se refiere este informe corresponde a la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Tajo, establecido en el **Real Decreto 125/2007, de 2 de febrero, por el que se fija el ámbito territorial de las demarcaciones hidrográficas.**

La cuenca del Tajo se sitúa en la zona central de la Península Ibérica, limitada por la Cordillera Central al norte, la Ibérica al este y los Montes de Toledo al sur. Se extiende en cinco Comunidades Autónomas: Extremadura, Madrid, Castilla y León, Aragón y Castilla-La Mancha, incluyendo territorios pertenecientes a 12 provincias.

Para estudiar el estado en el que se encuentran los lagos, lagunas y humedales, la DMA define el concepto de masas de agua superficial como una parte diferenciada y significativa de agua superficial, y la utiliza como elemento unitario a estudiar. Para su delimitación la IPH plantea cada masa de agua como un elemento diferenciado, sin solapamientos con otras masas ni elementos que no sean contiguos. Así, no tendrá tramos ni zonas pertenecientes a categorías, tipologías, naturaleza ni características físicas diferentes, siendo la frontera entre estas el determinante al establecer el límite entre masas.

En la cuenca del Tajo se definió una red hidrográfica básica a partir de la cual se han delimitado las diferentes masas de agua, siguiendo lo establecido en el punto

2.2.1.1.1 de la IPH, y que cuenta con más de 8.400 km de longitud. El Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Tajo 2009-2015 (PHT), considera como masas de agua varias lagunas de origen artificial y **siete lagunas** de origen natural. En este estudio se analizan estas últimas: Laguna Grande de El Tobar, Laguna de Taravilla, Laguna Grande de Beleña, Laguna de Somolinos, Laguna Grande de Peñalara, Complejo Lagunar de Humedales Temporales de Peñalara y Laguna de Los Pájaros.

CLASIFICACIÓN DE LAS MASAS DE AGUA SUPERFICIALES DE CATEGORÍA LAGO POR TIPOLOGÍA Y NATURALEZA

Según lo establecido en la IPH se considerarán como masas de agua significativas de la categoría lago aquellos lagos y zonas húmedas 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. También podrán incluirse en esta categoría aquellos lagos o humedales con una especial relevancia

ecológica, incluyendo los humedales de importancia internacional del convenio de Ramsar. Además, los lagos o humedales próximos a la costa se integrarán en la categoría de aguas costeras o de transición como lagunas costeras o de transición, respectivamente.

Las masas de agua presentan una elevada diversidad de ambientes, debido a las diferencias altitudinales, climáticas o geológicas. Para valorar el estado de una masa de agua es necesario, en pri-

mer lugar, clasificarla en una tipología, y posteriormente, para cada tipología establecida, disponer de unas condiciones de referencia (CR) con las que poder comparar las variables analizadas en cada momento. Las tipologías podrían definirse como tipos homogéneos basados en características naturales con objeto de definir CR para cada una. La IPH establece una serie de tipologías para las masas de agua de la categoría lago, las cuales han sido definidas en base a las variables que se detallan en su Anexo II tal y como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Variables que intervienen en la definición de tipologías en masa de la categoría lago

Variables	Unidades	Descripción
Índice de humedad		Cociente entre la precipitación media anual y la evapotranspiración potencial calculada mediante el método de Penman-Monteith. Se distinguen dos rangos, superior e inferior a 2, con objeto de diferenciar las zonas muy húmedas del resto.
Altitud	m.s.n.m.	Cota sobre el nivel del mar de la lámina de agua del lago correspondiente a máxima inundación.
Origen		Factor predominante en la génesis del lago.
Régimen de aportación		Descripción del origen predominante de la aportación. Los grupos considerados son: - Epigénico: aportación mayoritariamente superficial. - Hipogénico: aportación mayoritariamente subterránea. - Mixto: tanto la componente subterránea como la superficial son importantes en la aportación total.
Hidroperiodo		Variable relativa a la frecuencia y persistencia de la inundación en la cubeta. Se consideran dos posibilidades: - Permanente: incluye fluctuante y no fluctuante, así como los semipermanentes, según el criterio del Inventario de Lagos y Humedales de España de 1996, es decir, aquellos que quedan secos de forma muy esporádica y bajo condiciones naturales extremas. - Temporal: incluye sistemas estacionales y sistemas erráticos.
Tamaño	ha	Superficie de la lámina de agua correspondiente a la máxima inundación en situación actual.
Profundidad	m	Profundidad máxima del lago correspondiente a la lámina de máxima inundación en situación actual.
Conductividad	µS/cm	Se establecen las siguientes clases: - Inferior a 500 µS/cm: mineralización baja (oligosalinos o aguas dulces). - 500-3.000 µS/cm: mineralización media (subsalinos). - 3.000-50.000 µS/cm: mineralización alta o muy alta (hiposalinos y mesosalinos). - Superior a 50.000 µS/cm: hipersalinos.
Alcalinidad	meq/l	Refleja la geología, tanto de la cuenca vertiente como de la propia cubeta. Se considera de aguas ácidas cuando es inferior a 1 meq/l y en caso contrario de aguas alcalinas, salvo en los tipos de lagos de media y alta montaña en los que se considera el límite de 0,2 meq/l, a excepción del tipo 9 en el que se mantiene el límite de 1 meq/l.

Dentro de la Demarcación Hidrográfica del Tajo podemos encontrar las siguientes tipologías para las masas de aguas superficiales categoría lago (Tabla 2).

Tabla 2. Tipologías de lagos en la Demarcación Hidrográfica del Tajo

Tipología	Descripción
L-T03	Alta montaña septentrional, poco profundo, aguas ácidas
L-T05	Alta montaña septentrional, temporal
L-T10	Cárstico, calcáreo, permanente, hipogénico
L-T12	Cárstico, calcáreo, permanente, cierre travertínico
L-T17	Interior en cuenca de sedimentación, mineralización baja, temporal

Además de la clasificación de las masas de agua por tipologías, se establece que las masas de agua superficial de acuerdo con su naturaleza podrán clasificarse como naturales, artificiales o muy modificadas. La DMA define esta clasificación de masas por naturalezas, y así considera:

- Masas de agua superficial natural como una parte diferenciada y significativa de agua superficial.
- Masa de agua artificial como una masa de agua superficial creada por la actividad humana.
- Masa de agua muy modificada como masa de agua superficial que, como consecuencia de alteraciones físicas producidas por la actividad humana, ha experimentado un cambio sustancial en su naturaleza.

Como ya se ha comentado anteriormente, el Plan Hidrológico 2009-2015 incluye tanto lagunas de origen natural como artificial. Sin embargo, en este estudio solo se consideran las siete de origen natural.



Laguna de Los Pájaros

PROGRAMAS DE CONTROL

La DMA establece en su artículo 8 la obligación de establecer programas de seguimiento del estado de las aguas, con objeto de obtener una visión general coherente y completa del estado y calidad de las aguas en cada demarcación hidrográfica. Dentro de cada programa se establecen estaciones de muestreo utilizadas para la evaluación del estado de la masa de agua, siendo el punto de muestreo el lugar geográfico de toma de muestra (RD 817/2015).

Dentro de los programas de seguimiento previstos en el RD 817/2015, los aplicados en los lagos de la Demarcación del Tajo se corresponden con el programa de control de vigilancia y el programa de control operativo.

- **Programa de control de vigilancia:** tiene por objeto obtener una visión general y completa del estado de las masas de agua. Está integrado por:

» **Subprograma de seguimiento del estado general de las aguas:** permite realizar la evaluación del estado general de las aguas superficiales y de los cambios o tendencias que experimentan estas masas de agua a largo plazo como consecuencia de la actividad antropogénica muy extendida.

» **Subprograma de referencia:** permite evaluar las tendencias a largo plazo en el estado de las masas de agua debido a cambios en las condiciones naturales, así como establecer CR para cada tipo de masa de agua.

- **Programa de control operativo:** tiene por objeto determinar el estado de las masas de agua en riesgo de no cumplir los objetivos medioambientales, así como evaluar los cambios que se produzcan en el estado de dichas masas como resultado de los programas de medidas.

En la Tabla 3 se incluye, para cada tipo de programa, las frecuencias mínimas de muestreo exigidas en cada elemento de calidad para la categoría lago.

Tabla 3. Frecuencias mínimas de muestreo en los programas de control de vigilancia y operativo para la categoría lago (RD 817/2015)

Elementos de calidad		Control de vigilancia	Control operativo
		Frecuencias mínimas de muestreo*	Frecuencias mínimas de muestreo
Biológicos	Fitoplancton	2	6 meses
	Otra flora acuática: macrófitos	1	3 años
	Macroinvertebrados	1	3 años
	Peces	1	3 años
Hidromorfológicos	Régimen hidrológico	12	1 mes
	Morfología	1	6 años
Químicos y fisicoquímicos generales	Condiciones térmicas	4	3 meses
	Oxigenación	4	3 meses
	Salinidad	4	3 meses
	Estado de nutrientes	4	3 meses
Sustancias individuales	Estado de acidificación	4	3 meses
	Sustancias prioritarias	12	1 mes
	Contaminantes específicos	4	3 meses

*Frecuencias anuales

PUNTOS DE MUESTREO

En la red de control gestionada por la Confederación Hidrográfica del Tajo se incluyen siete lagunas naturales: Laguna Grande de El Tobar, Laguna de Somolinos, Laguna de Taravilla, Laguna de Beleña, Laguna de los Pájaros, Laguna Grande de Peñalara y Complejo Lagunar de Humedales Temporales de Peñalara (Figura 1).



Figura 1. Localización de las lagunas objeto de estudio en la cuenca hidrográfica del Tajo

Estas lagunas se han muestreado de manera periódica desde el año 2007. A continuación se presentan datos sobre la localización de las lagunas, la tipología a la que pertenecen (PHT) y la descripción de las principales características de cada tipología (Tabla 4, Figura 2).

Tabla 4. Nombre, localización y tipología de las lagunas muestreadas

Nombre	Provincia	Tipología	Descripción tipología
Laguna Grande de El Tobar	Cuenca	L-T10	Cárstico, calcáreo, permanente, hipogénico
Laguna de Somolinos	Guadalajara	L-T12	Cárstico, calcáreo, permanente, cierre travertínico
Laguna de Taravilla	Guadalajara	L-T10	Cárstico, calcáreo, permanente, hipogénico
Laguna de Beleña	Guadalajara	L-T17	Interior en cuenca de sedimentación, mineralización baja, temporal
Laguna de Los Pájaros	Madrid	L-T03	Alta montaña septentrional, poco profundo, aguas ácidas
Laguna Grande de Peñalara	Madrid	L-T03	Alta montaña septentrional, poco profundo, aguas ácidas
Complejo Lagunar de Humedales Temporales de Peñalara	Madrid	L-T05	Alta montaña septentrional, temporal

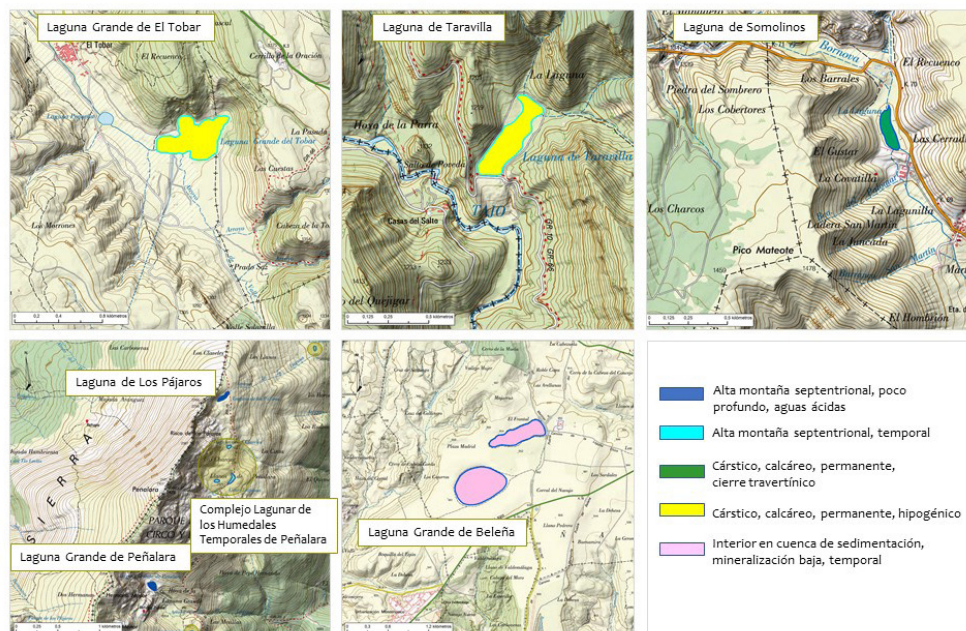


Figura 2. Tipología de las lagunas objeto de estudio en la cuenca hidrográfica del Tajo

LAGUNA GRANDE DE EL TOBAR

Se trata de una laguna meromítica (las capas de aguas profundas no se mezclan con las capas superficiales), de origen cárstico-calcáreo, localizada en el municipio de Beteta (provincia de Cuenca) (Figura 3). Se encuentra situada a 1250 m.s.n.m. y tiene una profundidad media de 19 m. Es de hidroperiodo permanente y sus aguas profundas presentan una elevada salinidad. Su principal fuente de alimentación de origen natural es el manantial de La Laguna y los aportes subterráneos. De manera artificial es alimentada por el trasvase del río Cuervo desde la presa de La Tosca.



Figura 3. Laguna Grande de El Tobar

LAGUNA DE TARAVILLA

La laguna de Taravilla (también llamada de La Parra) está localizada en el municipio de Taravilla (Guadalajara) e incluida en el Parque Natural del Alto Tajo (Figura 4). Se trata de una laguna de montaña permanente de tipo cárstico-calcáreo alimentada por un arroyo de montaña y con unas concentraciones de nutrientes muy bajas, siendo de carácter oligotrófico. Está situada a 1140 m.s.n.m. y tiene una profundidad media de 11 m, con lo que es una laguna relativamente profunda.



Figura 4. Laguna de Taravilla

LAGUNA GRANDE DE BELEÑA

La laguna Grande de Beleña forma parte del complejo lagunar de la Reserva Natural de las Lagunas de Puebla de Beleña (Figura 5). Esta laguna tiene varias figuras de protección, ya que está incluida en la Red Natura 2000, además de ser sitio Ramsar. Se encuentra localizada en el municipio de Puebla de Beleña (Guadalajara). Las lagunas que forman este complejo son lagunas estacionales, someras y de carácter oligotrófico. Están situadas a unos 955 m.s.n.m. y la laguna Grande tiene una profundidad máxima de 0,8 m. De aquí en adelante se nombrará como Laguna de Beleña en el texto.



Figura 5. Laguna Grande de Beleña

LAGUNA DE SOMOLINOS

Esta laguna se encuentra localizada en el municipio de Somolinos (Guadalajara). Es de origen cárstico-calcáreo, permanente y oligotrófica (Figura 6). Está situada al fondo de un valle por cerramiento travertínico (roca sedimentaria formada por depósitos de carbonato de calcio). Tiene una profundidad media de 7 m y se encuentra a una altitud de 1270 m.s.n.m. La laguna de Somolinos es un sistema lacustre frágil y muy poco frecuente en Europa, por lo que tiene un gran interés a nivel internacional por su elevado valor paisajístico y biológico, encontrándose especies de fauna raras a nivel ibérico (moluscos, crustáceos, aves, ...).



Figura 6. Laguna de Somolinos

LAGUNA GRANDE DE PEÑALARA

La laguna de Peñalara es una laguna permanente de origen glaciar situada a 2017 m.s.n.m., en el municipio de Rascafría (Madrid), dentro del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama (Figura 7). Presenta una profundidad máxima de casi 5 m. Está rodeada de praderas y de zonas rocosas formadas por gneises, y cubiertas, en algunas zonas, por matorrales de alta montaña, como el piorno y el enebro rastrero. La laguna se mantiene congelada desde diciembre hasta marzo debido a las temperaturas bajo cero que hay en el lugar.



Figura 7. Laguna Grande de Peñalara

COMPLEJO LAGUNAR
DE LOS HUMEDALES
TEMPORALES DE PEÑALARA

Dentro de este complejo lagunar se muestrea la Laguna de Los Claveles, que al igual que la de Peñalara se encuentra localizada en el municipio madrileño de Rascafría, dentro del P.N. de la Sierra de Guadarrama (Figura 8). Se trata de una laguna temporal de origen glaciar situada a 2119 m.s.n.m., con una profundidad máxima de 3 m. El fondo de la cubeta está ocupado por piedras de tamaño medio, por lo que, al no haber apenas limos, tiene un carácter permeable. Esta laguna también se mantiene congelada desde diciembre hasta marzo debido a las temperaturas bajo cero de la zona.



Figura 8. Laguna de Los Claveles

LAGUNA DE LOS
PÁJAROS

Se trata de una laguna permanente de origen glaciar situada a 2170 m.s.n.m. (Figura 9). Al igual que las dos anteriores se encuentra localizada en el municipio madrileño de Rascafría, dentro del P.N. de la Sierra de Guadarrama. Permanece helada durante los meses de invierno, experimentando fluctuaciones en el nivel de la lámina de agua, aunque sin llegar a desaparecer, ya que se asienta sobre un sustrato limoso que impide la infiltración del agua en el terreno.



Figura 9. Laguna de Los Pájaros

CAMPAÑAS DE MUESTREO

Como se ha comentado anteriormente, estas lagunas comenzaron a muestrearse de manera periódica en el año 2007. En este informe se presentan los datos de los muestreos realizados durante las campañas de primavera y verano de los años 2012, 2013 y 2015. Debido a restricciones presupuestarias, no pudieron realizarse muestreos durante el año 2014.

