



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA Y PESCA,
ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

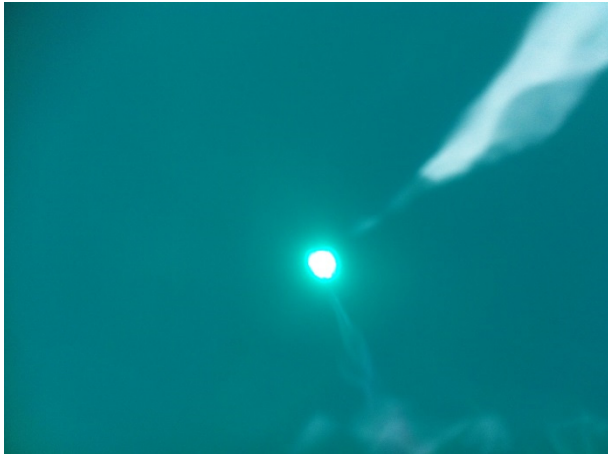


CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL EBRO

2017

ESTABLECIMIENTO DE UNA METODOLOGÍA PARA EL SEGUIMIENTO DEL POTENCIAL ECOLÓGICO VS. ESTADO TRÓFICO DE LOS EMBALSES DE LA CUENCA DEL EBRO

MEMORIA



ÁREA DE CALIDAD DE AGUAS
CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO





ESTABLECIMIENTO DE UNA METODOLOGÍA PARA EL SEGUIMIENTO DEL POTENCIAL ECOLÓGICO VS. ESTADO TRÓFICO DE LOS EMBALSES DE LA CUENCA DEL EBRO

PROMOTOR:

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO



DIRECCIÓN DEL PROYECTO:

Vicente Sancho Tello Valls y María José Rodríguez Pérez

EMPRESA CONSULTORA:

Instituto Cavanilles de Biodiversidad y Biología Evolutiva de la Universidad de Valencia Estudi General

EQUIPO DE TRABAJO:

Área de Limnología, dirigida por Dr. Eduardo Vicente Pedrós, Catedrático de Ecología. Director del Estudio.

PRESUPUESTO DE LA ADJUDICACIÓN:

89.000,00 €

CONTENIDO:

MEMORIA DEL INFORME

AÑO DE EJECUCIÓN:

2017

FECHA ENTREGA:

DICIEMBRE 2017



EQUIPO DE TRABAJO

Grupo de Investigación de Limnología, dirigido por Dr. Eduardo Vicente Pedrós, Catedrático de Ecología. Director del Estudio.

Juan Miguel Soria (Profesor Doctor. Adjunto a Dirección. Campo y laboratorio)

Javier Soria (Investigador doctor. Campo y gabinete)

María Dolores Sendra (Investigadora doctora. Campo y determinación y recuento de fitoplancton)

Olga Kramer (Técnico de laboratorio)

Javier Pérez Moreno (Máster en Biodiversidad. Laboratorio)

Nuria Hernández Sáez (Graduada en Biología. Laboratorio)

Teresa Alfonso (Doctora en Biología. Determinación y recuento de zooplancton)

María Sahuquillo (Doctora en Biología. Determinación y recuento de zooplancton)

Keve Kiss (Academia Húngara de Ciencias. Validación taxonomía del fitoplancton)

REFERENCIA FOTOS PORTADA:

Superior izquierda: Vista de los mallos de Vadiello desde el embalse de Vadiello.

Superior derecha: Vista del pueblo de Eugui desde la presa del embalse.

Inferior izquierda: Disco de Secchi en el embalse de Llauset.

Inferior derecha: Vista del embalse de Cueva Foradada desde la cola.

CITA DEL DOCUMENTO: Confederación Hidrográfica del Ebro (2017). Establecimiento de una metodología para el seguimiento del potencial ecológico vs. estado trófico de los embalses de la cuenca del Ebro. 212 págs. más anejos. Disponible en PDF en la web: <http://www.chebro.es>

El presente informe pertenece al Dominio Público en cuanto a los Derechos Patrimoniales recogidos por el Convenio de Berna. Sin embargo, se reconocen los Derechos de los Autores y de la Confederación Hidrográfica del Ebro a preservar la integridad del mismo, las alteraciones o la realización de derivados sin la preceptiva autorización administrativa con fines comerciales, o la cita de la fuente original en cuanto a la infracción por plagio o colusión. A los efectos prevenidos, las autorizaciones para uso no científico del contenido deberán solicitarse a la Confederación Hidrográfica del Ebro.



ESTABLECIMIENTO DE UNA METODOLOGÍA PARA EL SEGUIMIENTO DEL POTENCIAL ECOLÓGICO VS. ESTADO TRÓFICO DE LOS EMBALSES DE LA CUENCA DEL EBRO

El informe presenta los resultados del estudio de embalses de la cuenca del Ebro para la campaña del año 2017. Su objetivo principal es la clasificación del *potencial ecológico* comparado con el estado trófico de las masas de agua consideradas, en cumplimiento de la DMA. Para ello, se muestrearon 35 embalses durante el verano de 2017 de los que cinco también se visitaron en otoño. Los indicadores utilizados fueron tanto fisicoquímicos (oxígeno, nutrientes, transparencia, temperatura, conductividad, turbidez, etc.), como biológicos (concentración de clorofila, fitoplancton y zooplancton). Se recopiló además información acerca de las características hidrológicas de los embalses como la evolución del volumen almacenado y salidas en el año hidrológico, para calcular el tiempo de residencia hidráulica. Se presenta primero una caracterización hidromorfológica, fisicoquímica y biológica del conjunto de masas de agua, analizando los resultados según la tipología de embalses descrita en la Instrucción de Planificación Hidrológica y el Real Decreto 817/2015. Se presentan los datos o tendencias más relevantes para cada una de las variables consideradas. Se incluye una descripción de las comunidades planctónicas y su relación con las variables ambientales utilizando un análisis estadístico multivariante. El informe muestra la clasificación del estado trófico de los embalses utilizando métricas convencionales (fósforo total, transparencia, clorofila y densidad de algas), analizando el comportamiento de cada una de estas variables y su influencia en el resultado final.

ESTABLISHMENT OF A METHODOLOGY FOR THE MONITORING OF THE ECOLOGICAL POTENTIAL VS. TROPHIC STATUS OF THE EBRO BASIN RESERVOIRS

The report presents the results of the study of reservoirs in the Ebro basin for the 2017 campaign. Its main objective is the classification of the ecological potential of water bodies versus classical trophic state considered in compliance with the WFD. To this end, 35 reservoirs were sampled during the summer of 2017 where five in autumn also. The indicators used were both physicochemical (oxygen, nutrients, transparency, temperature, conductivity, turbidity, etc.), and biological (chlorophyll concentration, phytoplankton and zooplankton). Information on the hydrological characteristics of the reservoirs and the evolution of the volume stored and output in the hydrological year was also collected, to calculate the hydraulic residence time. Characterization of the water body is presented in hydromorphological, physicochemical and biological basis; and the results are analyzed by type of reservoirs described in Instruction-Order Water Planning and Decret 817/2015. In this report, we present relevant data or trends to each of the variables considered. A description of planktonic communities and their relationship with environmental variables using a multivariate statistical approach is also performed. The report shows the classification of trophic status of reservoirs using conventional metrics (total phosphorus, transparency, chlorophyll and algal density), analyzing the behavior of each of these variables and their influence on the final result.





ÍNDICE DOCUMENTO MEMORIA

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. ORGANIZACIÓN DEL ESTUDIO	2
2. ASPECTOS METODOLÓGICOS	3
2.1. EMBALSES ESTUDIADOS. DESIGNACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO.....	3
2.2. VARIABLES CONSIDERADAS.	7
2.3. TRABAJOS DE CAMPO.....	14
2.4. ANÁLISIS EN LABORATORIO	19
2.5. SISTEMA DE PRESENTACIÓN GRÁFICA DE RESULTADOS	23
3. CLASIFICACIÓN DE LOS EMBALSES.....	24
4. CARACTERÍSTICAS HIDROMORFOLÓGICAS, FISICOQUÍMICAS Y BIOLÓGICAS	29
4.1. CARACTERÍSTICAS HIDROMORFOLÓGICAS	29
4.2. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS	37
4.3. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS.....	82
4.4. ANÁLISIS MULTIVARIANTE	106
5. ESTADO TRÓFICO	112
5.1. INTRODUCCIÓN.....	112
5.2. ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	112
5.3. CATALOGACIÓN TRÓFICA FINAL.....	117
6. POTENCIAL ECOLÓGICO.....	122
6.1. CONSIDERACIONES PREVIAS	122
6.2. ELEMENTOS Y PARÁMETROS PARA LA DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL ECOLÓGICO	123
6.3. METODOLOGÍAS DE CÁLCULO DEL POTENCIAL ECOLÓGICO:.....	138
6.4. POTENCIAL ECOLÓGICO: RESULTADOS.....	147
7. RESUMEN – CONCLUSIONES	161
8. PROPUESTA DE MEDIDAS CORRECTORAS	170
9. REFERENCIAS	176
10. ANEXO 1: TABLAS DE DATOS	181
11. ANEXO 2: MATRIZ DE CORRELACIONES ENTRE LAS VARIABLES ESTUDIADAS, INDICANDO SU NIVEL DE SIGNIFICACIÓN	209



ÍNDICE DE ANEJOS

Anejo 1. TABLAS DE DATOS.....	181
Anejo 2. MATRIZ DE CORRELACIÓN MULTIVARIANTE.....	209

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica de los embalses muestreados en 2017. Códigos según la Tabla 1.	6
Figura 2. Localización geográfica de los embalses estudiados en 2017 indicando su tipología.....	26
Figura 3. Altitud (metros sobre el nivel del mar) para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Tipos: 7: calcáreo / húmedo / cabecera / frío; 9: calcáreo / húmedo / red principal; 10: calcáreo / no húmedo / cabecera; 11: calcáreo / no húmedo / red principal; 12: calcáreo / no húmedo/ eje parte baja; 13: dimíctico / húmedo / alta montaña. La columna coloreada representa el intervalo p25-p75, el segmento interior negro es la mediana, el segmento coloreado es el promedio de los datos; los segmentos verticales representan el rango de los datos (sin contar valores atípicos) y los círculos coloreados son los valores extremos.....	28
Figura 4. Distribución de la capacidad (hm ³) de los embalses estudiados en 2017.....	29
Figura 5. Superficie total (ha) de los embalses estudiados en 2017.....	30
Figura 6. Profundidad máxima (m) de los embalses estudiados en 2017.....	31
Figura 7. Extensión de la cuenca vertiente (km ²) de los embalses estudiados en 2017.....	32
Figura 8. Tiempo de renovación de los embalses estudiados en 2017.....	33
Figura 9. Hidroperiodo de los embalses estudiados en 2017.....	36
Figura 10. Profundidad de visión del Disco de Secchi (m) y de la Zona Fóptica medida por PAR en los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 7.....	37
Figura 11. Conductividad media de la Zona Fóptica de los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 7.....	38
Figura 12. Profundidad de visión del Disco de Secchi (m) y de la Zona Fóptica medida por PAR en los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 9.....	39
Figura 13. Conductividad media de la Zona Fóptica de los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 9.....	40
Figura 14. Profundidad de visión del Disco de Secchi (m) y de la Zona Fóptica medida por PAR en los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 10.....	41
Figura 15. Conductividad media de la Zona Fóptica de los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 10.....	42
Figura 16. Profundidad de visión del Disco de Secchi (m) y de la Zona Fóptica medida por PAR en los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 11.....	43
Figura 17. Conductividad media de la Zona Fóptica de los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 11.....	44
Figura 18. Profundidad de visión del Disco de Secchi (m) y de la Zona Fóptica medida por PAR en los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 12.....	45
Figura 19. Conductividad media de la Zona Fóptica de los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al	



tipo 12.....	46
Figura 20. Transparencia (DS) para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Tipos: 7: calcáreo / húmedo / cabecera / frío; 9: calcáreo / húmedo / red principal; 10: calcáreo / no húmedo / cabecera; 11: calcáreo / no húmedo / red principal; 12: calcáreo / no húmedo/ eje parte baja; 13: húmedo / alta montaña. La columna coloreada representa el intervalo p25-p75, el segmento interior negro es la mediana, el segmento coloreado es el promedio de los datos; los segmentos verticales representan el rango de los datos (sin contar valores atípicos) y los círculos coloreados son los valores extremos.....	47
Figura 21. Valores de temperatura (media en la zona fótica) para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 20. ...	48
Figura 22. Regresión lineal de la temperatura (media zona fótica) frente a la altitud (en la presa).	49
Figura 23. Perfiles de temperatura para los embalses de Ciurana (izquierda) e Irbia (derecha) en 2017.	49
Figura 24. Valores de pH (media de la zona fótica) para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 20.	50
Figura 25. Perfiles verticales de oxígeno, temperatura, Clorofila a y pH para los embalses de El Val (arriba) y Santa Ana (abajo), en la campaña de 2017.	51
Figura 26. Valores de conductividad media (zona fótica) para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 20. ...	52
Figura 27. Perfiles de conductividad, temperatura, Clorofila a y oxígeno para los embalses de Alloz en la parte superior, y Rialb en la parte inferior, durante la campaña de 2017.	54
Figura 28. Valores de alcalinidad para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 20.	55
Figura 29. Valores de turbidez (UAF) para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 20.	56
Figura 30. Relación entre la turbidez en la zona fótica (UAF) y la transparencia (disco de Secchi (m)). Se indica la curva y la ecuación de regresión, así como el valor de R ²	57
Figura 31. Estimaciones de la calidad de los embalses según el grado de oxigenación en 2017.	60
Figura 32. Concentraciones de oxígeno disuelto hipolimnético o de la columna para los diferentes tipos de embalses del ESTUDIO. Tipología de embalses: 7: calcáreo / húmedo / cabecera / frío; 9: calcáreo / húmedo / red principal; 10: calcáreo / no húmedo / cabecera; 11: calcáreo / no húmedo / red principal; 12: calcáreo / no húmedo/ eje parte baja; 13: húmedo / alta montaña. La columna coloreada representa el intervalo p25-p75, el segmento interior negro es la mediana, el segmento coloreado es el promedio de los datos; los segmentos verticales representan el rango de los datos (sin contar valores atípicos) y los círculos coloreados son los valores extremos.	61
Figura 33. Valores de Fósforo total y soluble en la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 7.	63
Figura 34. Valores de N Total indicando Nitrógeno Inorgánico Oxidado (NIO), Amonio y N orgánico en la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 7.	64
Figura 35. Valores de Fósforo total y soluble en la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 9.	65
Figura 36. Valores de N Total indicando Nitrógeno Inorgánico Oxidado (NIO), Amonio y N orgánico en la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 9.	66
Figura 37. Valores de Fósforo total y soluble en la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 10.	67
Figura 38. Valores de N Total indicando Nitrógeno Inorgánico Oxidado (NIO), Amonio y N orgánico en la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 10.	68
Figura 39. Valores de Fósforo total y soluble en la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 11.	69
Figura 40. Valores de N Total indicando Nitrógeno Inorgánico Oxidado (NIO), Amonio y N orgánico en la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 11.	70
Figura 41. Valores de Fósforo soluble y total en la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 12.	71
Figura 42. Valores de N Total indicando Nitrógeno Inorgánico Oxidado (NIO), Amonio y N orgánico en la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 12.	72



Figura 43. Valores de N Total en la Zona Fótica para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Tipos: 7: calcáreo / húmedo / cabecera / frío; 9: calcáreo / húmedo / red principal; 10: calcáreo / no húmedo / cabecera; 11: calcáreo / no húmedo / red principal; 12: calcáreo / no húmedo/ eje parte baja; 13: húmedo / alta montaña. La columna coloreada representa el intervalo p25-p75, el segmento interior negro es la mediana, el segmento coloreado es el promedio de los datos; los segmentos verticales representan el rango de los datos (sin contar valores atípicos) y los círculos coloreados son los valores extremos.	75
Figura 44. Valores de Nitrógeno Inorgánico Oxidado (NIO) en la Zona Fótica para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 43.....	76
Figura 45. Valores de Amonio en la Zona Fótica para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 43.	77
Figura 46. Valores de Fósforo Total en la Zona Fótica para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 43. ...	78
Figura 47. Valores de Fósforo Soluble en la Zona Fótica para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 43. ...	79
Figura 48. Valores de Silicato en la Zona Fótica para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 43.	81
Figura 49. Riqueza de especies de fitoplancton para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Tipos: 7: calcáreo / húmedo / cabecera / frío; 9: calcáreo / húmedo / red principal; 10: calcáreo / no húmedo / cabecera; 11: calcáreo / no húmedo / red principal; 12: calcáreo / no húmedo/ eje parte baja; 13: húmedo / alta montaña. La columna coloreada representa el intervalo p25-p75, el segmento interior negro es la mediana, el segmento coloreado es el promedio de los datos; los segmentos verticales representan el rango de los datos (sin contar valores atípicos) y los círculos coloreados son los valores extremos.	83
Figura 50. Densidad celular del fitoplancton para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 49.	84
Figura 51. Biovolumen del fitoplancton para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 49.	85
Figura 52. Diversidad del fitoplancton según el índice de Shannon-Wiener para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 49.....	86
Figura 53. Concentración de clorofila a para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 49.	87
Figura 54. Riqueza de especies para cada grupo fitoplanctónico para los diferentes embalses del tipo 7 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.	88
Figura 55. Riqueza de especies para cada grupo fitoplanctónico para los diferentes embalses del tipo 9 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.	88
Figura 56. Riqueza de especies para cada grupo fitoplanctónico para los diferentes embalses del tipo 10 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.	89
Figura 57. Riqueza de especies para cada grupo fitoplanctónico para los diferentes embalses del tipo 11 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.	89
Figura 58. Riqueza de especies para cada grupo fitoplanctónico para los diferentes embalses del tipo 12 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.	90
Figura 59. Riqueza de especies para cada grupo fitoplanctónico para el embalse del tipo 13 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.	90
Figura 60. Densidad celular (en células por mililitro) de los grupos de algas fitoplanctónicas en los embalses del ESTUDIO. Abreviaturas de los embalses según su nombre.	91
Figura 61. Comparativa de la densidad celular (en células por mililitro) de los grupos de algas fitoplanctónicas en los embalses del ESTUDIO muestreados en dos ocasiones. Abreviaturas de los embalses según su nombre, 1=principio de verano y 2=final de verano.....	92
Figura 62. Biovolumen del fitoplancton (en mm ³ por litro) de los grupos de algas fitoplanctónicas en los embalses del ESTUDIO de. Abreviaturas de los embalses según su nombre.	93
Figura 63. Comparativa del biovolumen (en mm ³ por litro) de los grupos de algas fitoplanctónicas en los embalses del ESTUDIO muestreados en dos ocasiones. Abreviaturas de los embalses según	



su nombre, 1=principio de verano y 2=final de verano.....	94
Figura 64. Porcentaje de Cianobacterias respecto a la densidad total del fitoplancton estimado según el Protocolo de análisis y cálculo de métricas de fitoplancton en lagos y embalses (MAGRAMA, 2015), para los diferentes embalses del ESTUDIO. Leyenda de los embalses ordenados según su tipo y después por su nombre.....	95
Figura 65. Riqueza de especies de zooplancton para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Tipos: 7: calcáreo / húmedo / cabecera / frío; 9: calcáreo / húmedo / red principal; 10: calcáreo / no húmedo / cabecera; 11: calcáreo / no húmedo / red principal; 12: calcáreo / no húmedo/ eje parte baja; 13: húmedo / alta montaña. La columna coloreada representa el intervalo p25-p75, el segmento interior negro es la mediana, el segmento coloreado es el promedio de los datos; los segmentos verticales representan el rango de los datos (sin contar valores atípicos) y los círculos coloreados son los valores extremos.....	97
Figura 66. Densidad celular del zooplancton para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 63.	98
Figura 67. Biomasa del zooplancton para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 63.	99
Figura 68. Diversidad del zooplancton según el índice de Shannon-Wiener para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 63.....	100
Figura 69. Densidad del zooplancton para cada grupo zooplanctónico en los distintos embalses del tipo 7 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.	101
Figura 70. Densidad del zooplancton para cada grupo zooplanctónico en los distintos embalses del tipo 9 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.	101
Figura 71. Densidad del zooplancton para cada grupo zooplanctónico en los distintos embalses del tipo 10 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.	102
Figura 72. Densidad del zooplancton para cada grupo zooplanctónico en los distintos embalses del tipo 11 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.	102
Figura 73. Densidad del zooplancton para cada grupo zooplanctónico en los distintos embalses del tipo 12 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.	103
Figura 74. Densidad del zooplancton para cada grupo zooplanctónico para el embalse del tipo 13 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.	103
Figura 75. Densidad del zooplancton para cada grupo zooplanctónico en los embalses del ESTUDIO muestreados en dos ocasiones. Abreviaturas de los embalses según su nombre, 1=principio de verano y 2=final de verano.....	104
Figura 76. Representación de la posición de las variables estudiadas en los embalses en 2017 frente a los ejes principales 1 y 2 del análisis multivariante PCA.	106
Figura 77. Representación de la posición de las variables estudiadas en los embalses en 2017 frente a los ejes principales 1 y 3 del análisis multivariante PCA.	107
Figura 78. Agrupación de las distancias euclídeas entre los embalses según las variables estudiadas en ellos en 2017 en base al análisis multivariante PCA.	108
Figura 79. Representación, en la gráfica superior, de la posición de los embalses estudiados en 2017 en el espacio definido por los ejes 1 y 2 del análisis multivariante PCA de las variables consideradas. En la gráfica inferior se ha posicionado además el momento de cada una de las variables representado por el vector que señala en su extremo su posición en los ejes.....	109
Figura 80. Representación, en la parte superior, de la posición de los embalses estudiados en 2017 en el espacio definidos por los ejes 1 y 3 del análisis multivariante PCA de las variables consideradas. En la parte inferior se ha posicionado además el momento de cada una de las variables representado por el vector que señala en su extremo su posición en los ejes.....	110
Figura 81. Clasificación trófica de los embalses mediante las diferentes variables y el estado trófico global final.	118
Figura 82. Clasificación de los embalses según su Estado Trófico en 2017.....	119
Figura 83. Aproximación experimental. Diagrama de clasificación del potencial ecológico provisional de acuerdo con la combinación de métricas y elementos biológicos. Una vez obtenida la clasificación provisional, esta se verá modificada o no atendiendo a los resultados del indicador fisicoquímico. *EQR: siglas de Índice de Calidad Ecológica.	139
Figura 84. Diagrama de clasificación del potencial ecológico final de acuerdo con las recomendaciones	



de la UE CIS Working Group 2A, 2003) y los nuevos límites adaptados a lo establecido en el RD 817/2015. IPE: Índice de Potencial Ecológico. 141

Figura 85. Evaluación de la calidad en embalses mediante los parámetros fisicoquímicos. 147

Figura 86. Evaluación de la calidad mediante el indicador fisicoquímico. Las tres clases establecidas son: 148

Figura 87. Evaluación de la calidad mediante los parámetros del fitoplancton. 150

Figura 88. Evaluación de calidad mediante el parámetro de zooplancton ZRTI. 151

Figura 89. Proporción de clases de potencial ecológico evaluadas mediante el indicador biológico y mediante el *IPE*, tras aplicar los umbrales del indicador fisicoquímico, según el esquema de la figura 85. 152

Figura 90. Mapa de clasificación del Potencial Ecológico (*PEexp*) de los embalses en 2017. 154

Figura 91. Clasificación del potencial ecológico de los embalses según el *PEexp* por tipos de embalse. 155

Figura 92. Clasificación del potencial ecológico según los parámetros de la aproximación normativa. . 157

Figura 93. Clasificación del potencial ecológico final según la aproximación normativa *PEnorm* y la aproximación experimental, *PEexp*. (Para ver las metodologías de cálculo, ir a la sección 6.3 a y b). 158

Figura 94. Mapa de clasificación del Potencial Ecológico (*PEnorm*) de los embalses en 2017. 159

Figura 95. Mapa de clasificación del Estado Trófico y del Potencial Ecológico (*PEexp* y *PEnorm*) de los embalses en 2017. 160



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Embalses seleccionados para el muestreo de 2017.....	4
Tabla 2. Parámetros químicos, volumen muestra, conservación y tiempo máximo hasta el análisis.	17
Tabla 3. Parámetros, métodos analíticos y límites de detección (LD) y cuantificación (LC).	20
Tabla 4. Esquema de clasificación de los embalses españoles.	23
Tabla 5. Clasificación de embalses estudiados en el año 2017 según la Orden ARM/2656/2008.	24
Tabla 6. Representación de las distintas categorías de embalses.	26
Tabla 7. Principales características hidro-morfométricas de los embalses.	34
Tabla 8. Condiciones de oxigenación en la columna de agua y clases de calidad.	58
Tabla 9. Concentración de nutrientes en los embalses estudiados en 2017.....	61
Tabla 10. Número de especies encontradas en 2017 por grupo fitoplanctónico.....	81
Tabla 11. Proporción entre grupos del zooplancton en la muestra cuantitativa y en la cualitativa mediante red.	95
Tabla 12. Abundancia de <i>Dreissena polymorpha</i> en los embalses estudiados en 2017.....	104
Tabla 13. Niveles de calidad según la concentración de fósforo total.	112
Tabla 14. Niveles de calidad según la clorofila <i>a</i> y la densidad algal del fitoplancton.....	113
Tabla 15. Niveles de calidad según la transparencia.....	115
Tabla 16. Resumen de los parámetros indicadores de estado trófico.....	116
Tabla 17. Valor numérico asignado a cada clase de estado trófico.....	116
Tabla 18. Diagnóstico del estado trófico en 2017.	119
Tabla 19. Parámetros candidatos para la determinación del potencial ecológico.	124
Tabla 20. Clases de potencial ecológico según la densidad algal del fitoplancton.	125
Tabla 21. Clases de potencial ecológico según el biovolumen algal del fitoplancton.....	126
Tabla 22. Clases de potencial ecológico según la concentración de clorofila <i>a</i>	126
Tabla 23. Clases de potencial ecológico según el índice <i>Assemblage Index Q</i>	127
Tabla 24. Clases de potencial ecológico según el índice PTI.....	128
Tabla 25. Clases de potencial ecológico según el índice TI.	128
Tabla 26. Clases de potencial ecológico según el índice PRTI.	129
Tabla 27. Clases de potencial ecológico según el índice ZRTI.	130
Tabla 28. Clases de potencial ecológico según el RCE del biovolumen algal del fitoplancton.	131
Tabla 29. Clases de potencial ecológico según el RCE de la concentración de clorofila <i>a</i>	132
Tabla 30. Clases de potencial ecológico según el RCE del Índice de Grupos Algales (IGA).	133
Tabla 31. Clases de potencial ecológico según el RCE de la densidad relativa de cianobacterias.....	133
Tabla 32. Clases de potencial ecológico según la profundidad de visión del Disco de Secchi.....	134
Tabla 33. Clases de potencial ecológico según la concentración de oxígeno disuelto en el hipolimnion o en toda la columna de agua, cuando el embalse no está estratificado.....	135
Tabla 34. Clases de potencial ecológico según la concentración de fósforo total.....	136
Tabla 35. Parámetros y límites de clase para los diferentes indicadores considerados.	139
Tabla 36. Ejemplo teórico de aplicación de la metodología.....	139
Tabla 37. Combinación de los indicadores para el cálculo del Potencial Ecológico.....	141
Tabla 38. Ratios de calidad según el índice de potencial ecológico normativo <i>IPEnorm</i>	144



Tabla 39. Valores de referencia propios del tipo (VR_t) y límites de cambio de clase de potencial ecológico (B ⁺ /M, Bueno o superior-Moderado; M/D, Moderado-Deficiente; D/M, Deficiente-Malo) de los indicadores de los elementos de calidad de embalses (RD 817/2015). Se han incluido sólo los tipos de embalses presentes en el ESTUDIO.....	145
Tabla 40. Valor del indicador fisicoquímico a partir de la calidad otorgada por las variables consideradas.....	148
Tabla 41. Establecimiento del potencial ecológico (aproximación experimental) (Clases: Bueno o superior, Moderado, Deficiente, Malo).....	152
Tabla 42. Resultado de la aplicación de las condiciones de referencia al potencial ecológico según la “aproximación normativa”. Se incluyen las evaluaciones de potencial de las cuatro métricas del fitoplancton y el resultado de la evaluación biológica final (PE-BIO), el de la evaluación fisicoquímica (IND-FQ) y en la última columna aparece el potencial ecológico final o PE_{norm}	155



1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Los embalses de la cuenca del Ebro vienen siendo estudiados, desde el punto de vista biológico, de forma constante desde la década de los 90 (CHE 1992, 1996, 2002, 2003, y desde 2006 hasta el presente 2017 ininterrumpidamente).

En octubre de 2000 se aprueba la Directiva 2000/60/CE, conocida como Directiva Marco del Agua, en lo sucesivo DMA. Dicha Directiva establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Tiene por objetivo principal alcanzar el buen estado de las masas de agua, protegiéndolas y evitando su deterioro. En este sentido, se recoge la necesidad de llevar a cabo diversas tareas relacionadas con la planificación y gestión de las masas de agua existentes en el territorio comunitario.

Tras su entrada en vigor, los Estados Miembros de la UE tienen una serie de obligaciones que cumplir en determinados y próximos plazos temporales.

A este respecto, la Confederación Hidrográfica del Ebro (en adelante CHE), a través del Área de Calidad de Aguas de la Comisaría de Aguas, acometió durante los años anteriores, el estudio titulado “Diseño y explotación de la Red de control biológico en ríos y embalses en aplicación de la Directiva Marco del Agua (DMA) en la cuenca del Ebro”, que tuvo continuidad en el año 2014 con los trabajos del estudio “Explotación de la Red de seguimiento en Embalses en aplicación de la Directiva Marco del Agua en la Cuenca del Ebro” y en el año 2015 con los trabajos para el estudio de la “Red de seguimiento de masas de agua muy modificadas”. Desde 2016 hasta el presente, se ha llevado a cabo el estudio cuyo objeto es el **“Establecimiento de una metodología para el seguimiento del potencial ecológico vs. estado trófico”** (en adelante ESTUDIO), con objeto de cumplir con determinadas exigencias derivadas de la implantación de dicha Directiva.