En la Tabla 5 se resumen las épocas de muestreo de cada año y los elementos de calidad que se muestrearon.

Tabla 5. Campañas de muestreo de las lagunas

Campaña	Fecha inicio	Fecha fin	Elemento de calidad
2012	31 julio	6 agosto	Fitoplancton, Macrófitos, Macroinvertebrados, Físicoquímicos
2013	13 abril	8 agosto	
2015	18 mayo	3 julio	

En los años 2012 y 2015 la laguna de Beleña no se pudo muestrear, por encontrarse seca en el momento de realizar la toma de muestras, mientras que la laguna de Los Claveles no se pudo muestrear en 2012 por el mismo motivo.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LAS MASAS



Lagunas de Horna

NORMATIVA DE APLICACIÓN

El estado de las masas de agua superficiales se define como la expresión general del estado de una masa de agua superficial determinado por el peor valor de su estado ecológico y de su estado químico (RD 817/2015). En la Tabla 6 se recoge la normativa aplicable para evaluar el estado ecológico de las masas de agua categoría lago. Como ya se ha comentado anteriormente, en el año 2015 hubo un cambio significativo en cuanto a los criterios aplicables, con la aprobación del RD 817/2015, que supuso la inclusión en la normativa de las condiciones de referencia (CR) para todas las tipologías de lagos.

Anteriormente al año 2015 se usaban como referencia diferentes documentos, elaborados en su mayoría por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM) en colaboración con el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), como por ejemplo:

- 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 DMA (CEDEX, 2009a)
- 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 DMA (CEDEX, 2009b)
- 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 categoría lago (CEDEX, 2009c)
- Establecimiento de condiciones hidromorfológicas y fisicoquímicas específicas de cada tipo ecológico en masas de agua de la categoría lagos en aplicación de la DMA (CEDEX, 2010)

Tabla 6. Tabla resumen de la normativa y protocolos que se aplican a cada elemento de calidad en la categoría lago. En color gris claro aparece la normativa anterior y en amarillo la actual

ESTADO ECOLÓGICO				ANEXO V DMA. ECOSTAT C.E.
				RD 817/2015
ESTADO QUÍMICO				RD 60/2011
				RD 817/2015
CONDICIONES DE REFERENCIA				DOCUMENTOS DEL CEDEX
				RD 817/2015
TIPOLOGÍA DE MASAS				IPH
INDICADORES	BIOLÓGICOS	MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS	MUESTREOS Y LABORATORIO	Protocolo de muestreo y análisis para invertebrados bentónicos (CHE, 2005)
				Protocolo de muestreo y laboratorio de invertebrados bentónicos en lagos. ML-L-I-2013 (MAGRAMA, 2013a)
			CÁLCULO DE MÉTRICAS	Protocolo de muestreo y análisis para invertebrados bentónicos (CHE, 2005)
				Protocolo para el cálculo del índice IBCAEL de invertebrados en lagos. IBCAEL-2013 (MAGRAMA, 2013b)
		FITOPLANCTON	MUESTREOS Y LABORATORIO	Protocolo de muestreo de fitoplancton en lagos y embalses. M-LE-FP-2010 (MARM, 2010)
				Protocolo de muestreo de fitoplancton en lagos y embalses. M-LE-FP-2013 (MAGRAMA, 2013c)
			CÁLCULO DE MÉTRICAS	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 DMA (CEDEX, 2009a)
				Protocolo de análisis y cálculo de métricas de fitoplancton en lagos y embalses. MFIT-2013 v.2 (MAGRAMA, 2013d)
		MACRÓFITOS	MUESTREOS Y LABORATORIO	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 DMA (CEDEX, 2009b)
				Protocolo de muestreo de otro tipo de flora acuática (macrófitos) en lagos. M-LFM-2013 (MAGRAMA, 2013e)
	CÁLCULO DE MÉTRICAS		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 DMA (CEDEX, 2009b)	
			Protocolo de laboratorio y cálculo de métricas de otro tipo de flora acuática (macrófitos) en lagos. OFALAM-2013 (MAGRAMA, 2013f)	
	FISICOQUÍMICOS			Establecimiento de condiciones hidromorfológicas y fisicoquímicas específicas de cada tipo ecológico en masas de agua de la categoría lagos en aplicación de la DM (CEDEX, 2010)
				RD 817/2015
HIDROMORFOLÓGICOS			Establecimiento de condiciones hidromorfológicas y fisicoquímicas específicas de cada tipo ecológico en masas de agua de la categoría lagos en aplicación de la DMA (CEDEX, 2010)	
			Establecimiento de condiciones hidromorfológicas y fisicoquímicas específicas de cada tipo ecológico en masas de agua de la categoría lagos en aplicación de la DMA (CEDEX, 2013)	

EVALUACIÓN DEL ESTADO ECOLÓGICO

Conforme a las definiciones normativas establecidas en el Anexo V de la DMA, el estado ecológico de las masas de agua superficiales se clasifica como *muy bueno*, *bueno*, *moderado*, *deficiente* o *malo*. Para la clasificación del estado ecológico han de tenerse en cuenta los resultados obtenidos al analizar la calidad ecológica de los parámetros biológicos, físicoquímicos e hidromorfológicos. La combinación de todos ellos dará como resultado el estado ecológico de la masa de agua.

Tal y como establece la DMA, la evaluación del estado viene determinada por la comparación de los valores de los diferentes indicadores registrados en las masas de agua con los valores de los indicadores en condiciones inalteradas (condiciones de referencia). En este sentido se seleccionará el valor más restrictivo obtenido de los diferentes elementos de calidad de cada grupo de parámetros, según el criterio *one out, all out*, que se aplica a nivel de elementos de calidad. Una vez definido este estado se determina el estado ecológico final de la masa de agua (Figura 10), según el esquema desarrollado por el Grupo de trabajo 2.A ECOSTAT de la Comisión Europea (EC, 2003).

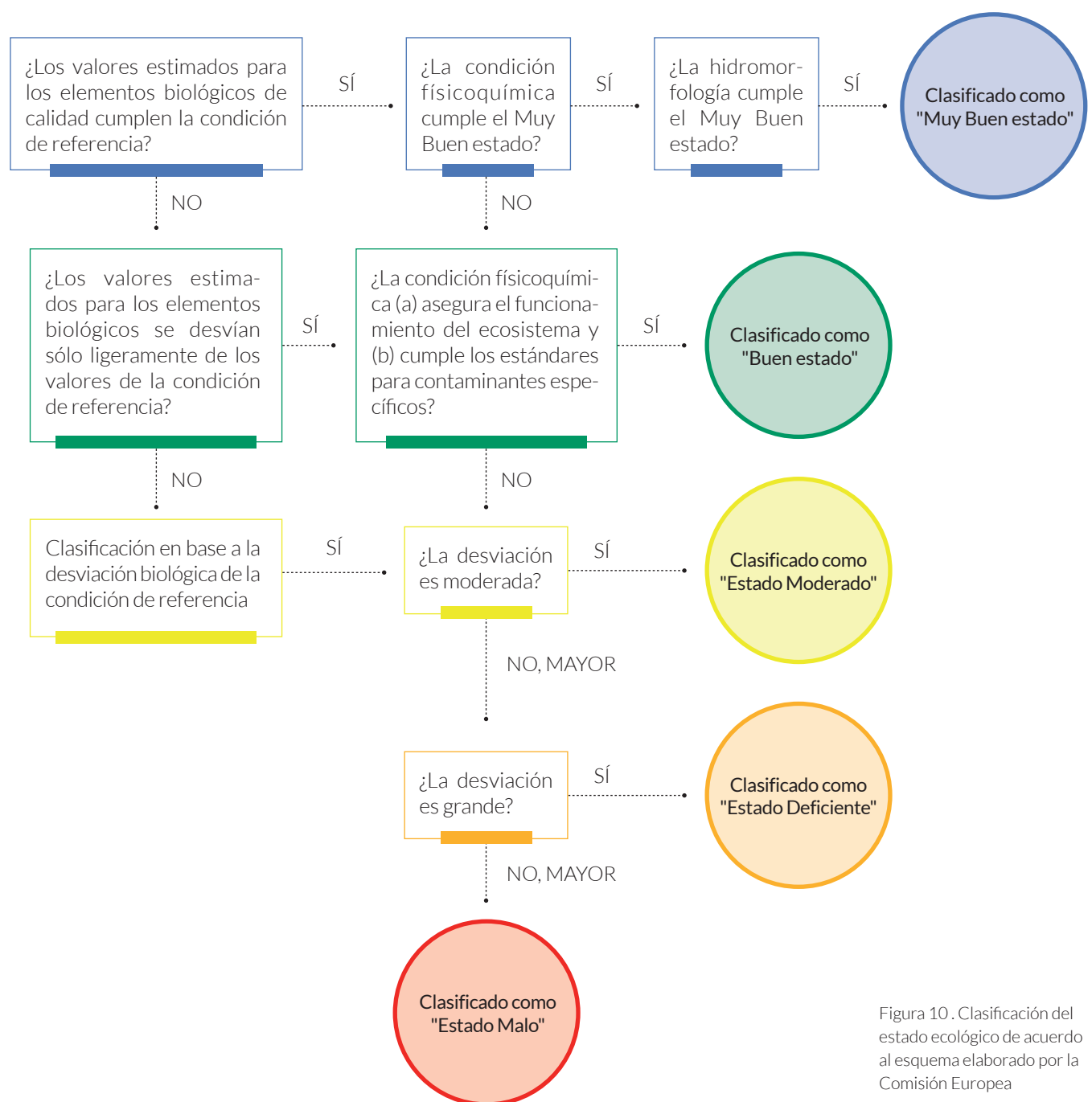


Figura 10 . Clasificación del estado ecológico de acuerdo al esquema elaborado por la Comisión Europea

Como se muestra en la Figura 10, se comparan los resultados obtenidos con la condición de referencia que corresponda al tipo que se esté analizando. Se comprueba cuánto se desvían los datos obtenidos respecto a la condición de referencia y según el resultado, se asigna la valoración de cada elemento de calidad a una clase de estado. En primer lugar, se comparan los resultados de los indicadores biológicos luego los fisicoquímicos y, por último, los hidromorfológicos. En este estudio no se han tenido en cuenta directamente los indicadores hidromorfológicos para la valoración final del estado ecológico, debido, principalmente, a dos cuestiones: la carencia de un protocolo unificado y la falta de condiciones de referencia y límites de cambio de clase de estado para estos indicadores en las tipologías de lagos.



Laguna de Valdemanco



Muestreo de fitoplancton en Peñalara

ÍNDICES DE CALIDAD. PROTOCOLOS DE MUESTREO Y ANÁLISIS

Para el estudio de los diferentes indicadores biológicos utilizados para establecer el estado ecológico de las masas de agua se han tomado como referencia los **protocolos de muestreo y laboratorio** para organismos fitoplanctónicos, fauna bentónica de invertebrados y macrófitos desarrollados por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) (Tabla 6). Estos protocolos son de obligada aplicación en los trabajos de explotación de las redes oficiales de evaluación del estado/potencial ecológico que desarrollan los organismos de cuenca en cumplimiento de la DMA.

Para el desarrollo de la metodología utilizada para la obtención de los resultados que se incluyen en este informe, se toman como referencia los protocolos de muestreo y laboratorio elaborados en los años 2005 (CHE), 2009 (CEDEX) y 2010 (MARM) para las lagunas muestreadas en el 2012 para los elementos de calidad fitoplancton, fauna bentónica de invertebrados y macrófitos, y los elaborados en el año 2013 (MAGRAMA) para las lagunas muestreadas en 2013 y 2015 (Tabla 6). Cabe comentar que para tener una visión más desarrollada y detallada de los mismos se recomienda consultar dichos protocolos, siendo lo presentado a continuación un resumen esquematizado para facilitar una visión más global de la metodología aplicada.

INDICADORES BIOLÓGICOS

INVERTEBRADOS BENTÓNICOS (IBCAEL)

Los macroinvertebrados son un grupo de invertebrados de un tamaño relativamente grande (visible al ojo humano), no inferior a 0,5 mm. Comprende principalmente artrópodos (insectos, arácnidos y crustáceos) junto a oligoquetos, hirudíneos y moluscos y, con menor frecuencia, celentéreos, briozoos o platelmintos (Figura 11).

Los indicadores de calidad biológica basados en los invertebrados bentónicos están menos desarrollados en lagos y humedales que en ríos. En el ámbito de aplicación de la DMA, los invertebrados bentónicos se consideran útiles para la detección y seguimiento de los siguientes tipos de presiones, tanto de tipo medio como a largo plazo:

- Presiones fisicoquímicas relacionadas con contaminación térmica, cambios en la mineralización del agua, contaminación orgánica, eutrofización o contaminación por metales u otros contaminantes.
- Presiones de tipo hidromorfológico relacionadas con alteraciones en el nivel de agua y alteraciones en la morfología del lecho fluvial.

La clasificación del estado ecológico mediante el elemento de calidad Fauna bentónica de invertebrados en los lagos a lo largo de los tres años estudiados (2012, 2013 y 2015), se ha realizado mediante el cálculo del índice IBCAEL. Si bien, y tal y como se ha especificado anteriormente, mediante protocolos diferentes. En este caso se detalla el protocolo más actual.

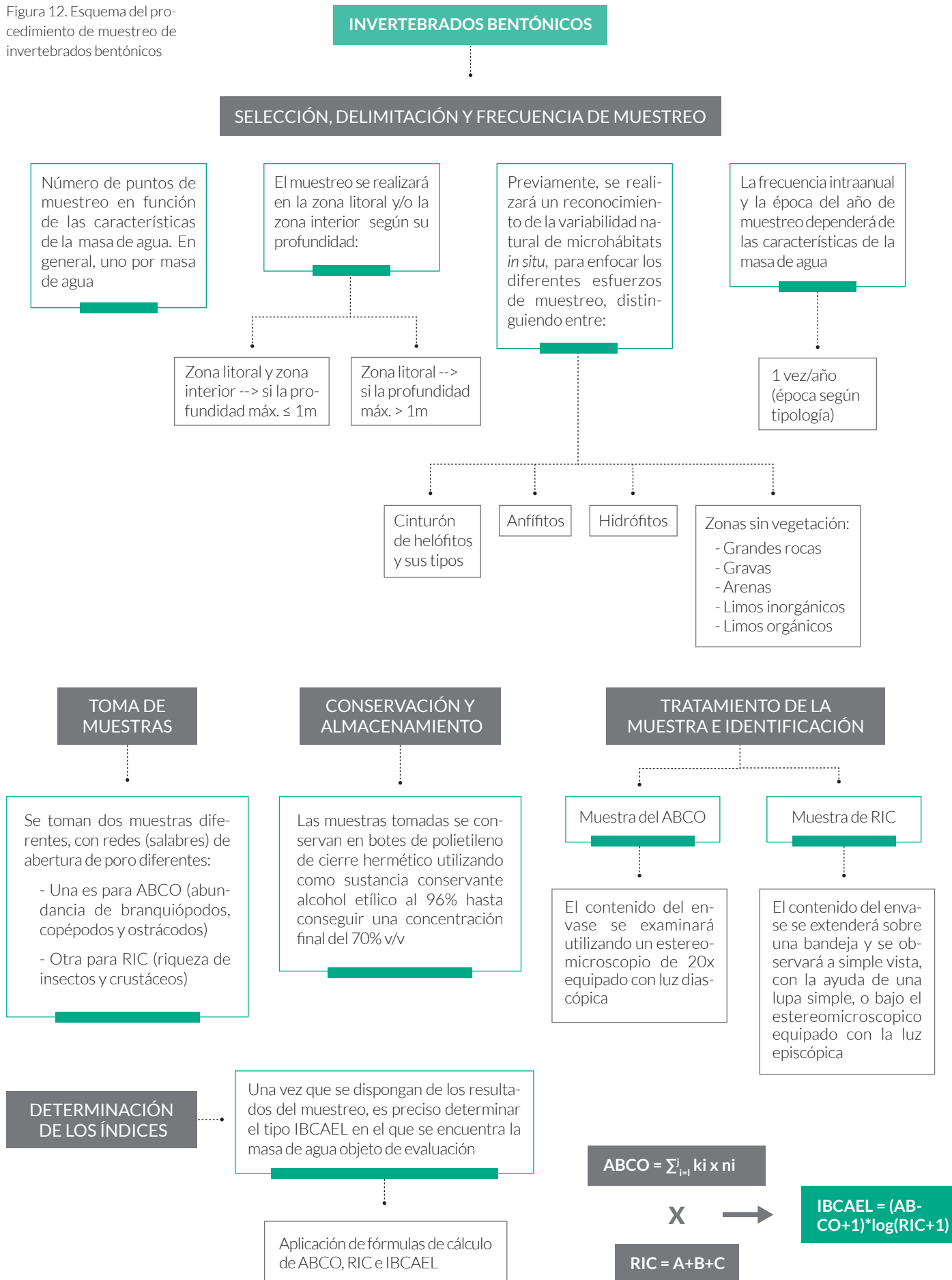
El protocolo ML-L-I-2013 de muestreo y laboratorio de invertebrados bentónicos en lagos está orientado a la obtención de datos de composición y abundancia de invertebrados bentónicos (Ver Figura 12).

A continuación, se presenta dicho protocolo de forma esquematizada. Los protocolos más actualizados se encuentran disponibles en la página web del MAPAMA para su consulta y descarga (<http://www.mapama.gob.es/es/>).