De forma particular, los objetivos establecidos para este ESTUDIO en relación con los embalses se concretan en la determinación del potencial ecológico de cada masa de agua, a partir de la determinación de los principales indicadores fisicoquímicos y biológicos. A este particular el Art. 8 de la DMA establece que los programas para la determinación del potencial ecológico de las masas de agua debían estar operativos en diciembre de 2006.

En el presente ESTUDIO se han tenido en cuenta la *ORDEN ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica*, en adelante IPH, y el Real Decreto 817/2015, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación



del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental, de septiembre de 2015, y que transponen la DMA. En esta normativa, en aplicación de la Directiva a embalses, se incluyen ya algunos valores de referencia y límites de clases para algunos indicadores del elemento de calidad fitoplancton en ciertos tipos de embalses.

Estas y otras cuestiones, que se han considerado para la realización del presente ESTUDIO, están definidas en la IPH antes citada, en el apartado 5.1. *Aguas superficiales*.

1.2. Organización del ESTUDIO

Dada la extensión de las actividades que forman parte del ESTUDIO, la presentación de los resultados se ha organizado en diferentes documentos, según la siguiente disposición:

- Documento “Informe de trabajos de Campo”. Se recoge los datos de accesibilidad de cada embalse, fechas de toma de muestras y un resumen de los datos de campo más significativos de cada uno de ellos.
- Documento “Memoria”. Constituye el presente documento, en donde se abordan los resultados obtenidos de las caracterizaciones realizadas en los embalses estudiados en 2017. Asimismo, se realizan comparativas de los resultados del comportamiento de los indicadores biológicos y fisicoquímicos, con el objeto de obtener tanto la clasificación del estado trófico, situación elemental para conocer el estado general de las aguas embalsadas, como el potencial ecológico, objetivo cuyo carácter es fundamental dentro del marco del presente ESTUDIO. Este documento se elabora con los resultados de las muestras tomadas en verano y con el promedio de las dos muestras para los embalses muestreados dos veces.
- Documentos o informes individuales de embalses: por cada uno de los embalses estudiados y muestreados en 2017, se presenta un documento donde se pueden consultar, de forma individual, los resultados obtenidos para cada masa de agua. Se incluye su reportaje fotográfico. En aquellos embalses que se ha tomado muestras en dos ocasiones se incluye la comparativa entre ambos muestreos.
- Base de datos “Labexter” con todos los parámetros recopilados y exigidos en el *Manual de Usuario Labexter Biológico (Versión 28 de febrero de 2017)*.

Toda la documentación generada se presenta además en soporte informático, con una estructura de directorios coincidente con los documentos presentados.



2. ASPECTOS METODOLÓGICOS

2.1. *Embalses estudiados. Designación de las estaciones de muestreo*

En la tabla 1 se recoge la relación de los 35 embalses seleccionados durante el año 2017, así como su código de masa de agua superficial (MAS), provincia, río y fecha en la que se realizó la visita y el muestreo.

Dentro de cada embalse se ha establecido una única estación de muestreo representativa en la zona de la presa, correspondiente a la banda de máxima profundidad y a una distancia de la presa variable, normalmente comprendida entre 100 y 300 m, para evitar posibles perturbaciones.

La nomenclatura utilizada para la identificación de las estaciones de muestreo y de las muestras recogidas se ha ajustado a tres letras que, a modo de código, han sido específicas para cada embalse.

En todos los embalses estudiados se completó una campaña de muestreo durante el verano del año 2017, desde principios de junio hasta principios de agosto (ver fechas en tabla 1). Adicionalmente, en cinco embalses se realizó otra muestra entrado septiembre.

Tabla 1. Embalses seleccionados para el muestreo de 2017.

CÓDIGO MAS	CÓDIGO PTO. MUES.	NOMBRE DEL EMBALSE	CODIGO	FECHA MUESTREO	PROVINCIA	RIO	PROPIETARIO / OBSERVACIONES
1	E4001	Embalse del Ebro	EBR	26/06/2017 22/09/2017	Burgos-Cantabria	Ebro	C.H.E.
2	E4002	Embalse de Urrúnuga	URR	24/07/2017	Álava	Santa Engracia y Urquiola	IBERDROLA
4	E4004	Embalse de Irabia	IRA	18/07/2017	Navarra	Irati	E.H.N.
6	E4006	Embalse de Eugui	EUG	19/07/2017	Navarra	Arga	C.H.E.
22	E4022	Embalse de Sobrón	SOB	25/07/2017 23/09/2017	Álava-Burgos	Ebro	IBERDROLA
27	E4027	Embalse de Alloz	ALL	17/07/2017	Navarra	Salado	C.H.E.
37	E4037	Embalse de Yesa	YES	04/07/2017	Navarra	Aragón	C.H.E.
44	E4044	Embalse de La Peña	PEÑ	04/07/2017	Huesca	Gallego	S.R. DE LA PEÑA
51	E4051	Embalse de Vadiello	VAD	28/06/2017	Huesca	Guatzalema	C.H.E.
53	E4053	Embalse de Oliana	OLI	12/07/2017 13/09/2017	Lérida	Segre	C.H.E.
56	E4056	Embalse de Barasona	BAR	08/08/2017	Huesca	Ésera	C.H.E.
59	E4059	Embalse de Terradets	TER	10/07/2017	Lérida	Noguera-Pallaresa	FECSA
61	E4061	Embalse de Mansilla	MAN	27/06/2017	La Rioja	Najerilla	C.H.E.
62	E4062	Embalse de La Sotonera	SOT	09/08/2017	Huesca	Astón-Sotón	C.H.E.
63	E4063	Embalse de Rialb	RIA	07/08/2017	Lérida	Segre	C.H.E.
65	E4065	Embalse de Camarasa	CAM	07/06/2017	Lérida	Noguera-Pallaresa	FECSA
68	E4068	Embalse de El Val	VAL	13/06/2017 12/09/2017	Zaragoza	Val	C.H.E.
70	E4070	Embalse de Mequinenza	MEQ	01/08/2017	Zaragoza	Ebro	ENHER
71	E4071	Embalse de Mezalocha	MEZ	03/07/2017	Zaragoza	Huerta	S.R. DE MEZALOCHA
73	E4073	Embalse de Ciurana	CIU	06/06/2017	Tarragona	Ciurana	C.H.E.
74	E4074	Embalse de Flix	FLI	01/08/2017	Tarragona	Ebro	ENDESA GENERACIÓN
75	E4075	Embalse de Las Torcas	TOR	19/06/2017	Zaragoza	Huerta	C.H.E.
76	E4076	Embalse de La Tranquera	TRA	26/07/2017	Zaragoza	Piedra	C.H.E.
77	E4077	Embalse de Moneva	MOV	19/06/2017	Zaragoza	Aguas Vivas	C.H.E.
80	E4080	Embalse de Cueva Foradada	CUE	20/06/2017	Teruel	Martín	C.H.E.



CÓDIGO MAS	CÓDIGO PTO. MUES.	NOMBRE DEL EMBALSE	CODIGO	FECHA MUESTREO	PROVINCIA	RIO	PROPIETARIO / OBSERVACIONES
82	E4082	Embalse de Calanda	CAL	31/07/2017	Teruel	Guadalope	C.H.E.
86	E4086	Embalse de Itoiz	ITO	18/07/2017	Navarra	Irati	C.H.E.
87	E4087	Embalse de Lechago	LEC	12/06/2017	Teruel	Pancrudo	C.H.E. / EN CONSTRUCCIÓN
913	E4913	Embalse de Gallipuéñ	GAL	20/06/2017	Teruel	Guadalopillo	C.H.E.
916	E4916	Embalse de Ortigosa	ORT	24/07/2017 21/09/2017	La Rioja	Albercos	C.H.E.
949	E4949	Embalse de Ribarroja	RIB	02/08/2017	Tarragona	Ebro	ENDESA GENERACIÓN
953	E4953	Embalse de Llauset	LLA	11/07/2017	Huesca	Llauset	ENHER
1022	E5022	La Estanca de Alcañiz	EST	31/07/2017	Teruel	Guadalope	C.H.E.
1681	E4681	Embalse de Monteagudo de las Vicarías	MON	21/06/2017	Soria	Nájima	C.H.E.
RIO823	E4823	Embalse de Maidevera	MAE	14/06/2017	Zaragoza	Aranda	C.H.E.

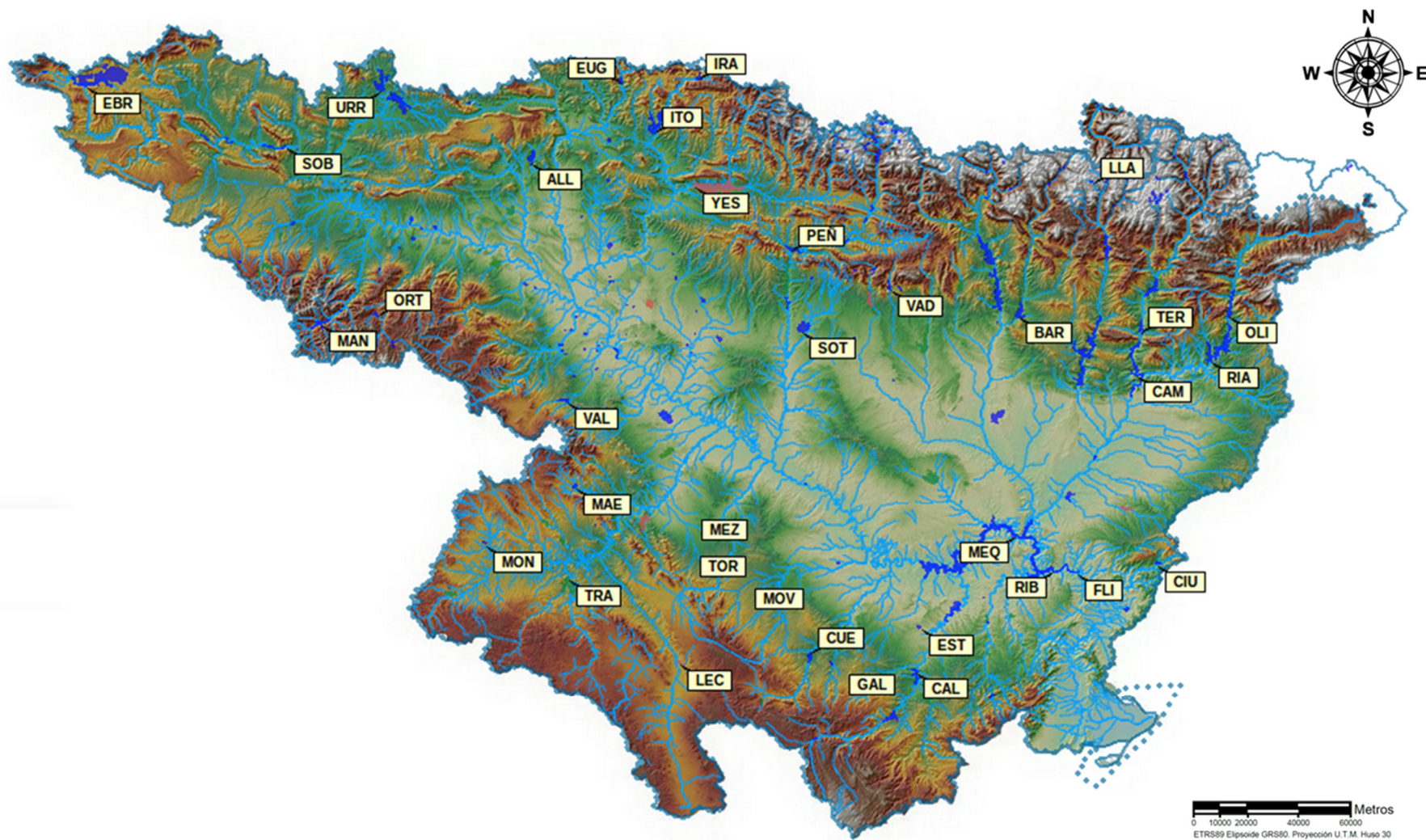


Figura 1. Localización geográfica de los embalses muestreados en 2017. Códigos según la Tabla 1.



2.2. Variables Consideradas.

El conjunto de variables que es necesario tener en cuenta en un estudio como el que nos ocupa, necesarias para la diagnosis del estado trófico y del potencial ecológico, incluye variables físicas, químicas y biológicas. El estudio de estas variables puede ayudar a conocer por qué un embalse se encuentra en un estado trófico determinado y a proponer las medidas oportunas para su gestión sostenible, de acuerdo con los objetivos de la DMA. Además, los embalses integran gran cantidad de información acerca de los procesos que tienen lugar en la cuenca, por lo que el estudio de estas variables nos puede servir de indicador del estado general de la cuenca.

Variables fisicoquímicas:

Los perfiles de **temperatura** determinan el grado de estratificación térmica (debido a las diferencias de densidad) o mezcla del embalse, importante para entender la distribución de las características fisicoquímicas y biológicas en profundidad. Normalmente, en estudios de calidad, un perfil de temperatura en la zona de máxima profundidad es suficiente para conocer el estado de estratificación del embalse. Cuando se presenta la estratificación, la capa donde se produce el descenso brusco de temperatura se denomina **termoclina**. La presencia o no de termoclina se analiza por la metodología ideada por Hutchinson (1957) y descrita por Wetzel (1975), considerando la presencia de termoclina si hay un descenso de más de un grado de temperatura por metro de profundidad, al menos durante tres metros seguidos.

La **transparencia** del agua, determinada mediante el Disco de Secchi (DS), es uno de los indicadores más significativos, fiables y ampliamente utilizados (por su sencillez) para el estudio de la calidad de lagos y embalses. A medida que la concentración de partículas aumenta, la profundidad de transparencia de DS disminuye de forma exponencial. A menudo se usa esta medida como indicadora del grado de proliferación algal (ligado a la eutrofia). Sin embargo, hay que señalar que la transparencia se correlaciona con la concentración de partículas, independientemente de si éstas son algas u otros sólidos en suspensión, por ejemplo, partículas de arcilla.

Asimismo, la transparencia del agua puede estar influida por fenómenos de dispersión de la luz en aguas carbonatadas.

No existe una conversión exacta entre el DS y los perfiles de penetración de la luz, aunque se han propuesto numerosos factores de aproximación para el cálculo de la profundidad de la zona fótica (ZF). En el presente estudio se utiliza la relación acordada a nivel de la Unión Europea:



$$ZF = 2,5 \times DS$$

Sin embargo, con el fin de establecer con exactitud la extinción luminosa en la columna de agua, se ha determinado experimentalmente con un medidor de PAR, de manera que en algunos embalses se ha observado la no coincidencia entre el valor de zona fótica calculado por el disco de Secchi y el obtenido con el medidor de PAR. En todos los embalses se ha considerado como profundidad de la zona fótica la medida proporcionada por el medidor de PAR (al ser la más real), para realizar la toma de la muestra integrada de esta zona, aunque también se proporciona la medida obtenida de la profundidad de visión del disco de Secchi. Cuando el valor de zona fótica es inferior a 6 m, se considera como profundidad para la toma de la muestra integrada la correspondiente a la columna de 6 m. Cuando la profundidad de la masa de agua en el punto de muestreo es inferior a 6 m, se considera como muestra integrada la profundidad de agua existente hasta cerca del fondo.

La **conductividad** de una masa de agua es un indicador de la concentración de sólidos disueltos presentes (TDS). Es una variable rápida de medir por medio de una sonda conductimétrica, que nos proporciona una visión de la mineralización del agua (aunque sin entrar a considerar qué sustancias son las responsables de ella). Se realiza en cada embalse un perfil vertical para conocer la presencia de capas de diferente mineralización de las aguas. Los valores de la misma se expresan en $\mu\text{S}/\text{cm}$ estandarizados a 20 °C (K_{20}). Además, se calcula la salinidad utilizando la constante $K=0,6$ a partir de la conductividad.

La **turbidez** de un cuerpo de agua es un determinante importante de su condición y grado de productividad o estado trófico. La turbidez del agua está causada por los materiales en suspensión o coloidales tales como arcillas, limos, materia orgánica e inorgánica finamente particulada, y organismos planctónicos u otros microorganismos. La turbidez es una expresión de las propiedades ópticas que causan la dispersión y/o absorción de la luz frente a su transmisión sin cambio de dirección a través de una muestra. La correlación de la turbidez con la cantidad de partículas no es simple, ya que está condicionada por el tamaño, forma e índice de refracción de las partículas en suspensión. La importancia de la turbidez en los procesos ecológicos que tienen lugar en los lagos y embalses radica principalmente en sus efectos sobre la penetración de la luz (fuente de energía primaria para el sostenimiento de la vida) en la columna de agua. El perfil vertical de turbidez se ha determinado *in situ* con un turbidímetro de campo y los resultados se han validado posteriormente en el laboratorio utilizando las muestras recolectadas en el perfil vertical del embalse.

Los **sólidos** presentes en el agua afectan al régimen de luz, ya que reducen la penetración luminosa. Estos pertenecen a dos grupos: los sólidos disueltos no filtrables (que no atraviesan



un filtro de 0.45μ de diámetro de poro), denominados también materia en suspensión (MES); y los sólidos filtrables, que atraviesan dicha membrana. Entre los primeros, se separan dos fracciones, los denominados volátiles, que desaparecen al calcinar el residuo no filtrable y representan la materia orgánica; y los fijos, que permanecen tras la calcinación que son las cenizas.

El **pH** es una medida de la acidez (o indirectamente de la basicidad) del sistema, esto es, de la concentración de iones H^+ (acidez) en el sistema. La acidificación de los ecosistemas acuáticos y sus cuencas ha sido un problema ambiental de primer orden durante las últimas décadas, y sus mecanismos y daños causados están suficientemente documentados.

La **alcalinidad o reserva alcalina** (medida en meq/L) es una medida de la concentración de álcalis fuertes, presentes en el agua, ligados a ácidos débiles. Su valor es una indicación de la capacidad tamponadora del sistema. El equilibrio carbonato–bicarbonato–dióxido de carbono es el principal responsable de esta capacidad tamponadora, esto es, de su capacidad de recibir iones H^+ u OH^- sin cambiar el pH. Si se añaden iones H^+ al agua, estos reaccionan con el carbonato (CO_3^{2-}) para dar bicarbonato (HCO_3^-), desapareciendo así del sistema y permaneciendo estable el pH. Lo contrario ocurrirá si se añaden iones OH^- .

En la mayoría de lagos y embalses, el ácido carbónico se enlaza con los metales del grupo alcalino-térreos para formar sales, algunas de ellas insolubles, que forman parte de estos equilibrios. El ion calcio y el equilibrio calcio-ácido carbónico son especialmente importantes en las aguas continentales. Cuanto más calcio haya en el sistema, más ácido carbónico será secuestrado y más iones H^+ u OH^- podremos añadir sin modificar el pH. Los sistemas pobres en calcio están débilmente tamponados y son normalmente ligeramente ácidos. Tasas fotosintéticas elevadas en estos sistemas, pueden elevar el pH hasta 9 al consumir el CO_2 , e incluso hasta 11 si se trata de organismos capaces de utilizar el bicarbonato.

La capacidad tamponadora (o alcalinidad) de un embalse depende de la geología de la cuenca vertiente y de la propia cubeta. Así, los embalses y lagos en cuencas de naturaleza silíceas van a recibir pocos aportes de bicarbonato de calcio y sus aguas estarán, por tanto, pobremente tamponadas. En estos casos, los procesos biológicos pueden provocar cambios diarios de pH muy drásticos.

Otras variables químicas de gran importancia son los **nutrientes** (P total, N total, y las fracciones solubles $NO_3^- + NO_2^-$, NH_4^+ , SRP -fósforo reactivo soluble- y sílice), el **oxígeno disuelto** (OD), así como el **potencial de óxido-reducción**.

Entre estas variables, cobra especial importancia el **P total** (PT). Éste es el elemento limitante de la producción primaria en la mayoría de los casos, y por tanto, su aumento (derivado principalmente de vertidos de aguas residuales, abonos fosfatados o de la industria química) suele ser responsable de procesos de eutrofización que degradan la calidad del embalse. Así, el PT es una de las tres variables utilizadas normalmente en las evaluaciones del estado trófico de embalses y lagos. La deficiencia de utilizar este parámetro como indicador estriba en que a veces no constituye la fracción biodisponible en la zona fótica, que es la que alimenta a las poblaciones algales. Aunque en general mantienen una correlación alta, hay casos en los que esto no es tan claro y tiende entonces a sobreestimar el grado trófico.

La forma química de P disponible directamente para los productores primarios es la de **ortofosfatos, que se encuentran en la fracción inorgánica disuelta (SRP)**. Sus niveles en el medio suelen ser muy bajos porque son rápidamente capturados por los compartimentos celulares, aunque también existe una liberación apreciable al medio desde las células en degradación. El reciclado del SRP, es decir, el tiempo que tarda en hacer todo el ciclo biogeoquímico, se ha estimado entre diez minutos y dos horas, por lo que es importante filtrar y conservar las muestras con prontitud.

El **nitrógeno** se presenta también en muy diversas formas, de las que se han medido en el presente ESTUDIO el amonio, nitratos, nitritos y nitrógeno total. La diferencia fundamental del ciclo de este elemento respecto al del fósforo es que en el caso del N se presentan compuestos con diferente estado redox y además existe una entrada (por difusión gaseosa) desde la atmósfera que a través de la fijación de su forma molecular (N_2) por organismos especializados (como las cianobacterias en el medio acuático) se incorpora desde el reservorio inerte al ciclo funcional. Una limitación en nitrógeno disuelto confiere ventaja a estos organismos fijadores sobre el resto de productores primarios. Como forma biodisponible se utiliza el nitrógeno inorgánico total disuelto (NIT) que incluye **amonio (NH_4^+)**, **nitratos (NO_3^-)** y **nitritos (NO_2^-)**. Esta fracción inorgánica, junto con el nitrógeno orgánico disuelto (NOD) y el particulado (NOP) conforma el nitrógeno total (NT).

El **nitrate** (NO_3^-) puede llegar a ser muy abundante en aguas contaminadas (en el rango de varios mg N/L) mientras que en otros casos las concentraciones están normalmente en el rango de 0,01–1 mg N/L. Muchos lagos y embalses a grandes altitudes son también deficientes en nitrate. En los sistemas de clima templado, las concentraciones de nitrate suelen exhibir patrones estacionales muy marcados, con altas concentraciones durante las épocas de circulación y bajas concentraciones epilimnéticas durante la estratificación. En el hipolimnion



anóxico el nitrato desaparece por los procesos de desnitrificación y es sustituido por el amonio. En aguas no contaminadas, las concentraciones de **amonio** raramente exceden de 0,15 mg N/L. Las bajas concentraciones de amonio no implican necesariamente deficiencias en este nutriente, ya que este ion también es rápidamente procesado en el ecosistema. El **nitrito** por lo general se encuentra en bajas concentraciones al tratarse de un intermediario en los procesos redox de este ciclo.

La **sílice soluble** es fundamental para el desarrollo de las diatomeas u otros organismos que lo incorporan en sus envolturas o estructuras, pero la abundancia de este elemento en las aguas continentales supera generalmente los niveles críticos requeridos (estimados normalmente en torno a 1 mg/L). Únicamente al final de la temporada de crecimiento máximo de las diatomeas -generalmente la primavera-, se suele observar una carencia de este nutriente en la capa fótica, en nuestro caso sólo en uno de los embalses estudiados.

Otra variable de suma importancia es el **oxígeno disuelto** (expresado como OD). El oxígeno disuelto en el agua es el receptor final de electrones en los procesos respiratorios de los organismos acuáticos aerobios, exceptuando por tanto las formas bacterianas anaerobias. Las entradas de oxígeno al sistema se producen a través de su difusión desde la atmósfera y por los procesos fotosintetizadores que canalizan el flujo de electrones desde las moléculas de agua hacia las formas moleculares energéticas (coenzimas reducidas) empleadas en la síntesis de moléculas orgánicas. Este proceso utiliza la energía de la luz y produce oxígeno molecular como subproducto a desechar. Esa dependencia de la radiación lumínica restringe los procesos productores primarios a las capas superficiales iluminadas de la columna de agua, mientras que, por debajo de la profundidad de compensación, dominan los procesos respiratorios y oxidativos. La compartimentación estival de la columna de agua impide la difusión de oxígeno desde las zonas productoras hacia las consumidoras de este elemento y se produce, durante ese periodo, un consumo neto del mismo en las capas profundas, que puede conducir a su disminución hasta llegar al agotamiento. La magnitud del agotamiento hipolimnético del oxígeno disuelto depende, en igualdad de condiciones climatológicas globales, de la cantidad de materiales oxidables (orgánicos e inorgánicos) que fluyan desde las capas superficiales y desde los tributarios y sedimentos. Estos aportes son más altos en las aguas de mayor grado trófico. Por ello, se ha prestado especial atención al comportamiento del oxígeno disuelto en la columna de agua, que permite reconocer el grado de estrés del sistema.

El descenso brusco de oxígeno disuelto en las capas profundas de los embalses –el hipolimnion-, es uno de los principales factores de riesgo que afectan a la calidad del agua embalsada. Al igual que la temperatura y la conductividad, la concentración de oxígeno



disuelto (OD) se determina mediante una sonda multiparamétrica en continuo llegando tan cerca como sea posible al fondo del embalse, para detectar condiciones de agotamiento de oxígeno o *anoxia* en esta zona. A partir de esta variable se calcula el parámetro de la saturación de oxígeno del agua.

Un parámetro poco utilizado hasta ahora para la determinación de la calidad del agua, pero relacionado con el metabolismo de los ecosistemas es la **materia orgánica disuelta cromofórica** (CDOM, por sus siglas en inglés), que juega un papel esencial en varios procesos importantes de las aguas superficiales, la productividad biológica y la penetración de la radiación UVB. Cromofórico es un término para designar que son estructuras moleculares que absorben la luz. El exceso de CDOM podría provocar problemas de reducción de oxígeno por la degradación de la materia orgánica y una absorción de luz en longitudes de onda visible, reduciendo así la cantidad y la calidad de la radiación fotosintéticamente activa disponible. Por todo ello se ve fundamental su utilización como un elemento importante en la gestión de las aguas superficiales.

El origen del CDOM está en la descomposición de la materia orgánica de origen vegetal, en el suelo o en un cuerpo de agua, la mayor parte es por acción microbiana en cuestión de días o semanas, dando como resultado dióxido de carbono y formas inorgánicas de nitrógeno, azufre y fósforo. A lo largo del proceso de descomposición se forma, un grupo complejo de compuestos conocidos como «*substancias húmicas*». A partir de estas *substancias húmicas* se deriva el CDOM en las aguas continentales y marinas (Kirk, 2011), siendo el componente más importante del CDOM (Vähätalo & Wetzel, 2004).

Para conocer su concentración en profundidad y la presencia de capas de acumulación de materia orgánica, se realiza en cada embalse un perfil vertical por medio de un fluorímetro sumergible, contrastado con medidas puntuales en el laboratorio también. Los valores de CDOM se dan en unidades equivalentes de sulfato de quinina (QSE), después de calibrar el sensor con una curva patrón en un rango de 10 a 300 ppb QSE. El resultado de los perfiles de cada embalse se muestran en los informes individuales elaborados para cada embalse.

Variables biológicas:

Las variables biológicas más ampliamente utilizadas son las relativas a las comunidades de **fitoplancton**. También se pueden usar, aunque no de manera general, el zooplancton, los macrófitos, los macroinvertebrados o los peces.

El biovolumen algal es un indicador de respuesta trófica y por lo tanto integra todas las variables causales, de modo que está influido por otros condicionantes ambientales además



de estarlo por los niveles de nutrientes. Se utiliza la variable experimental concentración de clorofila *a* ($\mu\text{g/L}$) en la zona fótica y los parámetros estimadores de la biomasa algal en los índices al uso: densidad celular (n° células/mL) y biovolumen algal (mm^3/mL).

La composición del fitoplancton de un determinado cuerpo de agua es, a menudo, un excelente indicador del estado trófico del mismo (Reynolds, 1998). Por otro lado, se identifican diferentes asociaciones de especies a lo largo del año como consecuencia de las diferencias específicas en las preferencias de luz óptima, temperatura, turbulencia y en el mecanismo de captación de nutrientes (Reynolds, 2006). Gracias a estas características, el estudio de la comunidad algal proporciona información sobre las condiciones ambientales presentes en el medio, utilizando el índice IGA (ACA, 2003a).

Por otro lado, la potencialidad en la producción de toxinas por parte de ciertas especies del fitoplancton acentúa la necesidad de un estudio cualitativo y cuantitativo de estos organismos.

Los grupos en los que se ha descubierto la presencia de toxinas con mayor frecuencia son, fundamentalmente, cianobacterias, haptófitos y dinófitos. Las toxinas pueden ser causa de efectos adversos sobre la salud cuando se producen proliferaciones masivas.

El zooplancton no es mencionado en el Anexo V de la DMA, quizás debido a que las relaciones del **zooplancton** con los procesos de eutrofización no son tan directas y están mucho menos estudiadas que las relativas al fitoplancton. La dificultad de utilizar estos organismos estriba en que sus respuestas a las condiciones ambientales son muy complejas, estando mediadas por las relaciones tróficas del sistema (zooplancton - fitoplancton, zooplancton - zooplancton o zooplancton - ictiofauna, entre otras).