Figura 11. Diversidad de invertebrados bentónicos de lagos y humedales. De izquierda a derecha y de arriba abajo: Clase Ostracoda, Subfilo Turbellaria, y familias Pleidae, Baetidae y Dytiscidae

Figura 12. Esquema del procedimiento de muestreo de invertebrados bentónicos



Tanto el número de puntos de muestreo como la frecuencia intraanual y la época del año en la que se muestrea dependerá de las características de la masa de agua (consultar el protocolo para más detalles). El inventario final de microhábitats presentes en la zona litoral vadeable del lago se llevará a cabo en campo y se distinguirá al menos entre:

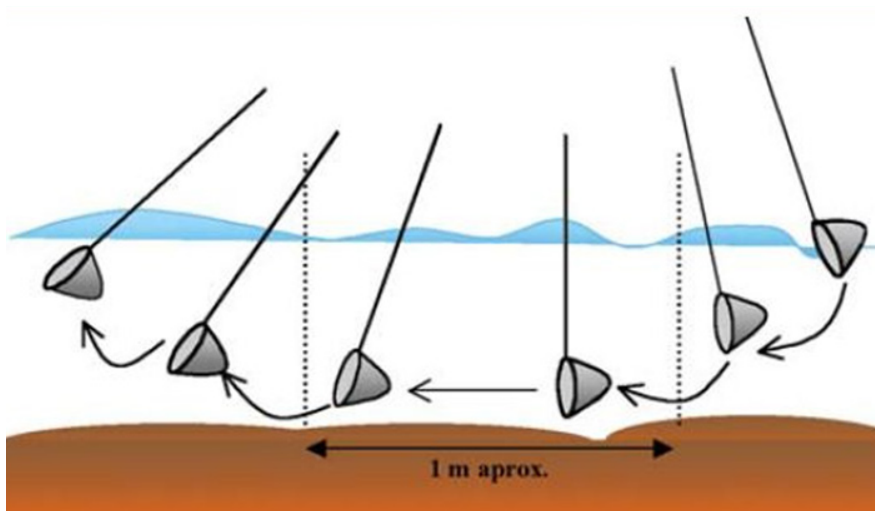
- **Cinturón de helófitos y sus tipos:** los helófitos son las plantas perennes que mantienen el contacto con las zonas saturadas de agua y que suelen ocupar las áreas de transición entre el medio acuático y terrestre.
- **Anfífitos:** son plantas que pueden vivir tanto en zonas emergidas como inundadas.
- **Hidrófitos:** son plantas que tienen todas sus estructuras vegetativas sumergidas o flotantes.
- **Zonas sin vegetación.** Se distinguirá entre:
 - » Grandes rocas
 - » Gravas
 - » Arenas
 - » Limos inorgánicos
 - » Limos orgánicos

En cada punto de muestreo se recogerá una muestra integrada por dos muestras independientes, una para cada índice incluido en el IBCAEL. Son muestras diferentes, pero complementarias entre sí:

- Una muestra para la obtención de datos de abundancia de branquiópodos, copépodos y ostrácodos que permita la determinación del índice ABCO. Para ello se utiliza un salabre de abertura de poro de 100 μm , muestreando todos los microhábitats diferentes en las zonas vadeables hasta que sea representativo. Cada pasada se considera como una unidad de muestreo, y es necesario anotar el número total para conocer el esfuerzo de muestreo total.

- Otra muestra para la obtención de datos de riqueza de insectos y crustáceos que permita la determinación del índice RIC. En este caso, el muestreo se lleva a cabo con un salabre de 250 μm de abertura de poro, removiendo con los pies los diferentes mesohabitats. Este término describe hábitats visualmente variados reconocibles por su similitud física (por ejemplo, un banco de arena o una comunidad vegetal en particular). Este término introduce otra dimensión de escala, que se distingue del anterior (microhábitat) por su mayor escala, y, por tanto, menor detalle. En este caso, la recolección se realiza hasta que no aparezcan nuevos géneros.

Se trata, por lo tanto, de dos muestreos que se complementan en la escala espacial de muestreo (ABCO se centra en microhábitats y RIC en mesohábitats) y en el tamaño de los organismos que componen la comunidad de invertebrados bentónicos (Figura 13).



En el esquema del protocolo se muestra el procedimiento para la conservación y almacenamiento de las muestras, su tratamiento y su identificación.

Una vez que se dispongan de los resultados del muestreo, es preciso determinar el tipo IBCAEL en el que se encuentra la masa de agua objeto de evaluación. Para ello, en la Tabla 7 se presenta la relación de los tipos de lagos establecidos en la IPH con los tipos de lagos establecidos para el desarrollo de la métrica IBCAEL.

Figura 13. Método de muestreo de invertebrados bentónicos en lagos. Fuente: CHE (2005)

Tabla 7. Correspondencia entre los tipos IBCAEL y los tipos de lagos de la IPH (Protocolo IBCAEL-2013)

Tipo IBCAEL	Denominación	Tipo de masa de agua	Lagunas de CHT
1	Alta montaña	1, 2, 3, 4, 5 y 9	Grande de Peñalara, Los Pájaros, Complejo Lagunar H. Temporales Peñalara
2	Media montaña y cárstico calcáreo	6, 7, 8, 10, 11 y 12	El Tobar, Taravilla, Somolinos
3	Cárstico evaporitas y cuenca de sedimentación de origen fluvial	14, 15, 24, 25, 26, 27 y 29	
4	Interior en cuenca de sedimentación, permanente, mineralización baja o media	16 y 18	
5	Interior en cuenca de sedimentación, permanente, mineralización alta o muy alta y litoral sin influencia marina	20 y 28	
6	Interior en cuenca de sedimentación, permanente, hipersalino	22	
7	Cárstico calcáreo, interior en cuenca de sedimentación y litoral en complejo dunar, temporal	13, 17 y 30	Grande de Beleña
8	Interior en cuenca de sedimentación, temporal, mineralización media y alta	19 y 21	
9	Interior en cuenca de sedimentación, temporal, hipersalino	23	

La fórmula que deberá utilizarse para obtener el valor final del índice es:

IBCAEL = (ABCO+1)*log(RIC+1)

El valor del ABCO se calcula mediante la siguiente fórmula:

ABCO = ∑_{i=1}^j ki x ni

$$ni = \frac{Ni}{N_{tot}}$$

i= taxones indicadores del tipo de lago
j= número de taxones indicadores del tipo de lago
ki= valor de sensibilidad del taxón i

ni= abundancia relativa del taxón i
Ni= número de individuos del axón i
N_{tot}= suma del número total de individuos de taxones indicadores del tipo de lago muestreados en ABCO

El valor del RIC se calcula por medio de la siguiente fórmula:

RIC=A+B+C

Dónde:

Métrica	Descripción métrica	Codificación TAXAGUA
A	Número de géneros de crustáceos identificados en la muestra de RIC y en la muestra de ABCO (1)	SUBFILO Crustacea CRU002SBFI
B	Número de géneros de formas adultas de coleópteros y heterópteros (2)	Orden Coleoptera COL001ORDE SUBORDEN Heteroptera HET002SBOR
C	Número de familias de insectos en forma de larvas, ninfas y/o pupas (2)	CLASE Insecta INS001CLAS

(1) Para la determinación del número de géneros de crustáceos se tendrán en cuenta los crustáceos indicadores y no indicadores obtenidos en las muestras de ABCO y RIC. Como en el inventario aparecerán taxones planctónicos y bentónicos mezclados, los taxones planctónicos se considerarán en el cálculo del RIC, excepto en los tipos 1 y 2 de IBCAEL.

(2) En caso de aparecer adultos de coleópteros y heterópteros junto con larvas o ninfas de estos grupos, tanto el adulto como la larva o ninfa se contarán como dos taxones. TAXAGUA: Tesoro taxonómico para la clasificación del estado ecológico de las masas de agua continentales. Cada taxón incluido tiene un código identificativo.

OTRA FLORA ACUÁTICA: MACRÓFITOS

Los macrófitos son plantas acuáticas perceptibles a simple vista, entre las que se encuentran plantas vasculares, briófitos y macroalgas (Figura 14). 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 (cambios en el nivel del agua, por ejemplo).

Para la clasificación del estado ecológico mediante el elemento de calidad Otra flora acuática en los lagos a lo largo de los tres años estudiados (2012, 2013 y 2015), se ha realizado mediante el cálculo de diferentes índices que aparecen en la Figura 15. Si bien, y tal y como se ha especificado anteriormente, mediante protocolos diferentes. En este caso se detalla el protocolo más actual.

En el protocolo aplicable, **M-L-OFM-2013 de muestreo de otro tipo de flora acuática (macrófitos) en lagos**, la toma de muestra está orientada a la obtención de datos de su composición, abundancia y cobertura (Ver Figura 15).

A continuación se presenta dicho protocolo de forma esquematizada. Los protocolos más actualizados se encuentran disponibles en la página web del MAPAMA para su consulta y descarga (<http://www.mapama.gob.es/es/>).

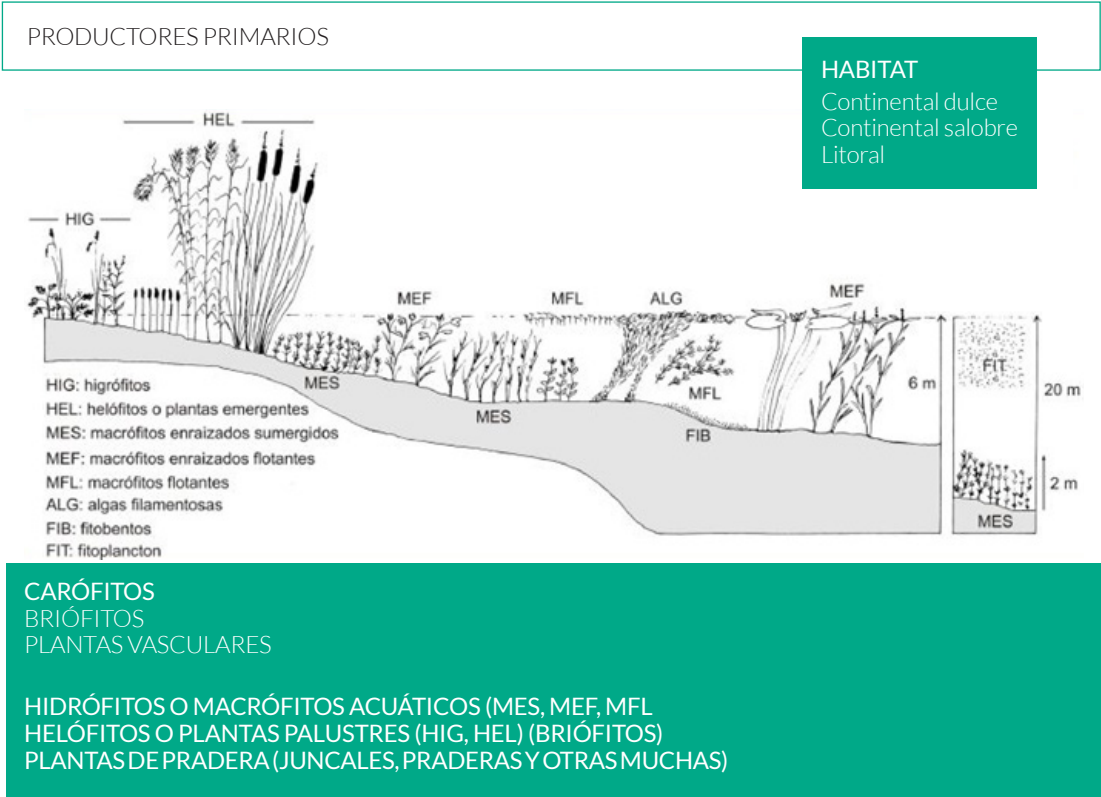


Figura 14. Esquema de la distribución de los diferentes macrófitos en un ecosistema acuático. Fuente: ID-TAX Flora acuática: Macrófitos (Cirujano *et al.*, 2012)

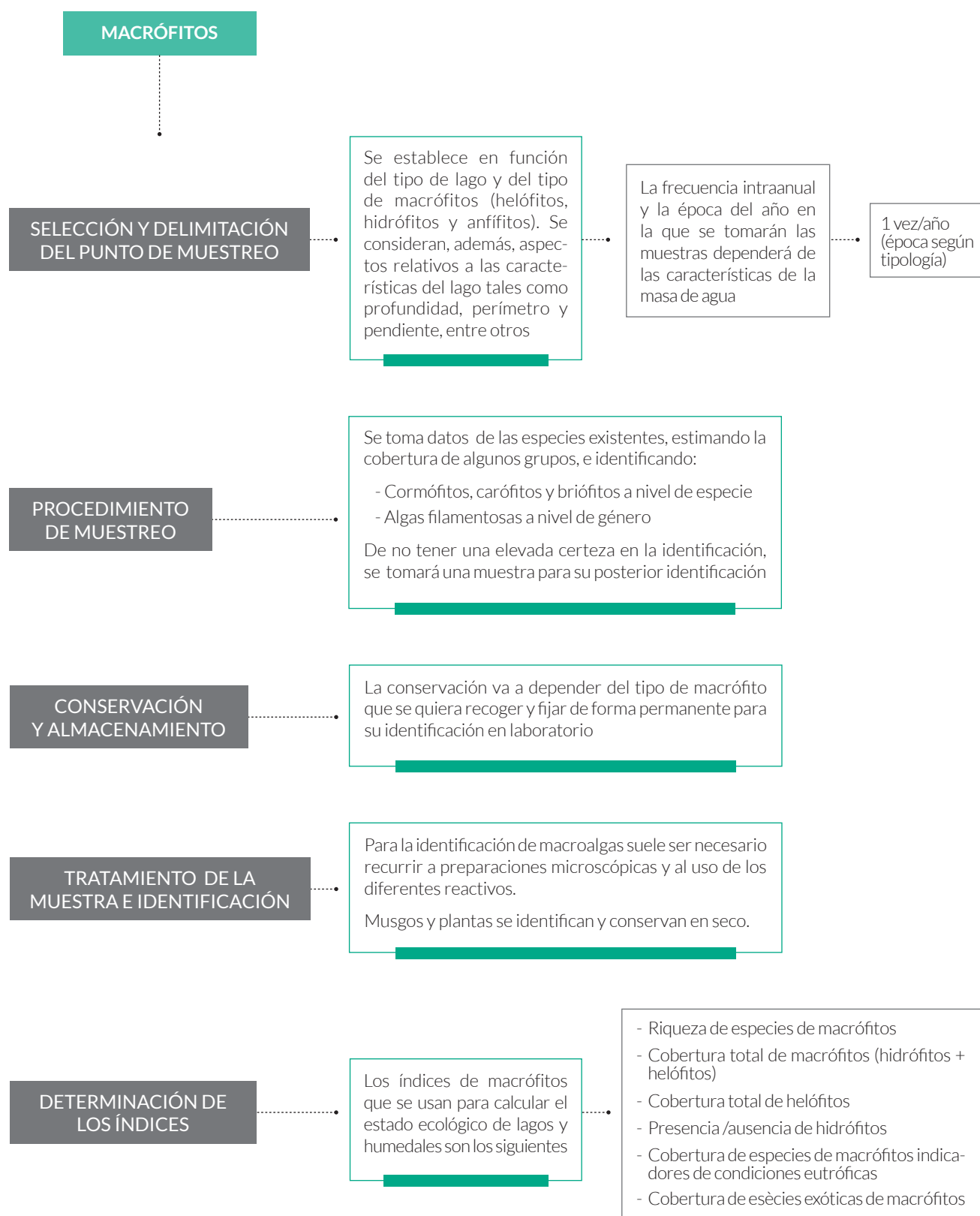


Figura 15 . Esquema del procedimiento de muestreo de macrófitos

El procedimiento para seleccionar el punto de muestreo y la evaluación de coberturas se establece en función del tipo de lago y del tipo de macrófitos (helófitos, hidrófitos y anfífitos), así como de otras características (Tabla 8).

Tabla 8. Metodología de muestreo de macrófitos según las características de la masa de agua 1-16, 18, 20-29.

TIPOS DE LAGOS 1-16, 18, 20-29
MACRÓFITOS SUMERGIDOS Y/O FLOTANTES (HIDRÓFITOS)

Lagos de profundidad máxima ≤ 2 m	Lagos pequeños (≤ 50 Ha)	Dos recorridos longitudinales (ejes mayor y menor del lago), en total diez rectángulos de unos 20 m2 cada uno, cinco por recorrido.
	Lagos medianos o grandes (> 50 Ha)	Dos recorridos longitudinales (ejes mayor y menor del lago), en total diez rectángulos de unos 20 m2 cada uno, cinco por recorrido. Si alguno de los ejes supera los 500 m de longitud, este se divide en diez porciones discontinuas y en cada una de ellas se muestrea, al menos, un transecto de 2 m ancho x 10 m largo.
Lagos de profundidad máxima > 2 m	Lagos pequeños (≤ 50 Ha)	Diez transectos (rectángulos) perpendiculares a la orilla, aguas adentro. La longitud de cada rectángulo llega, como máximo, a 2 m de profundidad, y la anchura de cada uno de ellos será de unos 2 m (20 m2).
	Lagos medianos o grandes (> 50 Ha)	Veinte transectos (rectángulos) perpendiculares a la orilla, aguas adentro. La longitud de cada rectángulo llega, como máximo, a 2 m de profundidad, y la anchura de cada uno de ellos será de unos 2 m (20 m2).
Macrófitos emergentes de las orillas o asimilables (Helófitos)		
Lagos de ≤ 1 km de perímetro		Franja de unos 3 m de ancho en todo el perímetro del lago.
Lagos de > 1 km de perímetro		Al menos 1 km de las orillas, dividiendo el perímetro del lago en diez zonas, dentro de cada una de las cuales se muestreará al menos una franja de 100 m de longitud y 3 m de ancho.
Macrófitos anfífitos (sumergidos o emergentes)		
		Como hidrófitos o helófitos según están sumergidos o emergidos.

TIPOS DE LAGOS 17, 19 Y 30

Las especies integrantes de ambos grupos serán muestreadas en toda la extensión inundada de la cubeta mediante transectos, siguiendo las instrucciones fijadas anteriormente para hidrófitos en lagos de profundidad máxima ≤ 2 m. Además del interior de la cubeta, se muestrearán también los macrófitos de las orillas, de la misma manera que se especifica para los helófitos en el resto de tipos de lagos.

Para la toma de muestras de macrófitos se requiere de técnicos expertos con conocimientos significativos en identificación taxonómica ya que resulta necesario identificar tantas especies como sea posible en campo (Figuras 16 y 17). En caso de que no se pueda identificar con certeza algún taxón, se recogen ejemplares para su identificación en laboratorio.

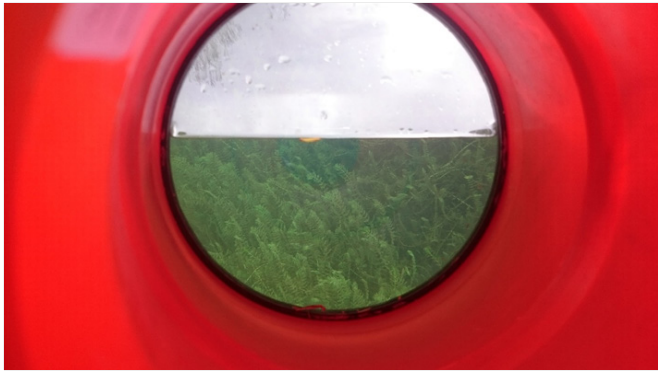


Figura 16. Identificación *in situ* de macrófitos sumergidos con visor subacuático



Figura 17. Detalle de macrófitos identificados *in situ*

En el esquema del protocolo se resume el procedimiento para la conservación y almacenamiento de las muestras, su tratamiento y su identificación.

Los índices de macrófitos que se usan para calcular el estado ecológico de lagos y humedales son los que aparecen detallados en el esquema de la Figura 15, aunque, tal y como se detalla en el Protocolo M-L-OFM-2013, no todos son aplicables a todos los tipos de lagos.

FITOPLANCTON (Chl-a, BioV)

El fitoplancton es un indicador ampliamente utilizado para evaluar la calidad del agua debido a su sensibilidad a cambios en los factores medioambientales y a su gran diversidad (Figura 18). Es el primer eslabón de la cadena trófica y, por tanto, los demás organismos dependen de él. Además, tiene ciclos muy cortos y se renueva rápidamente.

Para la clasificación del estado ecológico mediante el elemento de calidad Fito-plancton en los lagos a lo largo de los tres años estudiados (2012, 2013 y 2015),

se ha realizado mediante el cálculo de los índices Chl-a y BioV. Si bien, y tal y como se ha especificado anteriormente, mediante protocolos diferentes. En este caso se detalla el **protocolo más actual: protocolo M-LE-FP-2013 de muestreo de fitoplancton en lagos y embalses** (Ver Figura 19).

A continuación, se presenta dicho protocolo de forma esquematizada. Los protocolos más actualizados se encuentran disponibles en la página web del MAPAMA para su consulta y descarga (<http://www.mapama.gob.es/es/>).

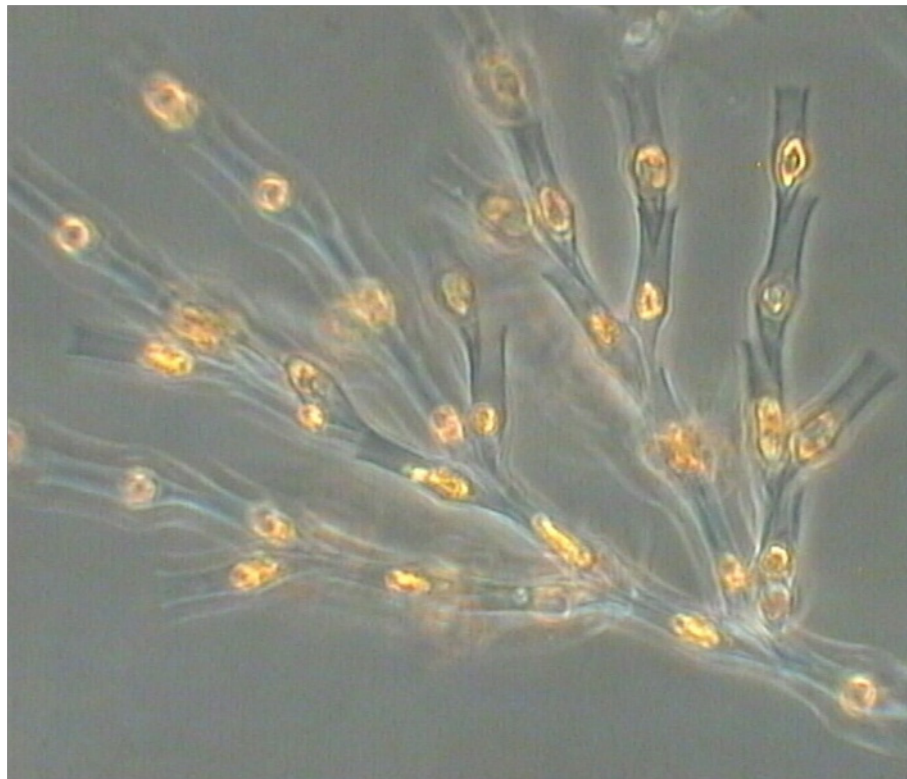


Figura 18. *Dynobryon divergens*

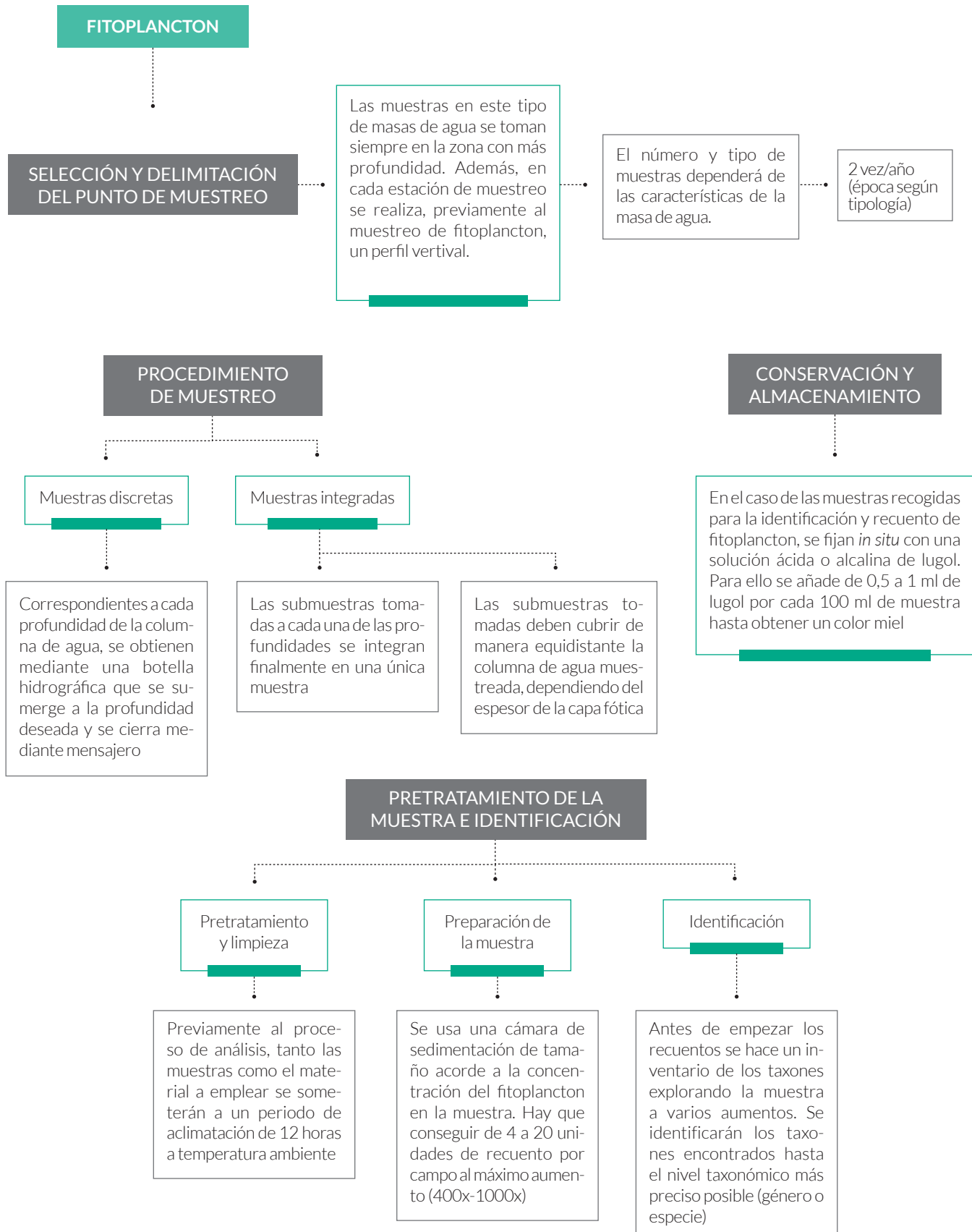


Figura 19. Esquema del procedimiento de muestreo de fitoplancton

Las muestras en este tipo de masas de agua se toman siempre en la zona con más profundidad. Además, en cada estación de muestreo se realiza, previamente al muestreo de fitoplancton, un perfil vertical (temperatura, pH, conductividad y oxígeno disuelto) y se determina la profundidad de visión del Disco de Secchi (DS) (Figura 20).



Figura 20. Medición de la transparencia mediante el Disco de Secchi

El número y tipo de muestras, así como la frecuencia intraanual y la época del año en la que se tomarán las muestras, dependerá de las características de la masa de agua (consultar el protocolo para más detalles).

Las muestras tomadas pueden ser discretas (correspondientes a cada profundidad de la columna de agua) o integradas (las submuestras tomadas a cada una de las profundidades se homogenizan finalmente en una única muestra). En este último caso, las submuestras deben cubrir de manera equidistante la columna de agua muestreada, dependiendo del espesor de la capa fótica:

- **Zona fótica ($2,5 \cdot DS$) < 10 m:** la equidistancia no deberá ser mayor de 1 metro.
- **Zona fótica ($2,5 \cdot DS$) $\geq$ 10 m:** la equidistancia no deberá ser mayor de 2 metros.

La zona fótica es aquella en la que penetra la luz del sol. Su profundidad es muy variable en función de la turbidez del agua. En general, se define como la profundidad en la cual la intensidad de la luz queda reducida a un 1% de la que ha penetrado en la superficie, constituyendo un límite por debajo del cual no queda lugar para los procesos de fotosíntesis.

En el esquema se resume el procedimiento a seguir para el almacenamiento y conservación de la muestra, su pre-tratamiento y su identificación.

De acuerdo con la DMA, para el cálculo del estado ecológico de lagos y humedales, los índices de fitoplancton necesarios son los siguientes:

- **Concentración de Clorofila a:** la clorofila es el pigmento fotorreceptor responsable de la primera etapa de la fotosíntesis y, por lo tanto, la molécula responsable de la formación inicial de

materia orgánica en los ecosistemas. Por ello, esta es una medida indirecta de la producción primaria fitoplanctónica, así como de la biomasa del fitoplancton. Su determinación es un instrumento de control de los procesos de eutrofización en ecosistemas leníticos. La concentración anual de Clorofila a (mg/m^3) será la media de los valores de este parámetro obtenidos de las muestras recogidas en los dos muestreos anuales.

- **Biovolumen total:** se realizará integrando todos los taxones de fitoplancton identificados, para lo que se llevará a cabo el sumatorio de los biovolúmenes de los taxones (BIOVOLUMUES) de fitoplancton determinados en la muestra. El biovolumen total anual (mm^3/l) será la media de los valores de biovolumen total obtenidos en los análisis de los dos muestreos anuales.

Con los resultados obtenidos para los indicadores Clorofila a (Chl-a) y Biovolumen fitoplanctónico (BioV), se calcula el Ratio de Calidad Ecológica (RCE), como paso previo requerido en la valoración del estado ecológico según se especifica en el protocolo MFIT-2013 v. 2 (MAGRAMA, 2013). La fórmula empleada para el cálculo del RCE, para estos 2 indicadores, es la siguiente:

$$RCE_{\text{Chl-a\&BioV}} = (1/\text{Valor obs})/(1/\text{MPE tipo})$$

Donde:

RCE: Ratio de Calidad Ecológica sin transformar

Valor obs: Valor observado

MPE: Máximo Potencial Ecológico

Si en alguna de estas transformaciones el RCE obtenido es mayor de 1, el valor de RCE que se considera es 1.

La evaluación del estado ecológico en lagos deberá realizarse previa transformación a una escala equivalente. Por tanto, una vez obtenidos los valores de RCE de cada indicador, hay que llevar a cabo su transformación a una escala numérica equivalente, o RCE Normalizado, mediante la aplicación de la siguiente formula:

$$RCE_{trans} = \text{Val.trans}_i (RCE - \text{Val}_i) \times \frac{(\text{Val.trans}_s - \text{Val.trans}_i)}{(\text{Val}_s - \text{Val}_i)}$$

Donde:

RCE_{trans} = Ratio de Calidad Ecológica transformado

RCE = Ratio de Calidad Ecológica sin transformar

Val.trans = Valor de RCE de cambio de clase estado ecológico inferior transformado

Val_i = Valor de RCE de cambio de clase de estado ecológico inferior sin transformar

Val.trans_s = Valor de RCE de cambio de clase de estado ecológico superior transformado

Val_s = Valor de RCE de cambio de clase de estado ecológico superior sin transformar

Se utilizarán para cada tipo de masa de agua los valores del RCE de las métricas recogidos en la legislación (Anexo II del RD 817/2015), con los que se comparará el RCE sin transformar de la muestra.

Para el cálculo se utilizarán los valores de RCE de cambio de clase de estado ecológico superior transformado (Val.trans_s) y de RCE de cambio de clase de estado ecológico inferior transformado (Val.trans_i) (Tabla 9).

Tabla 9. Clases de estado para los valores de RCE transformados para lagos (métricas de fitoplancton)

Clase de estado	Valores de RCE de cambio de clase de estado ecológico superior transformado	Valores de RCE de cambio de clase de estado ecológico inferior transformado
Muy bueno	1,00	0,80
Bueno	0,79	0,60
Moderado	0,59	0,40
Deficiente	0,39	0,20
Malo	0,19	0,00

Posteriormente se procede a la combinación de los RCE trasformados para la clasificación del estado ecológico del elemento de calidad Composición, abundancia y biomasa de fitoplancton según la siguiente fórmula:

$$RCE_{trans\ FP} = (0,75 \times RCE_{T\ Chl-a}) + (0,25 \times RCE_{T\ BioV})$$

INDICADORES FISICOQUÍMICOS

El Anexo V de la DMA y el Anexo II del RD 817/2015 especifican los principales elementos de calidad químicos y fisicoquímicos que deben ser considerados para evaluar el estado ecológico de cada masa de agua.

Los parámetros químicos y fisicoquímicos que se han utilizado para calcular el estado ecológico de los lagos durante el periodo de estudio son:

- **Disco de Secchi (DS) (m):** es el indicativo de la transparencia (grado de penetración de la luz), que se obtiene por medio del DS convencional (30 cm de radio). Se determina la profundidad de visión del DS (profundidad en descenso menos profundidad de ascenso dividido entre 2), y el valor obtenido multiplicado por 2,5 es la profundidad a la que se considera que la zona fótica llega a su fin. El DS se mide en todos los tipos de lagos de la CHT excepto en las tipologías L-T05 (C. Lagunar Peñalara) y L-T17 (Beleña).
- **Conductividad (µS/cm):** se usa para evaluar el indicador de Salinidad. Este indicador, junto con la temporalidad, es uno de los principales factores que condicionan a las comunidades bioló-

gicas de los lagos, siendo característico para cada tipología (CEDEX, 2008). Sin embargo, a partir de la entrada en vigor del RD 817/2015, ya no se aplica para el cálculo del estado ecológico.

- **pH y alcalinidad (meq CaCO₃/l):** son los parámetros indicativos del estado de acidificación. Ambos se eligieron para valorar el estado ecológico debido a su influencia sobre los procesos tanto biológicos como fisicoquímicos del agua. Sin embargo, a partir de la entrada en vigor del RD 817/2015, la alcalinidad ya no se aplica para el cálculo del estado ecológico.
- **Fósforo total (mg Pt/m³):** es el indicativo de los nutrientes. Se seleccionó esta métrica debido a su baja disponibilidad natural en el agua y a la baja solubilidad de sus compuestos, siendo un elemento limitante para el crecimiento algal en la mayoría de lagos templados (Wetzel, 2001; Camacho *et al.*, 2009).