No obstante, se trata sin duda de un componente muy importante de la calidad del ecosistema lenítico, actuando muchas veces como especies clave que provocan cambios entre comunidades o estados del sistema muy diferentes (Moss *et al.*, 2003). Se destaca que las comunidades zooplanctónicas no fueron incluidas en la DMA, aunque como dicha Directiva no impide la inclusión de otras variables, una métrica del zooplancton se ha incluido de forma experimental en el esquema de clasificación.

El **tratamiento estadístico de los datos** se basó en diversas técnicas univariantes y multivariantes, con representaciones gráficas realizadas con Microsoft Excel y el paquete estadístico MVSP.



2.3. Trabajos de campo

En cada uno de los embalses muestreados se fijó una única estación de muestreo en la parte más profunda, a una distancia de 100 a 300 m de la presa, no habiendo este año embalses donde la accesibilidad fuera imposible. La máxima profundidad se determinó mediante transectos con ecosonda, realizados en bandas paralelas a la presa a una distancia superior a 100 m para evitar posibles perturbaciones. Las coordenadas del punto de muestreo y la altitud sobre el nivel del mar de cada embalse se georreferenciaron con la ayuda de un GPS en el punto de muestreo y se ubicaron sobre la cartografía digital del SIGPAC del MAPAMA, utilizando esta imagen como mapa de situación del punto de muestreo.

Asimismo, para facilitar el acceso a la lámina de agua en futuros trabajos, en la misma cartografía se ha indicado, como referencia, el punto de acceso utilizado en esta campaña de muestreo.

El muestreo se desarrolló desde embarcaciones neumáticas provistas de motor fuera-borda eléctrico, previa obtención de los permisos de navegación pertinentes en la CHE. Debido al riesgo de dispersión de la especie invasora *Dreissena polymorpha* (mejillón cebra) en la cuenca del Ebro, las campañas fueron definidas en base a una clasificación de los embalses según si *Dreissena polymorpha* estaba presente, si era probable su presencia o si no estaba presente.

Así, con el fin de no influir en la dispersión accidental de esta especie invasora, se procedió en primer lugar al muestreo de los embalses sin mejillón cebra. Tras estos, se muestrearon los embalses sospechosos de albergar la especie; por último y utilizando una embarcación y motor fuera borda distintos, se muestrearon aquellos embalses con presencia de *D. polymorpha*. Además, los protocolos de limpieza y desinfección de equipos de muestreo, embarcación y motor, se siguieron escrupulosamente en todos y cada uno de los embalses muestreados, independientemente de su clasificación de riesgo.

El protocolo de muestreo que se siguió en cada embalse fue el siguiente:

- Se tomó una única muestra integrada en cada embalse, representativa de la zona fótica (calculada experimentalmente mediante el medidor de PAR o la profundidad de 2,5 veces el disco de Secchi). La obtención de la muestra integrada se llevó a cabo mediante un tubo de plástico transparente de luz interior de 25 mm, con la pared reforzada y lastrado en uno de sus extremos, que integraba toda la columna hídrica correspondiente a la zona fótica y cuyo contenido posteriormente se mezcló en un recipiente de PET. A continuación, de la muestra integrada se tomaron distintas cantidades de agua para el procesado *in situ* (medidas de



comprobación de pH y conductividad, filtración para extracción de pigmentos, recogida de agua filtrada para SRP, Nitrito, Nitrato, Amonio, Silicato) y los análisis en laboratorio de otros parámetros fisicoquímicos (turbidez, sólidos en suspensión, alcalinidad, N total, P total) y biológicos (fitoplancton).

- La muestra cuantitativa de zooplancton se tomó mediante botella hidrográfica tipo *Ruttner* en la zona límite de la zona eufótica, o bien a aquella profundidad en que se apreciaba un descenso acusado de la concentración de oxígeno disuelto (en la mayoría de casos este descenso coincide con el límite de la zona fótica). Es a estas profundidades donde se dan las mayores densidades de zooplancton durante las horas de luz diurna. No se utilizó la muestra integrada para el muestreo de zooplancton dado que este tipo de fauna evita entrar por la boca del tubo de integración.

- Los parámetros fisicoquímicos medidos *in situ* (temperatura, conductividad, pH, oxígeno disuelto, potencial redox, turbidez y determinación fluorimétrica de clorofila y otros no exigidos por la DMA) se midieron de forma continua a lo largo del perfil de profundidad con ayuda de una sonda multiparamétrica. Asimismo, se verificaban los valores con las muestras puntuales y la muestra integrada con un medidor manual.

- Igualmente, para los muestreos cualitativos de fitoplancton y zooplancton se realizaron arrastres verticales con redes de 20 μm (fitoplancton) y 45 μm (zooplancton). Las redes verticales se tomaron desde un metro antes del fondo en el punto de muestreo, para no recoger material del bentos, y llegando a profundidades máximas de 30 metros en los embalses más profundos, anotando en el envase y en el cuaderno de campo la profundidad del muestreo y, por tanto, el número de metros arrastrados.

Asimismo, se tomaron otras muestras puntuales adicionales en todos los embalses estudiados, en función de la profundidad del mismo y de los datos obtenidos de los perfiles verticales medidos *in situ*. De estas muestras se separaron las alícuotas para los análisis de campo y laboratorio como en el procedimiento seguido para la muestra integrada. En general se tomaba una muestra puntual cercana al fondo, una muestra epilimnética, y otras intermedias, en la zona del máximo profundo de oxígeno, de turbidez, de clorofila o de zooplancton, siempre en base a los datos proporcionados por el multiperfilador utilizado, cuyos perfiles se procesaban y estudiaban en la propia embarcación o en la orilla dependiendo de la planificación del muestreo.

De cada muestra de agua, integrada o puntual, se tomaron alícuotas separadas para los siguientes análisis en el laboratorio:



Clorofila a

De la muestra integrada se recoge una botella de 1,5 L, conservada en frío y oscuridad hasta el momento de la filtración. El filtro utilizado es de microfibra de vidrio tipo *Whatman GF/F* (0,45 μm de poro). Después de la filtración, el filtro se deposita sobre un papel absorbente limpio para eliminar el exceso de agua y se introduce en un tubo, herméticamente cerrado y en oscuridad. Éste se conserva en recipiente Dewar con nieve carbónica hasta su llegada al laboratorio, donde se pasa a un congelador a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su análisis.

La extracción de pigmentos se llevó a cabo en el laboratorio. Se añaden 5 ml de solución de acetona al 90 % y dimetilsulfóxido (DMSO) en proporción 1:1 según la metodología descrita por Shoaf y Lium (1976), para favorecer la extracción cuando dominan algas de paredes gruesas, evitando así tener que triturar por sonicación en frío, y se mantiene el tubo de extracción en congelador a $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y en oscuridad absoluta hasta el momento de la determinación espectrofotométrica, que se hace a las 24 horas o como máximo dentro de las 48 horas siguientes. Se acelera la extracción mediante la agitación del filtro dos a tres veces a lo largo de este periodo. Finalizada la extracción de los pigmentos, se elimina el filtro, y se centrifuga la muestra para dejar el extracto sobrenadante completamente transparente. El extracto es muy sensible a la luz por lo que este proceso, así como la lectura espectrofotométrica, se lleva a cabo con la luz de la habitación atenuada, y se mantienen los tubos debidamente protegidos de la luz. Se llena la cubeta del espectrofotómetro y se miden las densidades ópticas del extracto clarificado (éste debe ser completamente transparente) para las longitudes de onda requeridas en las fórmulas de cálculo de Jeffrey y Humphrey (1975) y otras para efectuar correcciones o determinar otros pigmentos o índices. En general se hace un barrido de la absorbancia de la muestra entre las longitudes de onda comprendidas entre 750 (850 en el caso que se sospeche la presencia de bacterias fotosintéticas en hipolimnion anóxico) y 350 nm. El procedimiento está basado en *Standard Methods* 10200 H (APHA, 1998).

Asimismo, el extracto sobrante se conserva a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ para el posterior estudio por cromatografía líquida (HPLC) de sus pigmentos u otros componentes, integrando el área de los picos de las clorofilas y sus derivados de degradación en el cromatograma, como comprobación y complementación de los datos del espectrograma de barrido.



Fitoplancton

De la muestra integrada se recoge una alícuota de 250 mL que se conserva en botella de vidrio topacio, se fija con 2 ml de lugol al 5 %, y se mantiene en un lugar fresco al abrigo de la luz. Esta muestra irá destinada al recuento cuantitativo de fitoplancton.

Por otra parte, el material retenido en la red de fitoplancton de 20 μm , se deposita en un frasco de PET de 125 ml y se conserva adicionando lugol (1 mL). También se añade una pequeña cantidad de formol (1 mL) para contrarrestar la posible evaporación del lugol, asegurando así una conservación óptima del fitoplancton. Las muestras se examinan semanalmente para comprobar su estado de conservación, añadiéndose más lugol en caso necesario (en las muestras con mucha materia orgánica). Estas muestras cualitativas tienen interés para complementar los inventarios obtenidos con las muestras cuantitativas con las especies de mayor tamaño, que suelen ser, junto con algunas otras, las menos abundantes.

Zooplancton

Un volumen de 5,4 L de agua, tomado mediante botella hidrográfica tipo *Ruttner* (2 botellas de 2,7 litros) es filtrado sobre un filtro de *Nytral* de 30 μm de poro. Éste filtrado se conserva en un vial de vidrio de boca ancha con cierre hermético, que contiene agua con formol a una concentración final del 4 %. La profundidad para la recogida de la muestra de zooplancton es determinada *a priori* tratando de incorporar la zona de comienzo del declive de oxígeno, que coincide en general con el final de la zona fótica. Esta suele ser la zona más rica en este tipo de fauna durante el día. El volumen filtrado y la profundidad de recogida de la muestra se indican siempre en el envase colector y en la libreta de campo. Esta muestra sirve para el recuento cuantitativo de zooplancton.

Por otra parte, el material retenido en la red de zooplancton de 45 μm de poro, se deposita en contenedores de plástico de 125 mL y se conserva adicionando formol hasta una concentración final del 4 %. Esta muestra tiene interés para complementar el inventario que se obtiene con la muestra cuantitativa, con las especies de mayor tamaño que suelen ser las menos abundantes y también aquellas que se encuentren en baja proporción.

Parámetros fisicoquímicos

De la muestra integrada se separan distintas alícuotas para los diferentes análisis en laboratorio, tal y como se describe en la tabla 2.

Las muestras se conservaron refrigeradas (en torno a 4 °C) y en ausencia de luz (neveras rígidas) durante su traslado al laboratorio y hasta su análisis. La adición de conservantes

químicos se limitó a las muestras en cuyas determinaciones no interfiriera dicho conservante. Todas las muestras se etiquetaron convenientemente en el momento de la recogida.

Tabla 2. Parámetros químicos, volumen muestra, conservación y tiempo máximo hasta el análisis.

PARÁMETRO	VOLUMEN	FILTRADO	ENVASE	CONSERVANTE	TIEMPO MÁXIMO CONSERVACIÓN
Alcalinidad	50 ml	No	Vidrio	Ninguno	7 días
Turbidez y sólidos	1500 ml	No	PET	Ninguno	3 días
P total	20 ml	No	Vidrio	Ninguno	5 días
N total	20 ml	No	Vidrio	Ninguno	5 días
Amonio	15 ml	Sí	PET	Nitrato mercúrico	5 días
P soluble	15 ml	Sí	PET	Cloroformo	3 días
Silicato	45 ml	Sí	PET	Cloroformo	5 días
Nitrato	125 ml	Sí	Vidrio	Ninguno	3 días
Nitrito	15 ml	Sí	PET	Sulfanilamida	3 días



2.4. Análisis en laboratorio

A) MUESTRAS QUÍMICAS

Alcalinidad Total

La alcalinidad es el exceso de cationes alcalinos fuertes sobre aniones débiles, representados en las aguas continentales por HCO_3^- , CO_3^- , HO^- y, en menor grado, por boratos, silicatos y fosfatos. Para su determinación se hace una valoración por retroceso tras adicionar un exceso medido de ácido, valorando este exceso con sosa hasta el punto de viraje del indicador, en nuestro caso el indicador mixto, según el método de Wattenber (Rodier, 1984). El límite de detección de esta técnica es de 0,1 meq/L.

Turbidez

La turbidez de las muestras integradas se determina en el laboratorio mediante el método de absorción de la luz incidente. Se utilizó como blanco agua destilada filtrada (tipo *milliQ*). La recta de calibración se realizó mediante patrón comercial de formazina de 400 UAF a diferentes diluciones, midiéndose la absorbancia de la muestra a 400 y 580 nm. Posteriormente se restó la absorbancia debida al color de la muestra, una vez filtrada la misma.

Sólidos

Un volumen conocido de muestra se filtra con un filtro de microfibras de vidrio tipo *Whatman 934-AH* (1,5 μm de poro) de peso previamente conocido. El filtro con el residuo se seca a 105 °C hasta peso constante. Así, obtenemos el valor de los sólidos no filtrables o materia en suspensión (MES).

A continuación, se calcina el filtro a 500 ± 50 °C durante dos horas, se deja enfriar y se vuelve a pesar hasta alcanzar el peso constante. El valor obtenido es el de los sólidos fijos y por diferencia con los sólidos no filtrables se pueden conocer los sólidos volátiles (LOI).

Las distintas temperaturas aplicadas en cada caso son las indicadas en el manual de APHA (1992).

Ortofosfato soluble

Los iones fosfato y silicato en medio ácido reaccionan con el molibdato para dar compuestos ácidos (fosfomolibdico, silicomolibdico, etc.) de color amarillo los cuales, por acción de agentes reductores apropiadas, se convierten en compuestos de color azul, que según las condiciones de trabajo se pueden hacer específicos de determinados compuestos,

por ejemplo el fosfato o el silicato. Para la determinación del ortofosfato (fósforo soluble reactivo) se sigue el método de Murphy y Riley dado para la determinación del fósforo soluble (Strickland & Parsons, 1968), todo el material de vidrio se limpia cuidadosamente con sulfúrico y se utiliza únicamente en la determinación del fosfato. El límite de detección del método es de 0,1 µg P/L. Límite de cuantificación es de 0,1 µg P/L.

Fósforo Total

Se procede de la misma manera que para la determinación del ortofosfato soluble, previa digestión de la muestra. Para ello, a 20 ml de muestra sin filtrar se le añaden 0,5 ml de sulfúrico 1:1 y 0,5 g de persulfato sódico. Se agita bien la mezcla y se realiza la digestión en autoclave a 135 °C durante 2 horas. Se deja que atempere y se neutralizan las muestras utilizando fenolftaleína como indicador. Una vez hecho esto, se opera del mismo modo que para el fosfato soluble. Para el P total puede añadirse una parte del sulfúrico si no se va a hacer la digestión de inmediato y luego a la hora de digerir se añade el resto del sulfúrico requerido y el persulfato (Strickland & Parsons, 1968). El límite de detección del método es de 0,2 µg P/L. Límite de cuantificación 0,2 µg P/L.