Estas y otras sustancias se controlan mediante el muestreo de puntos de control fisicoquímicos con una frecuencia trimestral, tal y como exige la norma (Tabla 3). Para este seguimiento, cada una de las lagunas tiene un punto de

control (siete en total) donde se muestrean unos parámetros específicos. En general, en estas estaciones la Confederación Hidrográfica del Tajo analiza grupos de parámetros diferentes en función del programa en el que se encuentre incluida la masa de agua (vigilancia, operativa...) y de acuerdo con las presiones e impactos que ésta soporta.

Estos puntos de control fisicoquímico sirven también para, en caso necesario, controlar las sustancias prioritarias y preferentes que puedan estar vertiéndose en las masas de agua. Se trata de sustancias que presentan un riesgo significativo para las aguas continentales europeas (prioritarias) o españolas (preferentes), debido a su toxicidad, persistencia y bioacumulación o la importancia de su presencia en el medio acuático. Los Anexos IV y V del RD 817/2015 recogen la lista de sustancias a considerar cuando se realiza la valoración del estado ecológico de masas de agua superficiales. En este estudio, sin embargo, no se presentan datos de estas sustancias, debido a que, por un lado, el estudio previo de presiones e impactos descartó su presencia en estos lagos, y por otro, aquellas que sí se han medido esporádicamente no han registrado incumplimientos de las NCA.

CONDICIONES DE REFERENCIA Y LÍMITES DE CAMBIO DE CLASE DE ESTADO

En la Tabla 10 se muestran las condiciones de referencia (CR), así como los límites de cambio de clase de estado para las tipologías de lagos presentes en la CHT, antes y después de la publicación del RD 817/2015.

Tabla 10. CR y límites de cambio de clase de estado de las tipologías de lagos presentes en la CHT antes y después del RD 817/2015. En negrita y cursiva los valores de los límites establecidos por el CEDEX.

Tipos lagos	Indicador	Unidades	Condición de referencia	Límites de cambio de clase de estado			
				Muy bueno / Bueno	Bueno / Moderado	Moderado / Deficiente	Deficiente / Malo
				CEDEX / RD 817/2015	CEDEX / RD 817/2015	CEDEX / RD 817/2015	CEDEX / RD 817/2015
L-T03	IBCAEL	--	- / 8,62	- / 0,92	- / 0,69	- / 0,46	- / 0,23
L-T03	Cobertura macrófitos eutróficos	%	0 / 0	0,99 / 0,99	0,9 / 0,9	0,5 / 0,5	0,3 / 0,3
L-T03	Cobertura macrófitos exóticos	%	0 / 0	1 / 1	0,95 / 0,95	0,75 / 0,75	0,5 / 0,5
L-T03	Hidrófitos	--	<i>Presencia / Presencia</i>	<i>Presencia / Presencia</i>	<i>Ausencia / Ausencia</i>		

Continuación de la Tabla 10

Tipos lagos	Indicador	Unidades	Condición de referencia	Límites de cambio de clase de estado			
				Muy bueno / Bueno	Bueno / Moderado	Moderado / Deficiente	Deficiente / Malo
				CEDEX / RD 817/2015	CEDEX / RD 817/2015	CEDEX / RD 817/2015	CEDEX / RD 817/2015
L-T03	Biovolumen	mm ³ /l	1,4 / 1,4	0,67 / 0,67	0,55 / 0,55	0,37 / 0,37	0,18 / 0,18
L-T03	Clorofila a	mg/m ³	1,3 / 1,3	0,68 / 0,68	0,49 / 0,49	0,34 / 0,34	0,17 / 0,17
L-T03	pH	--			6-9 / 6-9	≤6 ó ≥9 / ≤6 ó ≥9	
L-T03	Fósforo total	mg P/m ³		12 / 12	15 / 18	>15 / -	
L-T03	Disco de Secchi	m		4,5 / 4,5	3 / 3	<3 / -	
L-T03	Alcalinidad	%		25 / -	50 / -	> 50 / -	
L-T03	Conductividad	%		5 / -	20 / -	> 20 / -	
L-T05	IBCAEL	--	- / 8,62	- / 0,92	- / 0,69	- / 0,46	- / 0,23
L-T05	Cobertura macrófitos eutróficos	%	0 / 0	0,99 / 0,99	0,9 / 0,9	0,5 / 0,5	0,3 / 0,3
L-T05	Cobertura macrófitos exóticos	%	0 / 0	1 / 1	0,95 / 0,95	0,75 / 0,75	0,5 / 0,5
L-T05	Hidrófitos	--	Presencia / Presencia	Presencia / Presencia	Ausencia / Ausencia		
L-T05	Clorofila a	mg/m ³	1,8 / 1,8	0,62 / 0,62	0,37 / 0,37	0,24 / 0,24	0,13 / 0,13
L-T05	pH	--			6-9,5 / 6-9,5	≤6 ó >9,5 / ≤6 ó >9,5	
L-T05	Fósforo total	mg P/m ³		18 / 18	26 / 26	> 26 / -	
L-T05	Alcalinidad	%		25 / -	50 / -	> 50 / -	
L-T05	Conductividad	%		5 / -	20 / -	> 20 / -	
L-T10	IBCAEL	--	- / 4,66	- / 0,93	- / 0,69	- / 0,46	- / 0,23
L-T10	Riqueza macrófitos	Nº de especies	11 / 11		0,64 / 0,64	0,37 / 0,37	0,18 / 0,18
L-T10	Cobertura macrófitos eutróficos	%	0 / 0	0,99 / 0,99	0,9 / 0,9	0,5 / 0,5	0,3 / 0,3
L-T10	Cobertura macrófitos exóticos	%	0 / 0	1 / 1	0,95 / 0,95	0,75 / 0,75	0,5 / 0,5
L-T10	Cobertura helófitos	%	100 / 100	0,9 / 0,9	0,75 / 0,75	0,3 / 0,3	0,1 / 0,1
L-T10	Cobertura hidrófitos	%	90 / 90	0,83 / 0,83	0,55 / 0,55	0,28 / 0,28	0,01 / 0,01
L-T10	Biovolumen	mm ³ /l	0,7 / 0,7	0,58 / 0,58	0,34 / 0,34	0,26 / 0,26	0,13 / 0,13
L-T10	Clorofila a	mg/m ³	2,5 / 2,5	0,71 / 0,71	0,46 / 0,46	0,32 / 0,32	0,18 / 0,18
L-T10	pH	--			7-9,7 / 7-9,7	≤7 ó ≥9,7 / ≤7 ó ≥9,7	
L-T10	Fósforo total	mg P/m ³		15 / 16	25 / 28	> 25 / -	
L-T10	Disco de Secchi	m		4 / 4	3 / 3	< 3 / -	
L-T10	Alcalinidad	%		25 / -	50 / -	> 50 / -	
L-T10	Conductividad	%		5 / -	20 / -	> 20 / -	
L-T12	IBCAEL	--	- / 4,66	- / 0,93	- / 0,69	- / 0,46	- / 0,23
L-T12	Riqueza macrófitos	Nº de especies	10 / 10		0,7 / 0,7	0,41 / 0,41	0,21 / 0,21
L-T12	Cobertura macrófitos eutróficos	%	0 / 0	0,99 / 0,99	0,9 / 0,9	0,5 / 0,5	0,3 / 0,3

Tipos lagos	Indicador	Unidades	Condición de referencia	Límites de cambio de clase de estado			
				Muy bueno / Bueno	Bueno / Moderado	Moderado / Deficiente	Deficiente / Malo
				CEDEX / RD 817/2015	CEDEX / RD 817/2015	CEDEX / RD 817/2015	CEDEX / RD 817/2015
L-T12	Cobertura macrófitos exóticos	%	0 / 0	1 / 1	0,95 / 0,95	0,75 / 0,75	0,5 / 0,5
L-T12	Cobertura helófitos	%	80 / 80	0,88 / 0,88	0,75 / 0,75	0,37 / 0,37	0,13 / 0,13
L-T12	Cobertura hidrófitos	%	80 / 80	0,94 / 0,94	0,62 / 0,62	0,31 / 0,31	0,01 / 0,01
L-T12	Biovolumen	mm ³ /l	0,9 / 0,9	0,64 / 0,64	0,4 / 0,4	0,25 / 0,25	0,13 / 0,13
L-T12	Clorofila a	mg/m ³	1,9 / 1,9	0,61 / 0,61	0,41 / 0,41	0,25 / 0,25	0,14 / 0,14
L-T12	pH	--			7-9,7 / 7-9,7	≤7 ó ≥9,7 / ≤7 ó ≥9,7	
L-T12	Fósforo total	mg P/m ³		10 / 12	15 / 22	> 15 / -	
L-T12	Disco de Secchi	m		4 / 4	3 / 3	< 3 / -	
L-T12	Alcalinidad	%		25 / -	50 / -	> 50 / -	
L-T12	Conductividad	%		5 / -	20 / -	> 20 / -	
L-T12	IBCAEL	--	- / 4,66	- / 0,93	- / 0,69	- / 0,46	- / 0,23
L-T12	Riqueza macrófitos	Nº de especies	10 / 10		0,7 / 0,7	0,41 / 0,41	0,21 / 0,21
L-T12	Cobertura macrófitos eutróficas	%	0 / 0	0,99 / 0,99	0,9 / 0,9	0,5 / 0,5	0,3 / 0,3
L-T12	Cobertura macrófitos exóticos	%	0 / 0	1 / 1	0,95 / 0,95	0,75 / 0,75	0,5 / 0,5
L-T12	Cobertura helófitos	%	80 / 80	0,88 / 0,88	0,75 / 0,75	0,37 / 0,37	0,13 / 0,13
L-T12	Cobertura hidrófitos	%	80 / 80	0,94 / 0,94	0,62 / 0,62	0,31 / 0,31	0,01 / 0,01
L-T12	Biovolumen	mm ³ /l	0,9 / 0,9	0,64 / 0,64	0,4 / 0,4	0,25 / 0,25	0,13 / 0,13
L-T12	Clorofila a	mg/m ³	1,9 / 1,9	0,61 / 0,61	0,41 / 0,41	0,25 / 0,25	0,14 / 0,14
L-T12	pH	--			7-9,7 / 7-9,7	≤7 ó ≥9,7 / ≤7 ó ≥9,7	
L-T12	Fósforo total	mg P/m ³		10 / 12	15 / 22	> 15 / -	
L-T12	Disco de Secchi	m		4 / 4	3 / 3	< 3 / -	
L-T12	Alcalinidad	%		25 / -	50 / -	> 50 / -	
L-T12	Conductividad	%		5 / -	20 / -	> 20 / -	
L-T17	IBCAEL	--	- / 11,08	- / 0,89	- / 0,68	- / 0,56	- / 0,45
L-T17	Riqueza macrófitos	Nº de especies	20 / 20		0,5 / 0,5	0,31 / 0,31	0,16 / 0,16
L-T17	Cobertura macrófitos eutróficas	%	0 / 0	0,99 / 0,99	0,9 / 0,9	0,5 / 0,5	0,3 / 0,3
L-T17	Cobertura macrófitos exóticos	%	0 / 0	1 / 1	0,95 / 0,95	0,75 / 0,75	0,5 / 0,5
L-T17	Cobertura total macrófitos	%	100 / 100	0,9 / 0,9	0,75 / 0,75	0,3 / 0,3	0,1 / 0,1
L-T17	Clorofila a	mg/m ³	3,7 / 3,7	0,67 / 0,67	0,43 / 0,43	0,26 / 0,26	0,16 / 0,16
L-T17	pH	--			6,5-9,5 / 6,5-9,5	≤6,5 ó ≥9,5 / ≤6,5 ó ≥9,5	
L-T17	Fósforo total	mg P/m ³		15 / 20	40 / 45	> 40 / -	
L-T17	Alcalinidad	%		25 / -	50 / -	> 50 / -	
L-T17	Conductividad	%		5 / -	20 / -	> 20 / -	

Nota: Para el indicador IBCAEL, previamente a la aprobación del RD 817/2015, se han usado las CR y límites de cambio de clase de estado del Anexo II del protocolo de cálculo del índice (MAGRAMA, 2013b), que son las mismas que se incluyeron después en dicho RD.



Ranunculus sp. Charcas de los Camorchos

VALORACIÓN DEL ESTADO ECOLÓGICO

Finalmente, tras calcular los valores de todas las métricas a considerar para cada tipología, se obtiene el valor que indicará el estado ecológico de la masa de agua. Como ya se ha comentado anteriormente, se tomará siempre el resultado más restrictivo. La Tabla 11 muestra los rangos del valor final de la combinación de las métricas para asignar cada dato a una clase de calidad.

Tabla 11. Escala de clasificación del estado ecológico en lagunas

Clase de estado	Resultado	Color
Muy bueno	$\geq 0,8$	Blue
Bueno	$\geq 0,6-0,8$	Green
Moderado	$\geq 0,4-0,6$	Yellow
Deficiente	$\geq 0,2-0,4$	Orange
Malo	$\leq 0,2$	Red

RESULTADOS

INDICADORES BIOLÓGICOS

A continuación, se presentan los resultados de los indicadores biológicos de las lagunas para los diferentes años de muestreo.

INDICADORES BIOLÓGICOS AÑO 2012

En lo referente a **invertebrados bentónicos**, durante los muestreos del año 2012 se recogieron en las lagunas ejemplares de 12 taxones diferentes de macrozoobentos litoral (Diptera, Odonata, Ephemeroptera, Hemiptera, Trichoptera, Megaloptera, Decapoda) y 10 taxones de crustáceos planctónicos y bentónicos litorales.

En la Figura 21 se observa que, en cuanto a macrozoobentos, Chironomidae (dípteros) y Baetidae (efémeras) son los que aparecieron en mayor número de lagunas. En el caso de los crustáceos planctónicos y bentónicos, los géneros que aparecieron con mayor frecuencia fueron *Alona*, *Daphnia* y *Tropocyclops*. La laguna de El Tobar, con 7 taxones diferentes de invertebrados (macrozoobentos), es la masa de agua donde se ha encontrado mayor diversidad. En cuanto a los crustáceos, es la laguna de Taravilla en la que se ha observado la diversidad más elevada, con 5 taxones.

Macroinvertebrados 2012

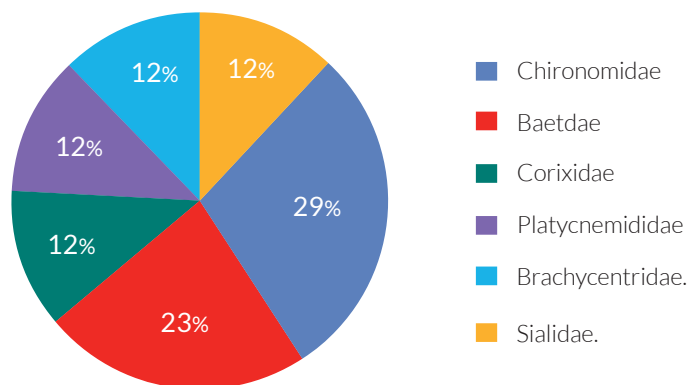


Figura 21. Taxones de macroinvertebrados bentónicos más frecuentes en las lagunas muestreadas en el año 2012

En la Tabla 12 se muestran los valores del índice IBCAEL calculados para las lagunas en el año 2012. En el caso de la laguna Grande de Peñalara, la valoración de *Malo* se debe a la ausencia de taxones que computen para el índice ABCO. Mientras que en la laguna de Los Pájaros solo se recogió un taxón que puntuara para este índice, y con una baja abundancia, por lo que también en este caso el resultado final del IBCAEL fue *Malo*.

Tabla 12. Valor del índice IBCAEL para el cálculo del elemento "Fauna invertebrada bentónica" del año 2012

Nombre masa de agua	ABCO	RIC	IBCAEL	Valoración IBCAEL
Laguna Grande el Tobar	2,58	10	3,73	Bueno
Laguna de Taravilla	5,07	10	6,32	Muy Bueno
Laguna de Somolinos	0,97	8	1,88	Deficiente
Laguna Grande de Peñalara	0	6	0,84	Malo
Laguna de los Pájaros	0,06	10	1,10	Malo
Complejo lagunar H. Temporales Peñalara	Seca	Seca	Seca	Seca
Laguna de Beleña	Seca	Seca	Seca	Seca

Macrófitos 2012

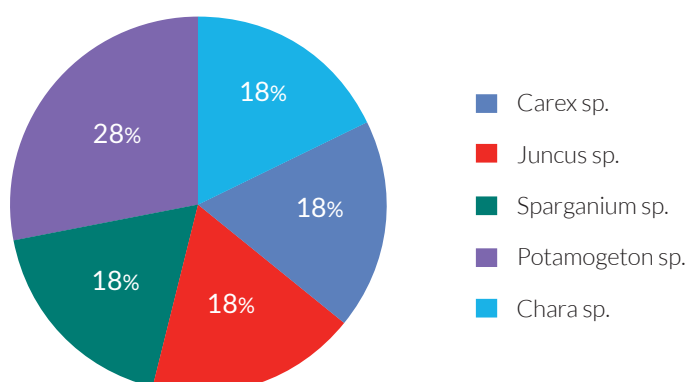


Figura 22. Taxones de macrófitos más frecuentes recogidos en las lagunas durante el año 2012

En el caso de los **macrófitos**, se identificaron ejemplares de 17 taxones de macrófitos, 9 hidrófitos y 8 helófitos, siendo los géneros *Carex*, *Chara*, *Potamogeton*, *Juncus* y *Sparganium* los que aparecen en mayor número de lagunas (Figura 22). El resto de los taxones aparecieron en un solo punto de muestreo.

En la Tabla 13 se pueden ver los valores de las diferentes métricas usadas para calcular el elemento Otra flora acuática. En el caso de los lagos de alta montaña (tipos 1-8), la evaluación de este elemento de calidad puede hacerse teniendo en cuenta también las presiones hidromorfológicas. En este estudio no se han tenido en cuenta debido a la falta de datos.

En general, la valoración de este elemento es de *Muy bueno*, excepto para la laguna Grande de Peñalara, que es *Inferior a bueno*. En ninguna laguna se recogieron macrófitos exóticos.

Tabla 13. Valores para el cálculo del elemento Otra flora acuática del año 2012

Nombre masa de agua	Hidrófitos (Presencia/ ausencia)	Cobertura macrófitos eutróficos (%)	Cobertura macrófitos exóticas (%)	Riqueza macrófitos (n° sp)	Cobertura helófitos (%)	Cobertura hidrófitos (%)	Cobertura total macrófitos (%)	Valoración "Otra flora acuática"
Laguna Grande el Tobar	-	0	0	9	89,5	68,3	-	Muy Bueno
Laguna de Taravilla	-	0	0	11	100	84,3	-	Muy Bueno
Laguna de Somolinos	-	0	0	16	100	93,3	-	Muy Bueno
Laguna Grande de Peñalara	Ausencia	SD	SD	-	-	-	-	Inferior a bueno
Laguna de los Pájaros	Presencia	SD	SD	-	-	-	-	Muy Bueno
Complejo lagunar H. Temporales Peñalara	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca
Laguna de Beleña	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca

El símbolo “-” significa que no aplica para esa tipología. SD significa que no se dispone de los datos.

En relación al elemento **fitoplancton**, se encontraron 70 taxones de fitoplancton, de los cuales tres son potencialmente tóxicos (TAXAGUA 2013): *Pseudanabaena catenata*, *Merismopedia tenuissima* y *Aphanocapsa* sp. (todas pertenecientes al Phylum Cyanobacteria).

Cabe destacar que el valor de Clorofila a obtenido para la laguna de Los Pájaros no presenta buena correlación con los datos de fitoplancton determinados. Esto podría deberse a la fuerte tormenta que tuvo lugar el día anterior a la toma de muestras, que pudo provocar la resuspensión de materiales degradados, tanto en esta laguna como en la de Peñalara. Por lo que se refiere al resto de los lagos, la diferente composición de la comunidad fitoplanctónica explica las diferencias de estado encontradas entre las métricas, por ejemplo, debido a la diferente importancia relativa de las picocianobacterias, que no se cuantifican en la métrica de biovolumen pero sí en la de Clorofila a (al extraerse la clorofila que éstas contienen).

En la Tabla 14 se muestran los valores de Biovolumen y Clorofila a necesarios para calcular el elemento de calidad Fitoplancton. En general, la valoración de este elemento va de *Muy bueno a Moderado*, excepto en el caso de la laguna de Los Pájaros, en la que es deficiente debido a lo comentado anteriormente sobre la Clorofila a.

Tabla 14. Valores para el cálculo del elemento Fitoplancton del año 2012

Nombre masa de agua	Biovolumen (mm³/l)	Valoración Biovolumen	Clorofila a (mg/m³)	Valoración Clorofila a	Valoración Composición, Abundancia y Biomasa de Fitoplancton
Laguna Grande el Tobar	1,44	Bueno	1,84	Muy Bueno	Muy bueno
Laguna de Taravilla	0,93	Muy Bueno	4,51	Bueno	Bueno
Laguna de Somolinos	2,08	Bueno	5,51	Moderado	Moderado
Laguna Grande de Peñalara	0,35	Muy Bueno	3,79	Moderado	Moderado
Laguna de los Pájaros	0,41	Muy Bueno	41,32	Malo	Deficiente
Complejo lagunar H. Temporales Peñalara	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca
Laguna de Beleña	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca

INDICADORES BIOLÓGICOS AÑO 2013

En cuanto a **invertebrados bentónicos**, en las 7 estaciones de muestreo se han identificado un total de 24 taxones, incluidos dentro del macrozoobentos litoral y 10 taxones de crustáceos planctónicos y bentónicos litorales. Las lagunas de Beleña y Somolinos, con 14 y 13 taxones diferentes de invertebrados (macrozoobentos) respectivamente, son las masas de agua donde se ha encontrado mayor diversidad. En cuanto a los crustáceos, es la laguna de Taravilla en la que se ha observado la diversidad más elevada, con 4 taxones. Además, en esta laguna se identificó la especie *Acroperus neglectus*, taxón que no aparece en el listado de especies para el cálculo del índice ABCO.

En la Figura 23 se observa que, en cuanto a macrozoobentos, Chironomidae (Diptera), Baetidae (Ephemeroptera) y Sialidae (Megaloptera) son los que aparecieron en mayor número de lagunas. En el caso de los crustáceos planctónicos y bentónicos, los géneros que aparecieron con mayor frecuencia fueron *Pleuroxus*, *Eucyclops* y *Tropocyclops*. Hay que destacar que en la laguna de Beleña la única especie recogida fue *Daphnia magna*, que apareció en gran abundancia (743 individuos). En las lagunas de Somolinos y Pájaros la especie más abundante fue *Pleuroxus laevis*, con 512 y 108 ejemplares capturados respectivamente.

Macroinvertebrados 2013

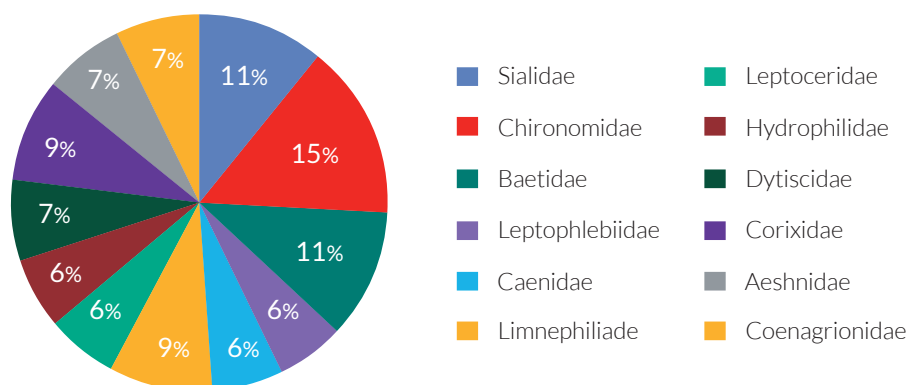


Figura 23. Taxones de macroinvertebrados bentónicos más frecuentes en las lagunas muestreadas en el año 2013

Tabla 15. Valor del índice IBCAEL para el cálculo del elemento "Fauna invertebrada bentónica" del año 2013

Nombre masa de agua	ABCO	RIC	IBCAEL	Valoración IBCAEL
Laguna Grande el Tobar	2,08	7	2,78	Moderado
Laguna de Taravilla	5,64	16	8,18	Muy Bueno
Laguna de Somolinos	0	15	1,2	Deficiente
Laguna Grande de Peñalara	0	8	0,95	Malo
Laguna de los Pájaros	0	7	0,9	Malo
Complejo lagunar H. Temporales Peñalara	0	11	1,08	Malo
Laguna de Beleña	44,58	10	47,47	Muy Bueno

En la Tabla 15 se muestran los valores del índice IBCAEL calculados para las lagunas en el año 2013. En general, se observa que en la mayoría de las lagunas no se alcanza el buen estado. Esto se debe al valor del índice ABCO (0) para las lagunas de Somolinos, Grande de Peñalara, Pájaros y el Complejo Lagunar de Peñalara.

En lo que respecta a **macrófitos**, se identificaron 38 taxones de macrófitos (26 hidrófitos y 12 helófitos), siendo los más frecuentes los hidrófitos *Sparganium* sp., *Chara hispida* y *Callitriche brutia*, y los helófitos *Cladium mariscus*, *Phragmites australis*, *Lythrum salicaria* y *Scirpoides holoschoenus* (Figura 24). El resto de taxones aparecieron en un solo punto de muestreo.

En la Tabla 16 se pueden ver los valores de las diferentes métricas usadas para calcular el elemento Otra flora acuática. En general, tal como ocurrió en el año 2012, la valoración de este elemento de calidad es de *Muy bueno*, excepto para la laguna Grande de Peñalara, que es *Inferior a bueno*. En ninguna de las lagunas se identificaron macrófitos exóticos.

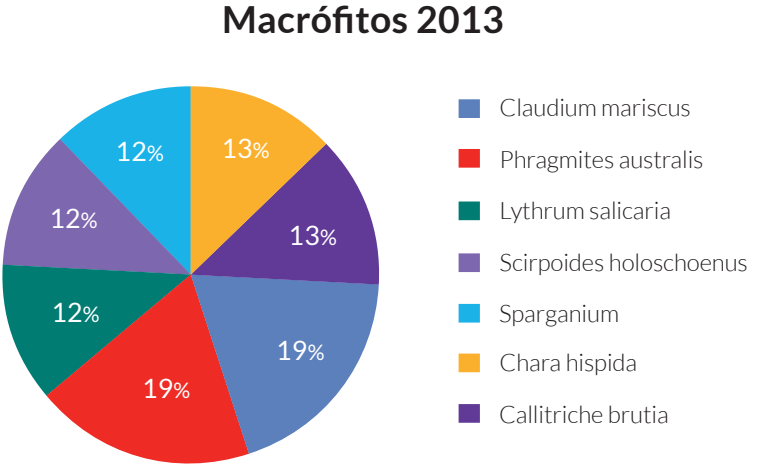


Figura 24. Taxones de macrófitos más frecuentes recogidos en las lagunas durante el año 2013

Tabla 16. Valores para el cálculo del elemento Otra flora acuática del año 2013

Nombre masa de agua	Hidrófitos (Presencia/ ausencia)	Cobertura macrófitos eutróficos (%)	Cobertura macrófitos exóticos (%)	Riqueza macrófitos (nº sp)	Cobertura helófitos (%)	Cobertura hidrófitos (%)	Cobertura total macrófitos (%)	Valoración "Otra flora acuática"
Laguna Grande el Tobar	-	0	0	8	94	65	-	Muy Bueno
Laguna de Taravilla	-	0	0	9	100	80	-	Muy Bueno
Laguna de Somolinos	-	0	0	13	100	78	-	Muy Bueno
Laguna Grande de Peñalara	0	0	0	-	-	-	-	Inferior a bueno
Laguna de los Pájaros	Presencia	0	0	-	-	-	-	Muy Bueno
Complejo lagunar H. Temporales Peñalara	Presencia	0	0	-	-	-	-	Muy Bueno
Laguna de Beleña	-	0	0	23	-	-	100	Muy Bueno

El símbolo “-” significa que no aplica para esa tipología. SD significa que no se dispone de los datos.

En relación al elemento **fitoplancton**, se encontraron 53 taxones, de los cuales cuatro son potencialmente tóxicos (TAXAGUA 2013): *Pseudanabaena catenata*, *Merismopedia tenuissima*, *Romeria simplex* y *Aphanocapsa* sp. (todas pertenecientes al Phylum Cyanobacteria). En general, predominan en el total del biovolumen especies de dinoflagelados y diatomeas.

En la Tabla 17 se muestran los valores de Biovolumen y Clorofila a necesarios para calcular el elemento de calidad Fitoplancton. La valoración de este elemento en todas las lagunas es de *Muy bueno*, excepto para la laguna de Beleña, que es *Moderado*. En general se observa una mejoría respecto al año anterior.

Tabla 17. Valores para el cálculo del elemento Fitoplancton del año 2013

Nombre masa de agua	Biovolumen (mm ³ /l)	Valoración Biovolumen	Clorofila <i>a</i> (mg/m ³)	Valoración Clorofila <i>a</i>	Valoración Composición, Abundancia y Biomasa de Fitoplancton
Laguna Grande el Tobar	0,54	Muy Bueno	0,06	Muy Bueno	Muy Bueno
Laguna de Taravilla	0,7	Muy Bueno	2,02	Muy Bueno	Muy Bueno
Laguna de Somolinos	2,02	Bueno	2,23	Muy Bueno	Muy Bueno
Laguna Grande de Peñalara	1,6	Muy Bueno	0,17	Muy Bueno	Muy Bueno
Laguna de los Pájaros	0,12	Muy Bueno	0,34	Muy Bueno	Muy Bueno
Complejo lagunar H. Temporales Peñalara	-	-	2,65	Muy Bueno	Muy Bueno
Laguna de Beleña	-	-	11,38	Moderado	Moderado

INDICADORES BIOLÓGICOS AÑO 2015

En cuanto a los **invertebrados bentónicos**, en las 6 estaciones de muestreo se han identificado un total de 41 taxones incluidos dentro del macrozoobentos litoral y 18 taxones de crustáceos planctónicos y bentónicos litorales. La laguna de Somolinos, con 19 taxones diferentes de invertebrados (macrozoobentos), es la masa de agua donde se ha encontrado mayor diversidad. En cuanto a los crustáceos, es la laguna de El Tobar en la que se ha observado la diversidad más elevada, con 8 taxones.

Los taxones más abundantes de macrozoobentos encontrados corresponden al grupo de los tricópteros (familia Limnephilidae), seguido de los dípteros quironómidos, siálidos y odonatos de las familias Aeshnidae y Coenagrionidae (Figura 25). Los crustáceos litorales más abundantes son los copépodos ciclopoideos de la especie *Tropocyclops prasinus* y los cladóceros *Alona quadrangularis* y *Arctodiaptomus salinus*.

Macroinvertebrados 2015

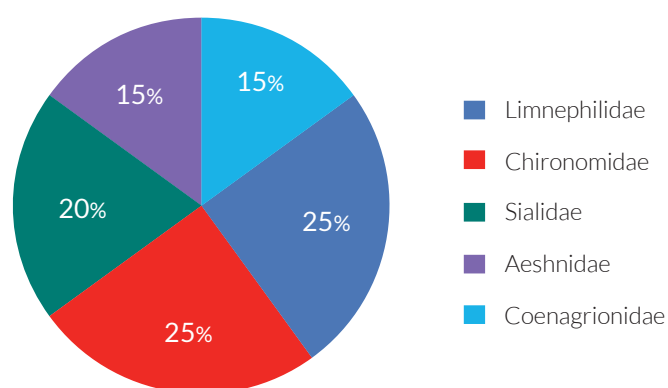


Figura 25. Taxones de macroinvertebrados bentónicos más frecuentes en las lagunas en el año 2015

Tabla 18. Valor del índice IBCAEL para el cálculo del elemento "Fauna invertebrada bentónica" del año 2015

Nombre masa de agua	ABCO	RIC	IBCAEL	Valoración IBCAEL
Laguna Grande el Tobar	2,08	7	2,78	Moderado
Laguna de Taravilla	5,64	16	8,18	Muy Bueno
Laguna de Somolinos	0	15	1,2	Deficiente
Laguna Grande de Peñalara	0	8	0,95	Malo
Laguna de los Pájaros	0	7	0,9	Malo
Complejo lagunar H. Temporales Peñalara	0	11	1,08	Malo
Laguna de Beleña	44,58	10	47,47	Muy Bueno

En la Tabla 18 se muestran los valores del índice IBCAEL calculados para las lagunas en el año 2015. Se observa que la valoración de este índice fue *Deficiente* para tres de las lagunas (Grande de Peñalara, Pájaros y el Complejo Lagunar de Peñalara). Para el resto de las lagunas fue de *Muy bueno* o *Bueno*, excepto Beleña, que estaba seca.

En las seis estaciones de muestreo se han identificado un total de 40 taxones de flora acuática (macrófitos), dos de ellos característicos de condiciones eutróficas (TAXAGUA 2013): *Potamogeton pectinatus* (presente en la laguna de El Tobar) y *Spirogyra* sp. (presente en las lagunas de El Tobar y Somolinos). Las especies más frecuentes encontradas corresponden a taxones del grupo de los helófitos: *Phragmites australis*, *Cladium mariscus* y *Salix* sp. Los hidrófitos más comunes son el musgo *Fontinalis antipyretica* y el cárofito *Chara hispida* (Figura 26).

En la Tabla 19 se pueden ver los valores de las diferentes métricas usadas para el cálculo del elemento Otra flora acuática. En general, la valoración de este elemento es *Muy bueno* o *Bueno*. En ninguna laguna se identificaron macrófitos exóticos.

Macrófitos 2015

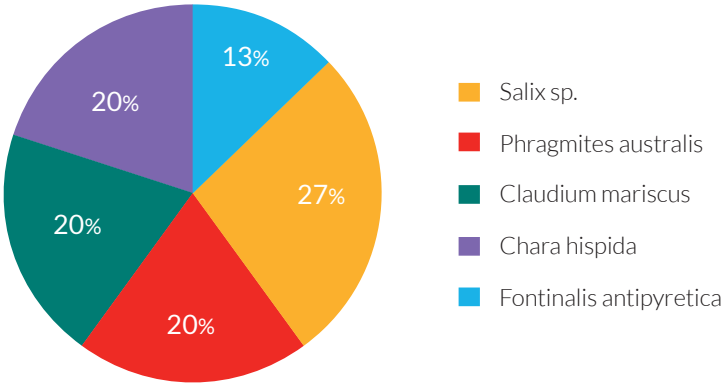


Figura 26. Taxones de macrófitos más frecuentes en las lagunas en el año 2015

Tabla 19. Valores para el cálculo del elemento "Otra flora acuática" del año 2015

Nombre masa de agua	Hidrófitos (Presencia/ ausencia)	Cobertura macrófitos eutróficos (%)	Cobertura macrófitos exóticos (%)	Riqueza macrófitos (nº sp)	Cobertura helófitos (%)	Cobertura hidrófitos (%)	Cobertura total macrófitos (%)	Valoración "Otra flora acuática"
Laguna Grande el Tobar	-	2	0	7	97	50	-	Bueno
Laguna de Taravilla	-	0	0	14	100	76	-	Muy Bueno
Laguna de Somolinos	-	6	0	9	65	53	-	Bueno
Laguna Grande de Peñalara	1	0	SD	-	-	-	-	Muy Bueno
Laguna de los Pájaros	1	0	SD	-	-	-	-	Muy Bueno
Complejo lagunar H. Temporales Peñalara	1	0	SD	-	-	-	-	Muy Bueno
Laguna de Beleña	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca

El símbolo “-” significa que no aplica para esa tipología. SD significa que no se dispone de los datos.