Amonio

Se basa en una variante del método de Berthelot o del azul de indofenol (Verdow *et al.*, 1978), propuesta por Golterman en 2004 en el cual, en un medio alcalino y en presencia de nitroprusiato de sodio como catalizador de la reacción, el ion amonio se combina con el salicilato para dar el azul de indofenol, que se determina mediante espectrofotometría en un rango de longitudes de onda en torno a 650 nm. El límite de detección del método es de 0,01 mg N/L. Límite de cuantificación 0,01 mg/L.

Nitrógeno inorgánico oxidado (NIO: nitratos+nitritos)

El nitrato se puede reducir de forma cuantitativa a nitrito al hacer pasar la muestra en solución alcalina tamponada (pH=8) por una columna reductora de cadmio cuperizado, estimándose el nitrito resultante espectrofotométricamente por el método de Griess (Golterman *et al.*, 1978). El límite de detección del método se encuentra en 0,0003 mg N/L. El límite de cuantificación fue de 0,01 mg N/L.

Nitrógeno total

El N total es oxidado a nitrato mediante una digestión con persulfato en condiciones alcalinas. Una vez realizada la digestión, se utilizan dos métodos de medida, en función de la concentración que se tenga de N. El método de la segunda derivada tras un barrido en el UV

es menos costoso en tiempo, pero su uso está menos estandarizado (Ferree & Shannon, 2001). Si las concentraciones están por debajo de 0,2 mg N/L se recurre necesariamente al método colorimétrico previa reducción por columna: el nitrato se reduce de forma cuantitativa a nitrito al hacer pasar la muestra en solución alcalina tamponada (pH=8) por una columna reductora de cadmio cuperizado, estimándose el nitrito resultante por espectrofotometría de absorción (Golterman *et al.*, 1978). Con concentraciones mayores cabe optar por uno u otro método. Límite de detección 0,01 mg N/L. El límite de cuantificación fue de 0,01 mg N/L.

Silicato reactivo soluble

El silicato reacciona con el molibdato amónico en medio ácido, dando ácido molibdosilícico, de color amarillo, el cual puede ser reducido a óxido molibdosilícico, cuya coloración azulada resulta proporcional al silicato contenido en la muestra (Rodier, 1984). El ácido oxálico usado como reactivo destruye el ácido molibdofosfórico con lo que se evita la interferencia del ortofosfato. La determinación sigue la linealidad en el rango 0,006-8,4 mg SiO₂/L. El límite de cuantificación del método fue de 0,1 mg SiO₂/L.

Tabla 3. Parámetros, métodos analíticos y límites de detección (LD) y cuantificación (LC).

PARÁMETRO	REFERENCIA MÉTODO	LD	LC
Turbidez	ISO 7027:1999	0,01 UAF	0,01 UAF
Sólidos	APHA 2540D	0,05 mg/L	0,1 mg/L
Alcalinidad	APHA 2320	0,1 meq/L	0,1 meq/L
P total	APHA 4500-P B / APHA 4500-P C	0,2 µg P/L	0,2 µg P/L
P soluble	APHA 4500-P C	0,1 µg P/L	0,1 µg P/L
N total	APHA 4500-N C	0,01 mg N/L	0,01 mg N/L
NIO=NO ₃ +NO ₂	4500-NO ₃ E / APHA 4500-NO ₂ B	0,0003 mg N/L	0,01 mg N/L
Amonio	APHA 4500-NH ₃ F	0,01 mg NH ₄ /L	0,01 mg NH ₄ /L
Silicato	APHA 4500-SiO ₂ C	0,006 mg SiO ₂ /L	0,1 mg SiO ₂ /L



B) MUESTRAS BIOLÓGICAS

Fitoplancton

Para el análisis de la composición del fitoplancton se utilizará la metodología descrita en el Protocolo de Análisis de cálculo y métricas de fitoplancton en lagos y embalses (MFIT-2013, versión 1) publicado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Microscopio invertido: Debe estar equipado con un condensador de apertura numérica (AN) de 0,5 y objetivos secos con AN de 0,9. Objetivo de inmersión de x100 con AN de 1,3. Oculares x12,5 o x10, equipados con un micrómetro calibrado y con una retícula de recuento calibrada. Para exámenes en detalle, microscopio equipado con contraste de fases y/o contraste interferencial de Nomarski.

Cámara o cubeta de sedimentación: consiste en una columna vertical con una base deslizante a través de la cual el contenido puede ser observado con el microscopio invertido. La columna, de volumen variable según el tipo de embalse, se llena de muestra y las partículas sedimentan en el fondo de la cámara. El tiempo de sedimentación varía según la muestra, pero suele ser de 2 días.

Determinación del biovolumen: Para la determinación del biovolumen se utiliza también la metodología descrita anteriormente (MFIT-2013, versión 1). Consiste en medir como mínimo 20 individuos de cada especie, la cual se asimila a una forma geométrica que responda a su forma real; entonces se calcula el volumen de cada especie, según la fórmula para la figura geométrica escogida y, finalmente, se multiplica el volumen medio por el número de células/ml obtenido en el recuento.

Zooplancton

Recuento e identificación: los organismos zooplanctónicos son enumerados en cubetas de sedimentación estriadas que previenen duplicar los recuentos. Se utilizó un microscopio invertido dotado de objetivos secos entre x2 y x60. En ocasiones se utilizó un colorante (Rosa de Bengala) para facilitar el recuento y la identificación.

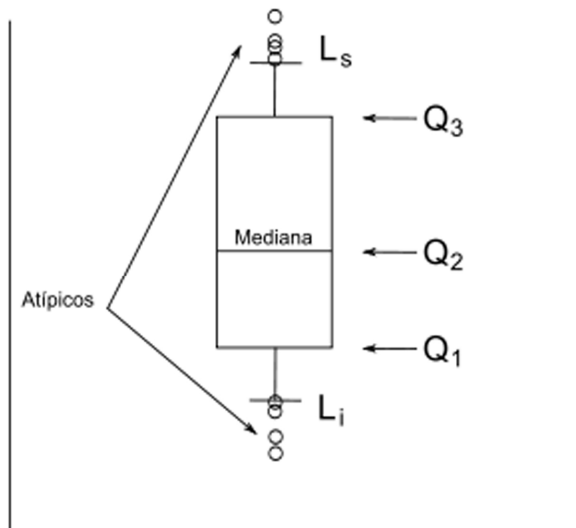
Estimas de biomasa: se utilizó el método del peso seco de los crustáceos zooplanctónicos, que consiste en convertir estimas de longitud en biomasa usando regresiones longitud-peso.

Para los rotíferos, se combinan formulas geométricas con medidas adecuadas de longitud para estimar la biomasa.

2.5. Sistema de presentación gráfica de resultados

Para poder establecer la interconexión entre la información gráfica y alfanumérica generada en el presente trabajo, se ha utilizado mapas mudos de la Demarcación Hidrográfica del Ebro.

Asimismo, para la presentación gráfica de resultados de los diferentes tipos de embalses se ha utilizado el Diagrama de Caja y Bigotes, en el cual se presenta dentro de una caja los valores correspondientes entre el primer y el tercer cuartil (Q_1 y Q_3). La línea interior representa el valor de la mediana (Q_2) y las dos líneas exteriores, superior e inferior a la caja, representan los valores límite inferior y límite superior intercuartílico (Li y Ls), estimados a partir del Rango intercuartílico (RIC) según la fórmula: $RIC = Q_3 - Q_1$



representan los valores límite inferior y límite superior intercuartílico (Li y Ls), estimados a partir del Rango intercuartílico (RIC) según la fórmula: $RIC = Q_3 - Q_1$

$$Li = Q_1 - 1,5 \cdot RIC \text{ y } Ls = Q_3 + 1,5 \cdot RIC$$

Por encima y debajo de Li y Ls quedan los valores atípicos, en la cual representamos por simplicidad sólo el mínimo y el máximo. También añadimos el valor de la media aritmética a la representación.

3. CLASIFICACIÓN DE LOS EMBALSES

Conforme a lo exigido en el Artículo 5 y Anexo II de la DMA, en una primera fase del ESTUDIO se procedió a la clasificación de los embalses en sus diferentes tipos, en los que posteriormente poder utilizar las mismas métricas y escalas de valoración del potencial ecológico (ya que se trata de masas de agua muy modificadas). Para ello, se ha utilizado la clasificación de embalses incluida en la orden ARM/2656/2008 por la que se aprueba la *Instrucción de Planificación Hidrológica*. Este sistema y distribución ha sido el mismo utilizado en los trabajos del presente ESTUDIO. Las variables que se utilizan en esta clasificación, así como sus rangos para cada tipo, se muestran en la tabla 4. En la tabla 5 se recogen los diferentes embalses estudiados, catalogados de acuerdo con esta clasificación. La localización en la cuenca puede verse en la figura 2.

Tabla 4. Esquema de clasificación de los embalses españoles.

RÉGIMEN DE MEZCLA	GEOLOGÍA	ÍNDICE DE HUMEDAD (IH)	ÁREA DE CUENCA	Tª MEDIA ANUAL	ALTITUD	TIPO
MONOMÍCTICOS	SILÍCEOS Alcalinidad estimada < 1 meq/L	ZONA HÚMEDA IH > 0,75	CABECERA Y TRAMOS ALTOS. Área < 1000 km ²	Tª < 15 °C		1
				Tª >15 °C		2
		RED PRINCIPAL. Área > 1000 km ²		3		
		ZONA NO HÚMEDA IH < 0,75	CABECERA Y TRAMOS ALTOS. Área < 1000 km ²			4
			RED PRINCIPAL. Área > 1000 y < 20.000 km ²			5
			TRAMOS BAJOS DE EJES PRINCIPALES. Área >20.000km ²			6
	ZONA HÚMEDA IH > 0,75		CABECERA Y TRAMOS ALTOS. Área < 1000 km ²	Tª < 15 °C		7
			Tª >15 °C	8		
	CALCÁREOS Alcalinidad estimada > 1 meq/L	ZONA HÚMEDA IH > 0,75	RED PRINCIPAL. Área > 1000 km ²			9
			ZONA NO HÚMEDA IH < 0,75	CABECERA Y TRAMOS ALTOS. Área < 1000 km ²		
		RED PRINCIPAL. Área > 1000 y < 20.000 km ²				11
		TRAMOS BAJOS DE LOS EJES PRINCIPALES. Área > 20.000 km ²				12
DIMÍCTICOS		IH > 2				>1400 m en Pirineos >1500 en Cordillera Cantábrica >1600 en Sistema Central

Tabla 5. Clasificación de embalses estudiados en el año 2017 según la Orden ARM/2656/2008.

RÉGIMEN DE MEZCLA	GEOLOGÍA	ÍNDICE DE HUMEDAD (IH)	ÁREA DE CUENCA	TEMPERATURA MEDIA ANUAL / ALTITUD	TIPO	EMBALSES
MONOMÍCTICOS	SILÍCEA (alcalinidad < 1 meq/L)	Zona Húmeda (IH > 0,74)	Cabecera y tramos Altos (área cuenca < 1000 km ²)	T ^a Media Anual <15	1	
	CALCÁREA (alcalinidad > 1 meq/L)	Zona Húmeda (IH > 0,74)	Cabecera y tramos altos (área cuenca < 1000 km ²)	T ^a Media Anual <15	7	Alloz, Ebro, Eugui, Irabia, Itoiz, Lechago, Maidevera, Mansilla, Monteagudo de las Vicarías, Ortigosa, Urrúnaga, Vadiello y El Val
			Red principal (área de cuenca > 1000 km ²)		9	Oliana, La Peña, Sobrón, Terradets y Yesa
		Zona No Húmeda (IH < 0,74)	Cabecera y tramos altos (área de cuenca < 1000 km ²)		10	Ciurana, Cueva Foradada, Estanca de Alcañiz, Gallipuéen, Mezalocha, Moneva, La Sotona y Las Torcas
			Red principal (área de cuenca > 1000 y < 25000 km ²)		11	Barasona, Calanda, Camarasa, Rialb y La Tranquera
	Tramos bajos de los ejes principales. (Área de Cuenca > 25000 km ²)		12	Flix, Mequinenza y Ribarroja		
DIMÍCTICOS		IH > 2		>1400 m en Pirineos >1500 en Cordillera Cantábrica >1600 en Sistema Central	13	Llauset

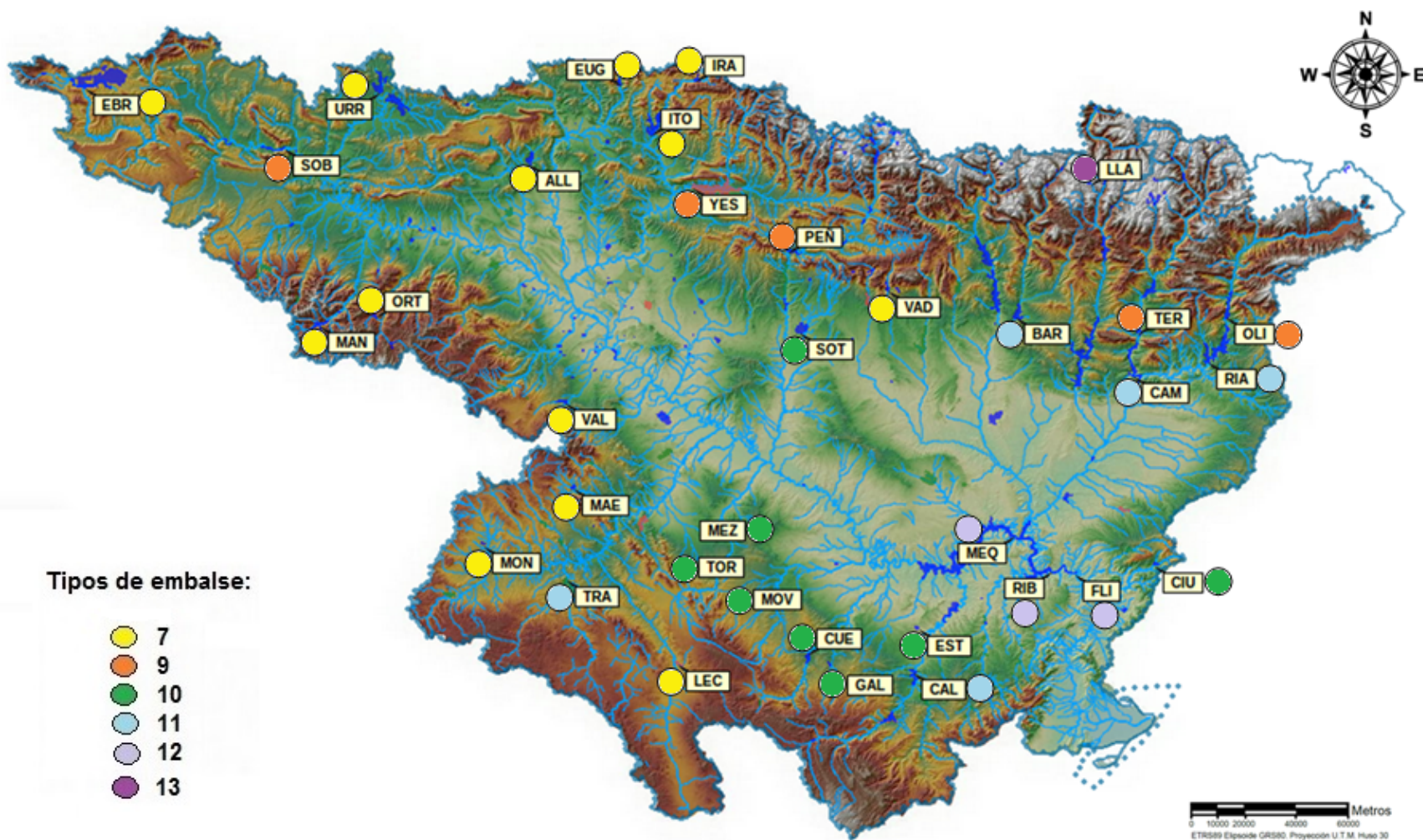


Figura 2. Localización geográfica de los embalses estudiados en 2017 indicando su tipología.