En cuanto al **fitoplancton**, en las 6 estaciones de muestreo se han identificado un total de 76 taxones, 4 de ellos potencialmente tóxicos (TAXAGUA 2013): *Aphanizomenon gracile*, *Planktothrix agardhii*, *Pseudanabaena catenata* y *Romeria leopoliensis* (todas pertenecientes al Phylum Cyanobacteria). En general, predominan en el total del biovolumen especies de dinoflagelados y diatomeas. Excepcionalmente, en la laguna de Los Pájaros domina el alga criptofita *Cryptomonas erosa*.

En la Tabla 20 se muestran los valores de biovolumen y Clorofila a necesarios para calcular el elemento de calidad Fitoplancton. La valoración de este elemento va de *Muy bueno* a *Deficiente*, presentando la mayoría de lagunas un estado *Muy bueno*.

Tabla 20. Valores para el cálculo del elemento Fitoplancton del año 2015

Nombre masa de agua	Biovolumen (mm³/l)	Valoración Biovolumen	Clorofila a (mg/m³)	Valoración Clorofila a	Valoración Composición, Abundancia y Biomasa de Fitoplancton
Laguna Grande el Tobar	0,88	Muy Bueno	2,49	Muy Bueno	Muy Bueno
Laguna de Taravilla	0,29	Muy Bueno	1,59	Muy Bueno	Muy Bueno
Laguna de Somolinos	0,45	Muy Bueno	3,29	Bueno	Muy Bueno
Laguna Grande de Peñalara	0,56	Muy Bueno	1,69	Muy Bueno	Muy Bueno
Laguna de los Pájaros	2,24	Bueno	5,84	Deficiente	Deficiente
Complejo lagunar H. Temporales Peñalara	-	-	3,63	Bueno	Bueno
Laguna de Beleña	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca

El símbolo “-” significa que no aplica para esa tipología.



Laguna de Los Pájaros

INDICADORES FISICOQUÍMICOS

A continuación se presentan los resultados de los indicadores fisicoquímicos de las lagunas para los diferentes años de muestreo (Tablas 21-23). En general, la calidad fisicoquímica de las lagunas ha sido Buena o Moderada. La métrica para la que se han registrado valoraciones más bajas ha sido, en general, el fósforo total.

Tabla 21. Valoración de los parámetros fisicoquímicos del año 2012

Nombre masa de agua	Conductividad (µS/cm)	Valoración Biovolumen	pH	Valoración pH	Alcalinidad (meq CaCO ₃ /l)	Valoración Alcalinidad	Fósforo total (mg P/m ³)	Valoración Fósforo total	Disco de Secchi (m)	Valoración Disco de Secchi	Calidad fisicoquímica
Laguna Grande el Tobar	537	Muy bueno	8,2	Bueno o Superior	4,5	Muy bueno	<30	Bueno	4,2	Muy bueno	Bueno
Laguna de Taravilla	427	Muy Bueno	8,1	Bueno o Superior	5,4	Muy Bueno	<30	Muy Bueno	4	Bueno	Bueno
Laguna de Somolinos	374	Muy Bueno	8,1	Bueno o Superior	5,4	Muy Bueno	<30	Bueno	3,5	Bueno	Bueno
Laguna Grande de Peñalara	13	Muy Bueno	6,36	Bueno o Superior	0,1	Muy Bueno	30	Moderado	2,8	Moderado	Moderado
Laguna de los Pájaros	15	Muy Bueno	7,2	Bueno o Superior	0,2	Muy Bueno	160	Moderado	0,5 (1)	Bueno	Moderado
Complejo lagunar H. Temporales Peñalara	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca
Laguna de Beleña	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca

(1): Profundidad total de la laguna.



Laguna de Los Pájaros

Tabla 22. Valoración de los parámetros fisicoquímicos del año 2013

Nombre masa de agua	Conductividad (μS/cm)	Valoración Biovolumen	pH	Valoración pH	Alcalinidad (meq CaCO ₃ /l)	Valoración Alcalinidad	Fósforo total (mg P/m ³)	Valoración Fósforo total	Disco de Secchi (m)	Valoración Disco de Secchi	Calidad fisicoquímica
Laguna Grande el Tobar	453	Muy bueno	8,5	Bueno o superior	4,5	Muy bueno	7	Muy bueno	4,1	Muy bueno	Bueno o superior
Laguna de Taravilla	489	Muy bueno	7,8	Bueno o superior	5,1	Muy bueno	10	Muy bueno	3,2	Bueno	Bueno
Laguna de Somolinos	365	Muy bueno	8,3	Bueno o superior	4,8	Muy bueno	10	Bueno	4,2	Muy bueno	Bueno
Laguna Grande de Peñalara	5	Muy bueno	6	Bueno o superior	0,2	Muy bueno	21	Moderado	4,5	Muy bueno	Moderado
Laguna de los Pájaros	6	Muy bueno	6,3	Bueno o superior	<0,1	Muy bueno	40	Moderado	0,5 (1)	Bueno	Moderado
Complejo lagunar H. Temporales Peñalara	4	Muy bueno	6,1	Bueno o superior	<0,1	Muy bueno	18	Bueno	-	-	Bueno
Laguna de Beleña	93	Muy bueno	8	Bueno o superior	0,5	Muy bueno	60	Moderado	-	-	Moderado

(1): Profundidad total de la laguna.

Tabla 23. Valoración de los parámetros fisicoquímicos del año 2015

Nombre masa de agua	pH	Valoración pH	Fósforo total (mg P/m ³)	Valoración Fósforo total	Disco de Secchi (m)	Valoración Disco de Secchi	Calidad fisicoquímica
Laguna Grande el Tobar	8,17	Bueno o superior	11	Muy bueno	6,28	Muy bueno	Bueno o superior
Laguna de Taravilla	7,36	Bueno o superior	9	Muy bueno	4,68	Muy bueno	Bueno o superior
Laguna de Somolinos	7,22	Bueno o superior	10	Muy bueno	5,21	Muy bueno	Bueno o superior
Laguna Grande de Peñalara	4,91	Moderado o inferior	30	Moderado o inferior	4,70	Muy bueno	Moderado o inferior
Laguna de los Pájaros	5,51	Moderado o inferior	70	Moderado o inferior	0,50 (1)	Bueno	Moderado o inferior
Complejo lagunar H. Temporales Peñalara	6,34	Bueno o superior	110	Moderado o inferior	-	-	Moderado o inferior
Laguna de Beleña	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca



ESTADO ECOLÓGICO

A continuación se muestran los resultados del estado ecológico para las lagunas muestreadas los años 2012, 2013 y 2015. Además, se presenta una comparación con los resultados del estado ecológico del ciclo anterior (2008-2010) (Figuras 27-32).

ESTADO ECOLÓGICO AÑO 2012

Las lagunas Grande de El Tobar y la de Taravilla fueron las que presentaron un mejor estado ecológico durante el año 2012 (*Bueno*), mientras que el estado de la laguna de Somolinos fue *Deficiente*. La laguna Grande de Peñalara y la de los Pájaros tuvieron un estado ecológico *Malo*, debido a la métrica del índice IBCAEL. Por último, el Complejo Lagunar de Humedales Temporales de Peñalara y la laguna de Beleña estaban secas en el momento del muestreo, por lo que no hay datos disponibles de estas dos lagunas. En la Tabla 24 se muestra el estado ecológico global de las lagunas muestreadas durante el año 2012.

Tabla 24. Estado ecológico de las lagunas muestreadas durante el año 2012

Nombre masa de agua	Valoración IBCAEL	Valoración "Otra flora acuática"	Valoración Composición, Abundancia y Biomasa de fitoplancton	Calidad biológica	Calidad fisicoquímica	Estado ecológico
Laguna Grande el Tobar	Bueno	Muy bueno	Muy bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Laguna de Taravilla	Muy bueno	Muy bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Laguna de Somolinos	Deficiente	Muy bueno	Moderado	Deficiente	Bueno	Deficiente
Laguna Grande de Peñalara	Malo	Inferior a bueno	Moderado	Malo	Moderado	Malo
Laguna de los Pájaros	Malo	Muy bueno o bueno	Deficiente	Malo	Moderado	Malo
Complejo lagunar H. Temporales Peñalara	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca
Laguna de Beleña	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca



ESTADO ECOLÓGICO AÑO 2013

En 2013 la única laguna que presentó un buen estado ecológico fue la de Taravilla, siendo el estado del resto de ellas *Moderado* o *inferior* (*Deficiente* y *Malo*). Los elementos Otra flora acuática y Fitoplancton presentaron valoraciones en general muy buenas. Sin embargo, el índice IBCAEL tuvo nuevamente valoraciones de *Malo* o *Deficiente* en varias lagunas. La Tabla 25 resume el estado ecológico global de las lagunas muestreadas durante el año 2013.

Tabla 25. Estado ecológico de las lagunas muestreadas durante el año 2013

Nombre masa de agua	Valoración IBCAEL	Valoración "Otra flora acuática"	Valoración Composición, Abundancia y Biomasa de Fitoplancton	Calidad biológica	Calidad fisicoquímica	Estado ecológico
Laguna Grande el Tobar	Moderado	Muy bueno	Muy bueno	Moderado	Bueno o superior	Moderado
Laguna de Taravilla	Muy bueno	Muy bueno	Muy bueno	Muy bueno	Bueno	Bueno
Laguna de Somolinos	Deficiente	Muy bueno	Muy bueno	Deficiente	Bueno	Deficiente
Laguna Grande de Peñalara	Malo	Inferior a bueno	Muy bueno	Malo	Moderado	Malo
Laguna de los Pájaros	Malo	Muy bueno	Muy bueno	Malo	Moderado	Malo
Complejo lagunar H. Temporales Peñalara	Malo	Muy bueno	Muy bueno	Malo	Bueno	Malo
Laguna de Beleña	Muy bueno	Muy bueno	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado

ESTADO ECOLÓGICO AÑO 2015

En el año 2015 la laguna de Taravilla fue la que presentó un mejor estado ecológico (*Bueno o superior*), seguida de la laguna Grande de El Tobar y la de Somolinos, que alcanzaron un estado *Bueno*. La laguna de Beleña estaba seca en el momento de la toma de muestras, por lo que no hay datos disponibles de esta laguna. El resto de las lagunas, Grande de Peñalara, el Complejo Lagunar y los Pájaros, presentaron un estado ecológico *Deficiente*. En la Tabla 26, se resume el estado ecológico global de las lagunas muestreadas durante el año 2015.

Tabla 26. Estado ecológico de las lagunas muestreadas durante el año 2015

Nombre masa de agua	Valoración IBCAEL	Valoración "Otra flora acuática"	Valoración Composición, Abundancia y Biomasa de Fitoplancton	Calidad biológica	Calidad fisicoquímica	Estado ecológico
Laguna Grande el Tobar	Bueno	Bueno	Muy bueno	Bueno	Bueno o superior	Bueno
Laguna de Taravilla	Muy Bueno	Muy Bueno	Muy Bueno	Muy Bueno	Bueno o superior	Bueno o superior
Laguna de Somolinos	Muy Bueno	Muy Bueno	Muy Bueno	Bueno	Bueno o superior	Bueno
Laguna Grande de Peñalara	Deficiente	Muy Bueno	Muy Bueno	Deficiente	Moderado o inferior	Deficiente
Laguna de los Pájaros	Deficiente	Muy Bueno	Deficiente	Deficiente	Moderado o inferior	Deficiente
Complejo lagunar H. Temporales Peñalara	Deficiente	Muy Bueno	Bueno	Deficiente	Moderado o inferior	Deficiente
Laguna de Beleña	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca

ESTADO ECOLÓGICO EN LAGOS. EVOLUCIÓN 2012-2015 Y 2008-2015

Si se comparan los estados ecológicos de los tres últimos años muestreados se puede decir que, en general, en el año 2015 el estado ecológico de las lagunas mejoró respecto a los años anteriores (2012 y 2013) (Tabla 27).

La laguna Grande de El Tobar presentó un buen estado ecológico los años 2012 y 2015, siendo algo peor en 2013 (*Moderado*). La laguna de Taravilla es la que presenta mejores resultados de las siete, ya que se mantiene en buen estado durante los tres años evaluados. La de Somolinos mejoró en 2015, llegando al estado *Bueno*, frente al estado *Deficiente* de 2012 y 2013. Las lagunas del

macizo de Peñalara (Grande de Peñalara, Pájaros y Complejo lagunar) son las que peores resultados han obtenido a lo largo del periodo analizado, con estado ecológico *Malo* (años 2012 y 2013) o *Deficiente* (año 2015). Por último, la laguna de Beleña estaba seca los años 2012 y 2015, por lo que solo se tienen datos sobre su estado ecológico para el año 2013, que fue *Moderado*.

Con respecto a las bajas valoraciones obtenidas en las tres lagunas de Peñalara durante todo el periodo, y en la laguna de Somolinos en 2012 y 2013, éstas son debidas a los resultados aportados por el índice IBCAEL, fundamentalmen-

te, que es el que ha condicionado en mayor medida la valoración final del estado ecológico en estas masas de agua. Estos bajos resultados podrían deberse a que los taxones que puntúan para el índice ABCO o los valores de sensibilidad que éstos tienen asignados no sean los más adecuados para las tipologías de estas lagunas. Es de destacar que la evaluación de la calidad biológica en base a los otros elementos biológicos (macrófitos y fitoplancton) no se corresponde con los resultados que aporta el IBCAEL para invertebrados. Tampoco los resultados obtenidos en los indicadores fisicoquímicos tienen buena correlación con los resultados de este índice.

Tabla 27. Tabla resumen con las valoraciones del estado ecológico de las siete lagunas durante los años 2012-2015

Nombre masa de agua	2012			2013			2015		
	Calidad biológica	Calidad físicoquímica	Estado ecológico	Calidad biológica	Calidad físicoquímica	Estado ecológico	Calidad biológica	Calidad físicoquímica	Estado ecológico
Laguna Grande el Tobar	Bueno	Bueno	Bueno	Moderado	Bueno o superior	Moderado	Bueno	Bueno o superior	Bueno
Laguna de Taravilla	Bueno	Bueno	Bueno	Muy bueno	Bueno	Bueno	Muy bueno	Bueno o superior	Bueno o superior
Laguna de Somolinos	Deficiente	Bueno	Deficiente	Deficiente	Bueno	Deficiente	Bueno	Bueno o superior	Bueno
Laguna Grande de Peñalara	Malo	Moderado	Malo	Malo	Moderado	Malo	Deficiente	Moderado o inferior	Deficiente
Laguna de los Pájaros	Malo	Moderado	Malo	Malo	Moderado	Malo	Deficiente	Moderado o inferior	Deficiente
Complejo lagunar H. Temporales Peñalara	Seca	Seca	Seca	Malo	Bueno	Malo	Deficiente	Moderado o inferior	Deficiente
Laguna de Beleña	Seca	Seca	Seca	Moderado	Moderado	Moderado	Seca	Seca	Seca

Dado que en los tres años estudiados el índice IBCAEL ha condicionado la valoración final del estado ecológico en buena parte de las lagunas de la cuenca, se ha considerado interesante analizar su influencia en el incumplimiento de los objetivos medioambientales de estas masas de agua.

En la siguiente tabla (Tabla 28) se presenta la evaluación del estado ecológico de los tres años **considerando los resultados del índice IBCAEL o excluyéndolo del cálculo**. En aquellos casos en que no se alcanza el *Buen estado* se indica entre paréntesis el indicador o indicadores responsables.

Tabla 28. Estado ecológico 2012-2015 considerando o no los resultados del índice IBCAEL

Nombre masa de agua	Estado ecológico 2012	Estado ecológico 2012 sin IBCAEL	Estado ecológico 2013	Estado ecológico 2013 sin IBCAEL	Estado ecológico 2015	Estado ecológico 2015 sin IBCAEL
Laguna Grande el Tobar	Bueno	Bueno	Moderado (IBCAEL)	Bueno o superior	Bueno	Bueno
Laguna de Taravilla	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno o superior	Bueno o superior
Laguna de Somolinos	Deficiente (IBCAEL)	Moderado (Clorofila a)	Deficiente (IBCAEL)	Bueno	Bueno	Deficiente
Laguna Grande de Peñalara	Malo	Moderado (Clorofila a, Disco Secchi y Fósforo total)	Malo	Moderado (Fósforo total)	Deficiente (IBCAEL)	Moderado o inferior (pH y Fósforo total)
Laguna de los Pájaros	Malo	Deficiente (Clorofila a)	Malo	Moderado (Fósforo total)	Deficiente (IBCAEL y Clorofila a)	Deficiente (Clorofila a)
Complejo lagunar H. Temporales Peñalara	Seca	Seca	Malo	Bueno	Deficiente (IBCAEL)	Moderado o inferior (Fósforo total)
Laguna de Beleña	Seca	Seca	Moderado (Clorofila a y Fósforo total)	Moderado (Clorofila a y Fósforo total)	Seca	Seca

Según se deduce de la tabla anterior, en tres ocasiones, todas ellas en 2013, para las lagunas de El Tobar, Somolinos y el Complejo Lagunar, el índice IBCAEL ha sido el responsable del no cumplimiento del buen estado ecológico. En el resto de incumplimientos registrados, el hecho de considerar este índice en el cálculo hace que los resultados finales sean peores (estado ecológico *Deficiente* o *Malo*), pero aún sin considerarlo las masas de agua no llegan al buen estado debido a otros indicadores.