De esta tabla se destacan los siguientes aspectos:

- Las 35 masas de agua estudiadas y denominadas como embalses, se han clasificado en 6 categorías atendiendo a razones del régimen de mezcla, geología, climatología (humedad y temperatura), área de la cuenca de aportación y altitud.
- Las categorías que agrupan a un mayor número de embalses son la 7 y la 10, seguidas de las categorías 9, 11 y 12, la tipología 13 solo está representada por un único embalse. El número de embalses y porcentaje de cada tipo se muestran en la tabla 6:

Tabla 6. Representación de las distintas categorías de embalses.

Tipo 7	Tipo 9	Tipo 10	Tipo 11	Tipo 12	Tipo 13
13	5	8	5	3	1
37,1 %	14,3 %	22,9 %	14,3 %	8,6 %	2,9 %

Si se representa la altitud de los embalses (cota de la presa sobre el nivel del mar - msnm) por los tipos establecidos (figura 3), se observa que hay un claro gradiente altitudinal, partiendo del tipo 7 (cabeceras) al tipo 12 (embalses cerca de la desembocadura). De manera que la altitud parece ser una variable claramente decisiva en esta clasificación, exceptuando el tipo 13, de embalses dimícticos de alta montaña.

Sin embargo, la clasificación sólo considera la altitud (explícitamente, como se verá) en última instancia. Por ello hay embalses en el tipo 10 con alturas superiores a embalses de tipo 9 y 7, y en el tipo 11 embalses con alturas superiores a embalses de tipo 9 y 10 e incluso del tipo 7.

Lo que sucede es que muchas de las variables seleccionadas en la clasificación, como las climáticas (régimen de mezcla, índice de humedad *IH* y temperatura media anual) o el área de la cuenca, están correlacionadas con la altitud, de ahí la concordancia existente.

En este ESTUDIO, a efectos de representación gráfica y otras consideraciones de calidad, se ha clasificado a los embalses todavía sin clasificar de la siguiente manera: el embalse de Maidevera se ha puesto como embalse del tipo 7, el embalse de La Estanca de Alcañiz como de tipo 10 y el embalse de Llauset se ha clasificado en la tipología 13.

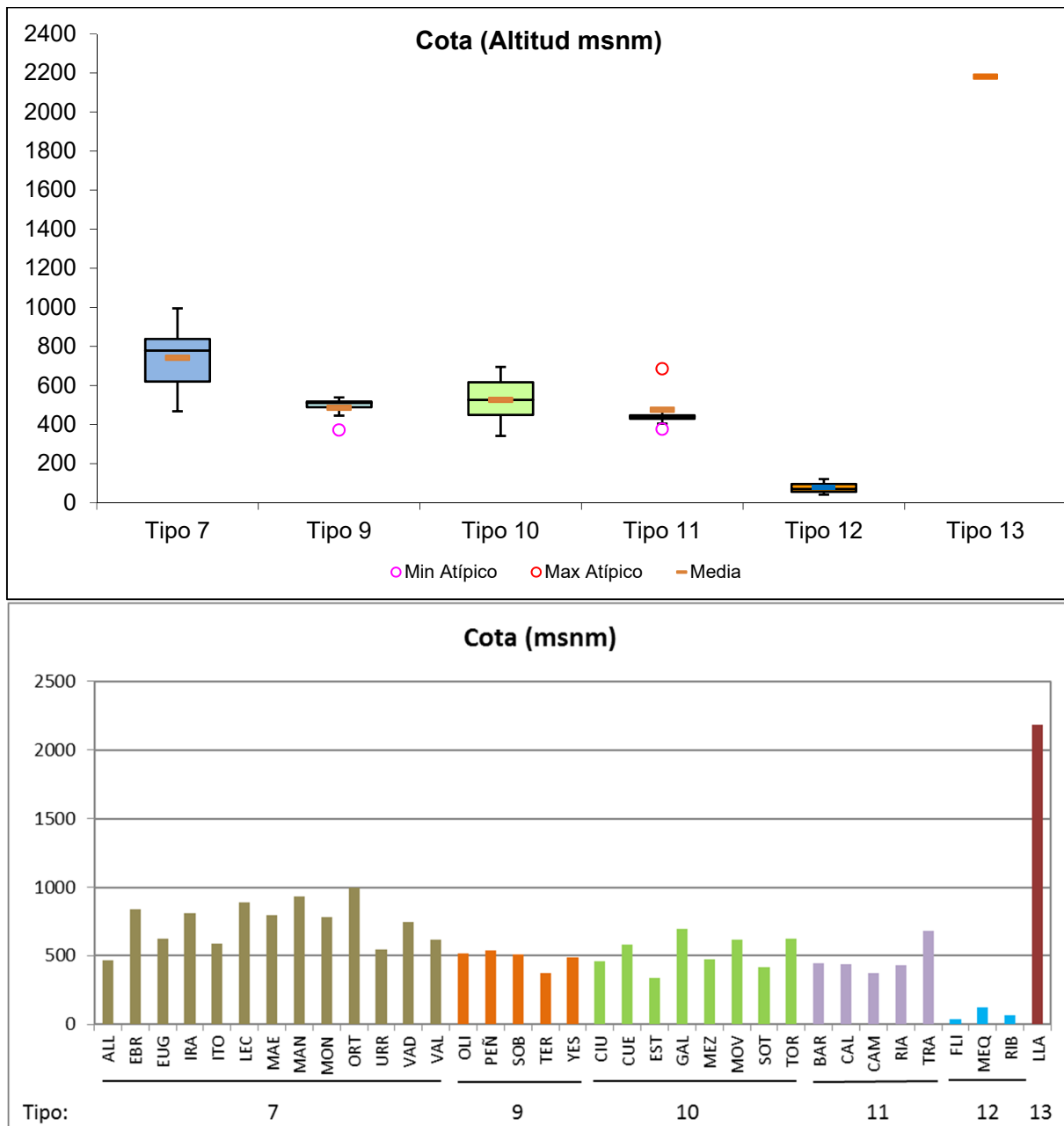


Figura 3. Altitud (metros sobre el nivel del mar) para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Tipos: 7: calcáreo / húmedo / cabecera / frío; 9: calcáreo / húmedo / red principal; 10: calcáreo / no húmedo / cabecera; 11: calcáreo / no húmedo / red principal; 12: calcáreo / no húmedo/ eje parte baja; 13: dimíctico / húmedo / alta montaña. La columna coloreada representa el intervalo p25-p75, el segmento interior negro es la mediana, el segmento coloreado es el promedio de los datos; los segmentos verticales representan el rango de los datos (sin contar valores atípicos) y los círculos coloreados son los valores extremos.

4. CARACTERÍSTICAS HIDROMORFOLÓGICAS, FÍSICOQUÍMICAS Y BIOLÓGICAS

4.1. Características hidromorfológicas

En la tabla 7 se incluyen las principales características morfométricas de los embalses muestreados (35 en total) en el año 2017, con indicación del volumen total, la superficie total de la lámina de agua, la profundidad media y la profundidad máxima registrada durante el muestreo. A continuación, se describen los aspectos más relevantes en cuanto a volumen, superficie y profundidad.

A) Volumen

En cuanto al volumen total de las masas de agua se puede destacar lo siguiente:

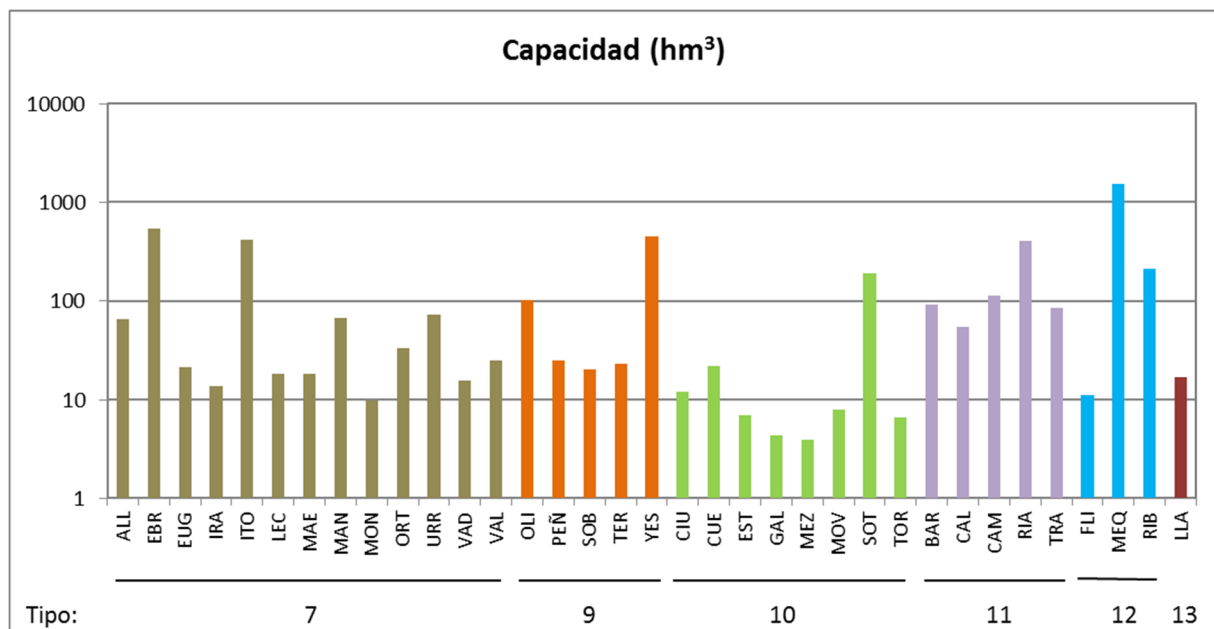


Figura 4. Distribución de la capacidad (hm³) de los embalses estudiados en 2017.

➤ Las masas de agua son de capacidad variable, con volúmenes inferiores a 10 Hm³ en un 17,1 % de los casos (figura 4). El mismo porcentaje de embalses, un 17,6, presentan volúmenes entre 10 y 30 Hm³, entre 70 y 150 Hm³ y entre 300 y 1600 Hm³. Los embalses con un volumen entre 30 y 70 Hm³ representan un 14,7 % del total de embalses y un 11,8 % de embalses presenta volúmenes entre 150 y 300 Hm³. El mayor embalse de toda la cuenca es el embalse de Mequinenza, con 1534 hm³ de capacidad máxima.

B) Superficie

En cuanto a la extensión total de la lámina de agua, en condiciones de máximo almacenamiento, la situación es la siguiente:

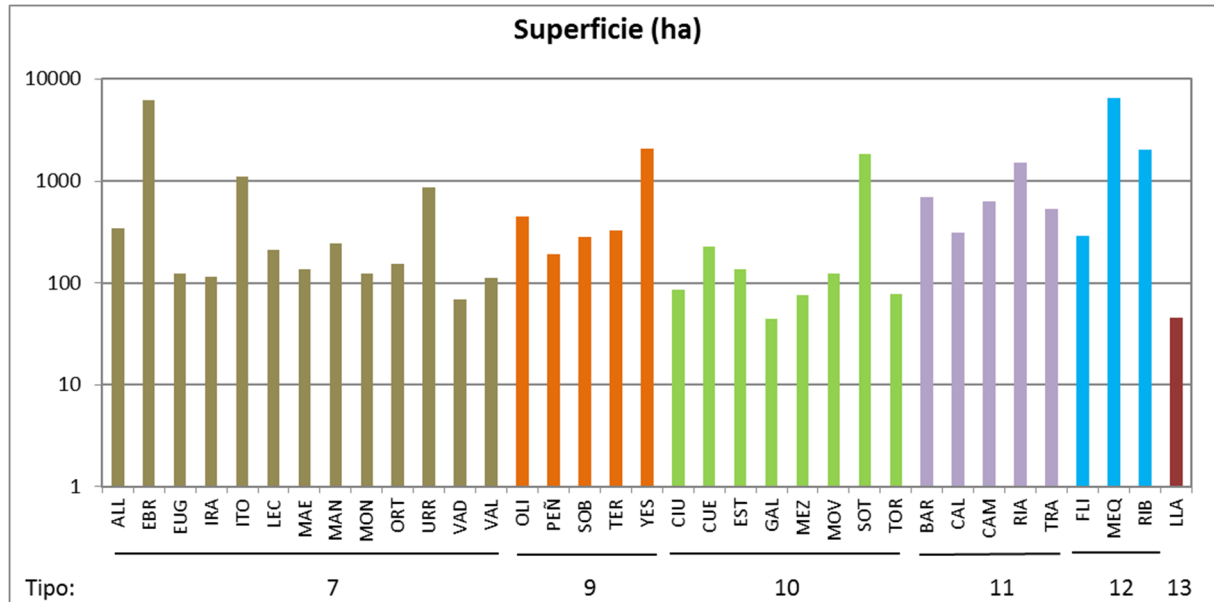


Figura 5. Superficie total (ha) de los embalses estudiados en 2017.

➤ Las masas de agua son de superficie muy variable, con un rango que oscila entre las 44 ha del embalse de Gallipuéen, hasta las 6.478 ha del embalse de Mequinenza. La distribución de esta variable en el conjunto de embalses estudiados se representa en la figura 5. Como se puede observar, la gran mayoría de embalses superan las 100 ha, solo un 17,1 % (6 embalses) no lo hace.