De manera que, si se excluye el índice IBCAEL de invertebrados para el cálculo del estado ecológico, como el indicador que registra los peores resultados obtenidos en lagos, se siguen observando problemas en las lagunas de la zona de Peñalara, debidos fundamentalmente a los valores de Clorofila a y de fósforo total. Su estado ecológico en los tres años de estudio sigue sin llegar a *Bueno*, tanto si consideramos el índice IBCAEL como si no (a excepción del Complejo lagunar en 2013, que sí llegaría a buen es-

tado ecológico). En el caso de la laguna de Beleña, dado que los incumplimientos se deben a los valores de Clorofila a y fósforo total, su estado no cambiaría.

Presentamos a continuación un **resumen comparativo de los resultados del estado ecológico obtenidos en el ciclo anterior (2008-2010) con respecto a los del periodo 2012-2015**. Este análisis hay que tomarlo con reservas, dadas las modificaciones de normativa, condiciones de referencia, indicadores aplicables y protocolos de muestreo y cálculo de métricas que se han producido a lo largo de estos años, y que condicionan de forma decisiva las valoraciones finales del estado ecológico en lagos. A modo de ejemplo indicar que para los años 2008 y 2009 el único elemento biológico que computó para el cálculo del estado ecológico fue el fitoplancton, y para 2010 fueron el fitoplancton y los macrófitos, éstos últimos con una metodología diferente a la incluida a día de hoy en los protocolos oficiales del Ministerio.

Para mayor información sobre las metodologías y resultados obtenidos en el periodo 2008-2010 se puede consultar el informe **“Valoración del estado ecológico en las lagunas de la cuenca hidrográfica del Tajo. 2008-2010”** (CHT, 2012), disponible en la página web de la Confederación Hidrográfica del Tajo.

Considerando estas premisas, de forma general podría decirse que para ciertas lagunas el estado ecológico se ha mantenido estable a lo largo de los años, como en el caso de El Tobar y Taravilla. También la laguna de Beleña, aunque para ésta únicamente se dispone de información para dos campañas, ya que debido a su carácter temporal se ha encontrado seca durante la mayor parte de los muestreos realizados. Para el resto se aprecia un empeoramiento del estado ecológico (Somolinos, Peñalara, Pájaros y Complejo Lagunar de Peñalara), debido en parte al cambio de normativa, que ha introducido un mayor número de métricas a considerar para el cálculo del estado ecológico.

En la Tabla 29 se pueden ver las valoraciones del estado ecológico desde el año 2008.

Tabla 29. Comparación del estado ecológico de los años 2008-2015

Nombre masa de agua	Estado ecológico 2008	Estado ecológico 2009	Estado ecológico 2010	Estado ecológico 2012	Estado ecológico 2013	Estado ecológico 2015
Laguna Grande el Tobar	Bueno	Bueno	Moderado	Bueno	Moderado	Bueno
Laguna de Taravilla	Bueno	Bueno o superior	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno o superior
Laguna de Somolinos	Moderado o inferior	Bueno o superior	Bueno	Deficiente	Deficiente	Bueno
Laguna Grande de Peñalara	Moderado o inferior	Bueno o superior		Malo	Malo	Deficiente
Laguna de los Pájaros		Bueno o superior		Malo	Malo	Deficiente
Complejo lagunar H. Temporales Peñalara		Bueno o superior			Malo	Deficiente
Laguna de Beleña			Moderado		Moderado	Seca

A continuación se presentan los planos que resumen el estado ecológico de las lagunas desde el año 2008 al 2015 (Figuras 27-32).



Figura 27. Representación del estado ecológico de las lagunas en el año 2008



Figura 28. Representación del estado ecológico de las lagunas en el año 2009



Figura 29. Representación del estado ecológico de las lagunas en el año 2010



Figura 30. Representación del estado ecológico de las lagunas en el año 2012



Figura 31. Representación del estado ecológico de las lagunas en el año 2013



Figura 32. Representación del estado ecológico de las lagunas en el año 2015



Laguna Grande de Peñalara

ESTADO TRÓFICO

La eutrofización no natural de un sistema acuático consiste en la incorporación excesiva de materia orgánica alóctona, que produce una alteración en las condiciones de equilibrio del ecosistema, cambiando sus características, composición biótica y procesos de sucesión natural (Margalef *et al.*, 1976).

Para establecer programas de control de la eutrofización en masas de agua es necesario establecer una relación entre los términos tróficos y los valores límite para ciertos parámetros indicativos de la calidad del agua. El Programa Internacional Cooperativo de la OCDE para la Supervisión de Aguas Interiores (OCDE, 1982), estableció valores límite específicos de fósforo total, clorofila a y disco de Secchi para embalses de zonas templadas (Tabla 30).

Tabla 30. Límites de referencia para el cálculo del estado trófico según la OCDE

Fósforo total	Clorofila a (Media anual)	Clorofila a (Máximo anual)	DS (Media anual)	DS (Mínimo anual)	Estado Trófico
µg/l			m		
<4	<1	<2,5	>12	>6	Ultraoligo
<10	<2,5	<8	>6	>3	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

Tabla 31. Límites de referencia para el cálculo del estado trófico en función del Biovolumen según Willen (2000).

Biovolumen (mm³/l)	Grado de eutrofización
$x < 1$	Oligotrófico
$2,5 \geq x \geq 1$	Mesotrófico
$x > 2,5$	Eutrófico

En el caso del Biovolumen, los límites del grado de eutrofización aparecen recogidos en Willen (2000), distinguiéndose tres clases de estado trófico (Tabla 31).

En la Tabla 32 se resumen los resultados de la valoración del estado trófico de las siete lagunas durante los años 2012, 2013 y 2015.

En el año 2012 los valores de Biovolumen, Clorofila a, DS y fósforo total corresponden a sistemas oligotróficos y mesotróficos, mientras que en el año 2013 se observa que los valores tanto de Biovolumen y Clorofila a como del DS corresponden a sistemas oligotróficos o ultraoligotróficos, excepto para el fósforo total. Este parámetro se corresponde con estados tróficos que van desde oligotróficos a eutróficos. Si se comparan estos resultados con los del año 2015, se observa que en general en el 2015 las la-

gunas presentaron estados tróficos con tendencia a la eutrofización atendiendo a los valores de fósforo total.

Llama la atención los elevados valores de la laguna de Pájaros del año 2012, que corresponden a una masa de agua hipereutrófica. En el caso de la métrica de la Clorofila a, las concentraciones obtenidas podrían deberse a la fuerte tormenta que tuvo lugar el día anterior a la toma de muestras, que pudo provocar la resuspensión de materiales degradados.

También hay que señalar que la métrica del DS para las lagunas Grande de Beleña, El Tobar, Los Pájaros y Complejo Lagunar en los años 2013 y 2015 debería indicar un mayor grado de eutrofia de

acuerdo a la clasificación de la OCDE. Sin embargo, se ha considerado que son sistemas oligotróficos debido a que el dato del DS corresponde al valor de máxima profundidad de la laguna, es decir, que la transparencia era máxima en toda la columna de agua.

En general, se observa una tendencia a la eutrofización. Esto se debe a los cada vez más altos valores de fósforo presentes en las lagunas. Generalmente, la eutrofización de un sistema acuático es un síntoma de algún tipo de contaminación, bien sea por la presencia de ganado, la incorporación de fertilizantes derivados de la agricultura o por otro tipo de actividad humana que suponga un aporte excesivo de nutrientes al medio.

Tabla 32. Estado trófico de las lagunas durante los años 2012, 2013 y 2015

Nombre masa de agua	2012				2013				2015			
	Biovolumen	Clorofila a	Pt	DS	Biovolumen	Clorofila a	Pt	DS	Biovolumen	Clorofila a	Pt	DS
Laguna Grande el Tobar	Oligo	Oligo	Meso	Oligo	Oligo	Ultraoligo	Oligo	Oligo	Oligo	Oligo	Hipereut	Oligo
Laguna de Taravilla	Oligo	Meso	Meso	Oligo	Oligo	Ultraoligo	Meso	Oligo	Oligo	Oligo	Eut	Meso
Laguna de Somolinos	Oligo	Meso	Meso	Meso	Oligo	Ultraoligo	Meso	Meso	Oligo	Meso	Eut	Meso
Laguna Grande de Peñalara	Oligo	Meso	Meso	Meso	Meso	Ultraoligo	Meso	Oligo	Oligo	Oligo	Meso	Oligo
Laguna de los Pájaros	Oligo	Hipereut	Hipereut	Hipereut	Oligo	Ultraoligo	Eut	Oligo	Meso	Meso	Eut	Oligo
Complejo lagunar H. Temporales Peñalara	Seca	Seca	Seca	Seca	Oligo	Oligo	Meso	Oligo	Oligo	Meso	Hipereut	Oligo
Laguna de Beleña	Seca	Seca	Seca	Seca	Oligo	Oligo	Eut	Oligo	Seca	Seca	Seca	Seca

Donde Pt: fósforo total, DS: Disco de Secchi, Ultraoligo: ultraoligotrófico, Oligo: oligotrófico, Meso: mesotrófico, Eut: eutrófico, Hipereut: hipereutrófico.

CONCLUSIONES



Laguna de Castrejón

Las conclusiones que se pueden extraer de los resultados obtenidos durante el muestreo de las siete lagunas consideradas masas de agua de origen natural en la Demarcación Hidrográfica del Tajo en el período 2012-2015 son las siguientes:

- Comparando los resultados del ciclo 2012-2015 con los obtenidos en el ciclo anterior (2008-2010), se observa que, en varias lagunas, concretamente las del entorno de Peñalara (Grande de Peñalara, los Pájaros y el Complejo Lagunar de Peñalara), el estado ecológico parece haber empeorado. Estas diferencias podrían deberse, en parte, al cambio de normativa, que ha introducido nuevos indicadores para la evaluación del estado. Además, podría ser que los taxones que puntúan para el índice ABCO o las puntuaciones que éstos tienen no sean las más adecuadas para las tipologías de estas lagunas.
- La laguna de Beleña estaba seca los años 2012 y 2015, por lo que tan solo hay datos correspondientes a su estado ecológico para el año 2013. Al igual que ocurrió durante el ciclo 2008-2010, para el que solo se pudo calcular el estado ecológico de un año debido a la temporalidad de la laguna, los resultados de un único muestreo no son concluyentes.
- En cuanto al estado ecológico de las lagunas del entorno de Peñalara, incluidas en el Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama, aunque mejoró desde el año 2012, no pasó de *Deficiente*. Esto se debe al valor del índice IBCAEL (2012 y 2013 valorado

como *Malo*, 2015 como *Deficiente*), consecuencia a su vez, del bajo valor obtenido del ABCO. Hay que destacar que, para otros indicadores, como el fitoplancton o los macrófitos, se han obtenido en general valoraciones más altas. Como ya se ha comentado, puede deberse a los taxones que puntúan para el índice ABCO o las puntuaciones que tienen no sean las más adecuadas para las tipologías de estas lagunas. No obstante, sin tener en cuenta el índice IBCAEL para el cálculo del estado ecológico, se observa como estas lagunas tampoco alcanzarían el buen estado, se quedarían en general en estado *Moderado*, debido a las concentraciones de fósforo total y Clorofila a.

- La laguna de Taravilla mantuvo un buen estado ecológico durante todos los años.
- La laguna Grande de El Tobar presentó un estado *Moderado* en el año 2013, siendo *Bueno* el resto de años.
- Por último, la laguna de Somolinos pasó de tener un estado ecológico *Deficiente* durante los años 2012 y 2013 a un estado *Bueno* en el año 2015. Al igual que en el caso de las lagunas de Peñalara, la valoración de *Deficiente* se debió al bajo valor del índice IBCAEL.
- En cuanto al estado trófico, se observa una tendencia a la eutrofización. Esto se debe a los cada vez más altos valores de fósforo presentes en las lagunas. Sin embargo, los datos de los que se dispone no son suficientes para extraer conclusiones definitivas.

BIBLIOGRAFÍA

Boletín Oficial del Estado, 2001. Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de Julio, por el que aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas. BOE nº 176: 26791-26817.

Boletín Oficial del Estado, 2006. Orden MAM/3207/2006, de 25 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción técnica complementaria MMA-EECC-1/06, determinaciones químicas y microbiológicas para el análisis de las aguas. ITC-MMA-EECC-1/06. BOE nº 250: 36326-36440.

Boletín Oficial del Estado, 2008. Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la Instrucción de Planificación Hidrológica. BOE nº 229: 38472-38582.

Boletín Oficial del Estado, 2015. Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental. BOE nº 219: 80582-80677.

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 & R.U. Gosálvez, 2009. Aguas continentales retenidas. Ecosistemas leníticos. En: VVAA., 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.

Casado, S. & C. Montes, 1995. Guía de los lagos y humedales de España. J. M. Reyero Editor. Madrid.

CEDEX, 2008. Ampliación y actualización de la tipología de lagos. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Madrid.

CEDEX, 2009a. 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 DMA. 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 de la categoría lagos basadas en el elemento de calidad composición y abundancia de otra flora acuática en aplicación de la DMA. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Madrid.

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 categoría lago. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Madrid.

CEDEX, 2010. Establecimiento de condiciones hidromorfológicas y fisicoquímicas específicas de cada tipo ecológico en masas de agua de la categoría lagos en aplicación de la DMA. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Madrid.

CEDEX, 2013. 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. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Madrid.

CHE, 2005. Protocolo de muestreo y análisis para invertebrados bentónicos. Confederación Hidrográfica del Ebro, Zaragoza.

CHT, 2012. Valoración del estado ecológico en las lagunas de la Cuenca Hidrográfica del Tajo. 2008-2010. Confederación Hidrográfica del Tajo, Madrid.

- Cirujano, S., Meco, A. & K. Cezón, 2012. ID-TAX Flora acuática: Macrófitos. MAGRAMA, Madrid.
- Convención Ramsar, 1971. Los humedales de importancia internacional especialmente como hábitat de aves acuáticas. Ramsar (Irán), 2 de febrero de 1971. UN Treaty Series No. 14583. Modificada según el Protocolo de París, 3 de diciembre de 1982, y las Enmiendas de Regina, 28 de mayo de 1987. UNESCO.
- DOCE, 2000. Directiva 2000/60/CEE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. DOCE nº L 327: 1-73. Bruselas.
- Drake, D.C., Kelly, D. & M. Schallenberg, 2011. Shallow coastal lakes in New Zealand: current conditions, catchment-scale human disturbance, and determination of ecological integrity. *Hydrobiologia*, 658, 87-101.
- EC, 2003. Guidance document nº 13: Overall approach to the classification of ecological status and ecological potential. Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburgo.
- MARM, 2010. Protocolo de muestreo de fitoplancton en lagos y embalses. M-LE-FP-2010.
- MAGRAMA, 2013a. Protocolo de muestreo y laboratorio de invertebrados bentónicos en lagos. ML-L-I-2013.
- MAGRAMA, 2013b. Protocolo para el cálculo del índice IBCAEL de invertebrados en lagos. IBCAEL-2013.
- MAGRAMA, 2013c. Protocolo de muestreo de fitoplancton en lagos y embalses. M-LE-FP-2013.
- MAGRAMA, 2013d. Protocolo de análisis y cálculo de métricas de fitoplancton en lagos y embalses. MFIT-2013 v.2.
- MAGRAMA, 2013e. Protocolo de muestreo de otro tipo de flora acuática (macrófitos) en lagos. M-L-OFM-2013.
- MAGRAMA, 2013f. Protocolo de laboratorio y cálculo de métricas de otro tipo de flora acuática (macrófitos) en lagos. OFALAM-2013.
- 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 Públicas. Ministerio de Obras Públicas. Publicación nº 123. Madrid.
- Mitsch, W.J. & J.G. Gosselink, 2000. Wetlands, 3ª Ed. John Wiley and Sons. New York.
- OCDE, 1982. Eutrophication of Waters. Monitoring, assessment and control. OCDE, Paris.
- Solimini, A.G., Bazzanti, M., Ruggiero, A. & G. Carchini, 2008. Developing a multimetric index of ecological integrity based on macroinvertebrates of mountain ponds in central Italy. *Hydrobiologia*, 597, 109-123.
- Stenert, C. & L. Maltchik, 2007. Influence of area, altitude and hydroperiod on macroinvertebrate communities in southern Brazil wetlands. *Marine and Freshwater Research*, 58, 993-1001.
- TAXAGUA, 2013. Tesauro taxonómico para la clasificación del estado ecológico de las masas de aguas continentales. MAPAMA, Madrid.
- Wetzel, R.G., 2001. Limnology. Lake and River Ecosystems. Elsevier. California, USA.
- Willen, E., 2000. Phytoplankton water quality assessment- an indicator concept. In: Hydrological and limnological aspects of lake monitoring. Pp 58-80. Heinonen, I., Ziglio, G. & Van der Beken, A. (Eds). John Wiley & Sons Ltd. Chichester, UK.

ESTADO ECOLÓGICO
DE LAS LAGUNAS EN LA CUENCA
HIDROGRÁFICA DEL TAJO
2012 / 2015



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA Y PESCA,
ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL TAJO