C) Profundidad máxima

En cuanto a la profundidad máxima del embalse, en condiciones de máximo almacenamiento, la situación es la siguiente:

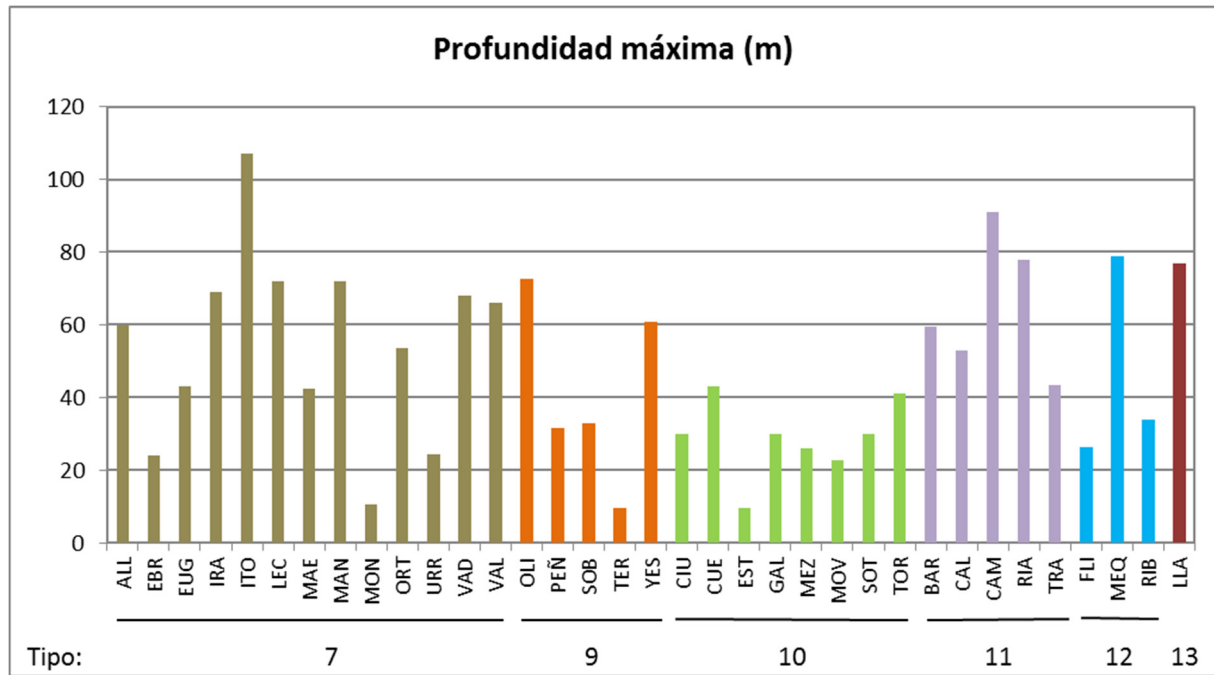


Figura 6. Profundidad máxima (m) de los embalses estudiados en 2017.

➤ Las masas de agua son de profundidad muy variable, con un rango de 9,5 a 107 m, valores registrados para los embalses de Terradets y La Estanca de Alcañiz con 9,5 m e Itoiz con 107 m. La distribución de esta variable en el conjunto de embalses estudiados se representa en la figura 6. Se pueden observar dos grupos de embalses, separados por la profundidad de 60 m superada por 12 embalses.

D) Área de la cuenca

En cuanto al área de la cuenca vertiente que recoge las aportaciones al embalse, la situación es la siguiente:

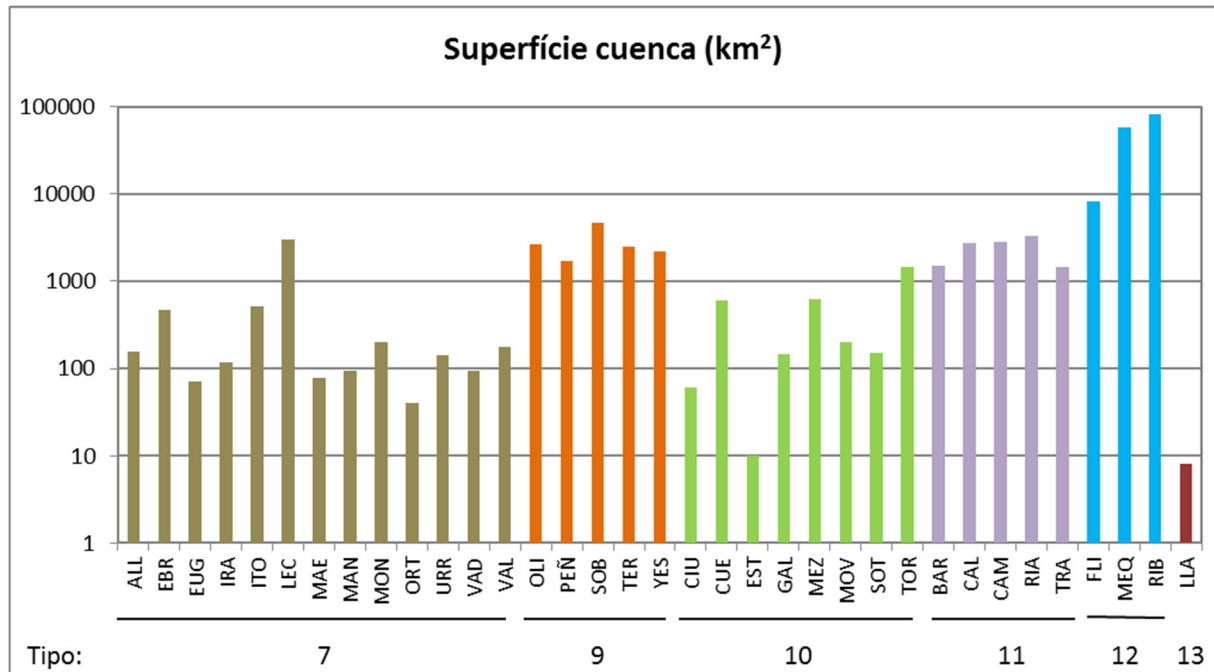


Figura 7. Extensión de la cuenca vertiente (km²) de los embalses estudiados en 2017.

➤ Los embalses estudiados durante 2017 reciben aportaciones desde cuencas vertientes con extensiones muy variables. El rango de áreas de cuenca va desde los 10 km² del embalse de La Estanca de Alcañiz, hasta los 81.045 km² de Ribarroja. La distribución de esta variable se representa en la figura 7. Como se puede apreciar, la mayoría de embalses estudiados tienen cuencas de aportación medianas, con solo dos embalses con más de 10.000 km². Alrededor de un 37 % tienen cuencas de más de 1.000 km², siendo ésta, por tanto, la clase predominante. Un 34 % de los embalses estudiados tienen un tamaño de cuenca entre los 100 y los 1.000 km², mientras que el menor porcentaje, un 23 %, es para los embalses con un tamaño de cuenca inferior a los 100 km².

E) Tiempo de renovación

El tiempo de renovación hidráulico de las aguas de un embalse es una de las principales variables limnológicas del mismo, pues de él va a depender el estado de la masa de agua y la influencia que el curso fluvial ejerce sobre la misma. Los valores más bajos (ver figura 8) se han dado en embalses pequeños o medios de cursos fluviales importantes, siendo los mínimos, inferiores a un mes, en Ribarroja, Flix, Irabia, Oliana, La Peña, Sobrón y Terradets. En el embalse de FLix la circulación del agua es observable a simple vista y se comportan prácticamente como un río. Otros embalses de mayor tamaño, pero con un caudal importante en su aportación son Yesa, Rialb y Mequinenza, donde el TRH es igual o inferior a cuatro meses aunque son embalses con una gran capacidad.

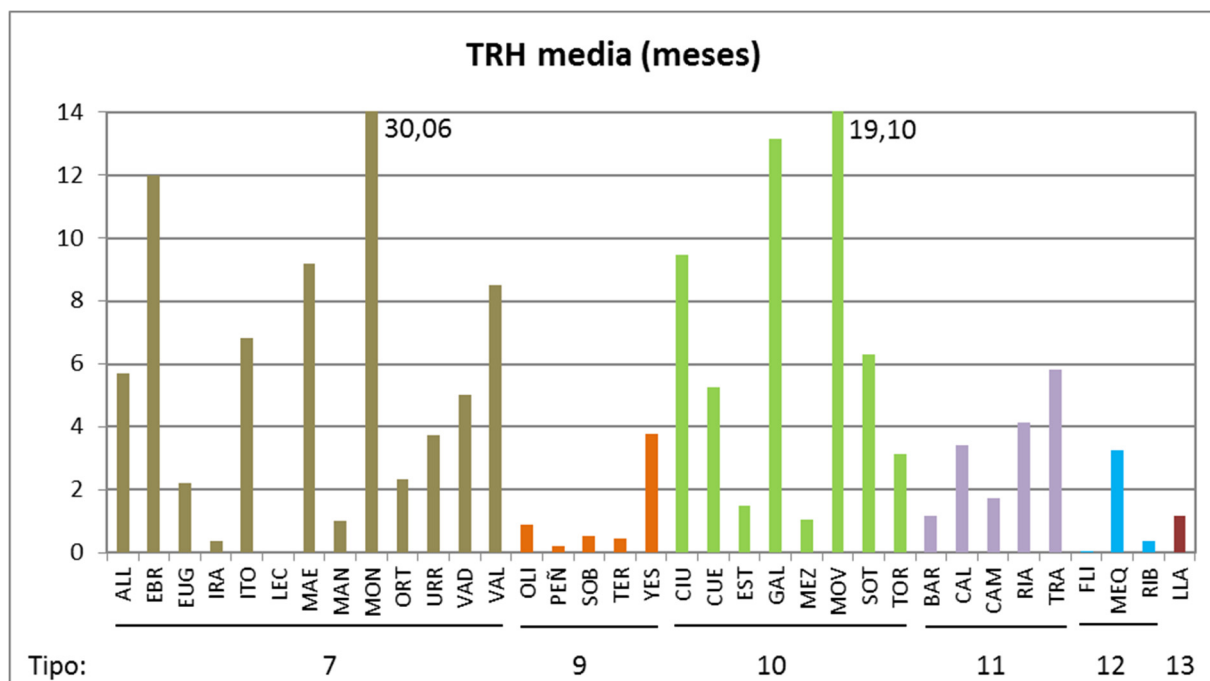


Figura 8. Tiempo de renovación de los embalses estudiados en 2017.

La renovación importante puede afectar a la estratificación. Los valores más elevados, por el contrario, se dan en embalses de cursos reducidos y escasa capacidad, como es el caso de Moneva (9,1 meses) y Monteagudo de las Vicarías, máximo absoluto con 30,06 meses.

Tabla 7. Principales características hidro-morfométricas de los embalses.

CÓDIGO MAS	NOMBRE DEL EMBALSE	CÓDIGO ESTACIÓN	VOLUMEN TOTAL (hm ³)	SUPERFICIE (ha)	PROFUNDIDAD MÁXIMA (m)	PROFUNDIDAD MEDIA (m)	SUPERFICIE CUENCA (km ²)	TRH* MEDIO 2015 - 2017 (meses)	Hidroperiodo
1	Embalse del Ebro ²	EBR	540	6253	24	8,6	466	12,01	0,46
2	Embalse de Urrúnuga	URR	72	869	24,5	8,2	143	3,75	0,37
4	Embalse de Irabia	IRA	13,81	114	69	17,5	116	0,38	0,75
6	Embalse de Eugui	EUG	21,39	123	43	17	70	2,21	0,43
22	Embalse de Sobrón ²	SOB	20,11	282	33	7,1	4660	0,52	0,17
27	Embalse de Alloz	ALL	65,32	347	59,8	28,5	155	5,70	0,65
37	Embalse de Yesa	YES	447	2089	60,7	22,5	2170	3,79	0,81
44	Embalse de La Peña	PEÑ	25,1	189	31,7	9,1	1721	0,21	0,71
51	Embalse de Vadiello	VAD	15,5	69	68	23,3	95	5,01	0,43
53	Embalse de Oliana ²	OLI	101,1	443	72,7	22,8	2675	0,90	0,61
56	Embalse de Barasona	BAR	92,2	693	59,5	13,3	1511	1,17	0,90
59	Embalse de Terradets	TER	23	330	9,5	7	2511	0,46	0,09
61	Embalse de Mansilla	MAN	67,7	246	72	27	94	1,02	0,79
62	Embalse de Sotonera	SOT	189,38	1840	30	10,3	150	6,31	0,72
63	Embalse de Rialb	RIA	402	1505	78	28	3320	4,13	0,53
65	Embalse de Camarasa	CAM	113	624	91	18,1	2825	1,73	0,53
68	Embalse de El Val ²	VAL	25	112	66	-	179	8,51	0,42
70	Embalse de Mequinenza	MEQ	1534	6478	79	10	57908	3,241	0,46
71	Embalse de Mezalocha	MEZ	3,92	75	26	10	620	1,04	0,90
73	Embalse de Çiurana	CIU	12	85	30	14,1	59,9	9,45	0,73
74	Embalse de Flix	FLI	11	290	26,3	-	8127	0,01	0,31
75	Embalse de Las Torcas	TOR	6,66	77	41	15,8	1470	3,14	0,71
76	Embalse de La Tranquera	TRA	84,26	530	43,5	15,8	1470	5,83	0,82
77	Embalse de Moneva	MOV	8,03	123	22,8	10,1	199	19,10	0,36
80	Embalse de Cueva Foradada	CUE	22,08	229	43	12,7	600	5,26	0,57
82	Embalse de Calanda	CAL	54,32	312	53	17,4	2740	3,40	0,60
86	Embalse de Itoiz	ITO	418	1100	107	45	510	6,83	0,68
87	Embalse de Lechago	LEC	18,16	210	72	17	2957		-
913	Embalse de Gallipuéñ	GAL	4,36	44	30	11	147	13,13	0,41
916	Embalse de Ortigosa ²	ORT	32,9	152	53,5	21,7	40	2,35	0,79
949	Embalse de Ribarroja	RIB	210	2029	34	10,3	81045	0,39	0,08



CÓDIGO MAS	NOMBRE DEL EMBALSE	CÓDIGO ESTACIÓN	VOLUMEN TOTAL (hm ³)	SUPERFICIE (ha)	PROFUNDIDAD MÁXIMA (m)	PROFUNDIDAD MEDIA (m)	SUPERFICIE CUENCA (km ²)	TRH* MEDIO 2015 - 2017 (meses)	Hidroperiodo
1022	Embalse de Estanca de Alcañiz	EST	6,88	135	9,5	5	10	1,49	0,44
1053	Embalse de Llauset	LLA	17	45	77	30,8	8	1,17	0,99
1681	Embalse de Monteagudo de las Vicarias	MON	9,73	123	10,5	5	199	30,06	0,25
RIO823	Embalse de Maidevera	MAE	18,33	134,46	42,5	16	77	9,19	0,66

Fuente: Confederación Hidrográfica del Ebro / CEDEX.

*TRH: Tiempo de Residencia Hidráulica

-: Datos no disponibles

²: embalses muestreados a principio y final de verano.

F) Características del hidroperiodo

El hidroperiodo del embalse describe el patrón estacional del nivel del agua durante el año hidrológico. Tiene importancia porque muestra la variación de niveles que ha presentado la masa de agua, diferenciando claramente los años de sequía de los años húmedos por un lado, y los embalses que tienen mayor variación de la cota de la lámina de agua de aquellos que presentan casi siempre un nivel constante o con pocas variaciones. Por ello, condicionará la presencia o ausencia de vegetación de ribera, el movimiento de sólidos, resuspensión de nutrientes y modificación de la zona fótica, aspectos que influyen en la calidad de la masa de agua.

Para estimar la variación, se ha calculado la relación entre los volúmenes mínimos y máximos registrados durante el año según la fórmula $1 - V_{min}/V_{max}$, de tal manera que el resultado tiende a cero cuando la variación de nivel es menor. Los resultados obtenidos se muestran en la figura 9.

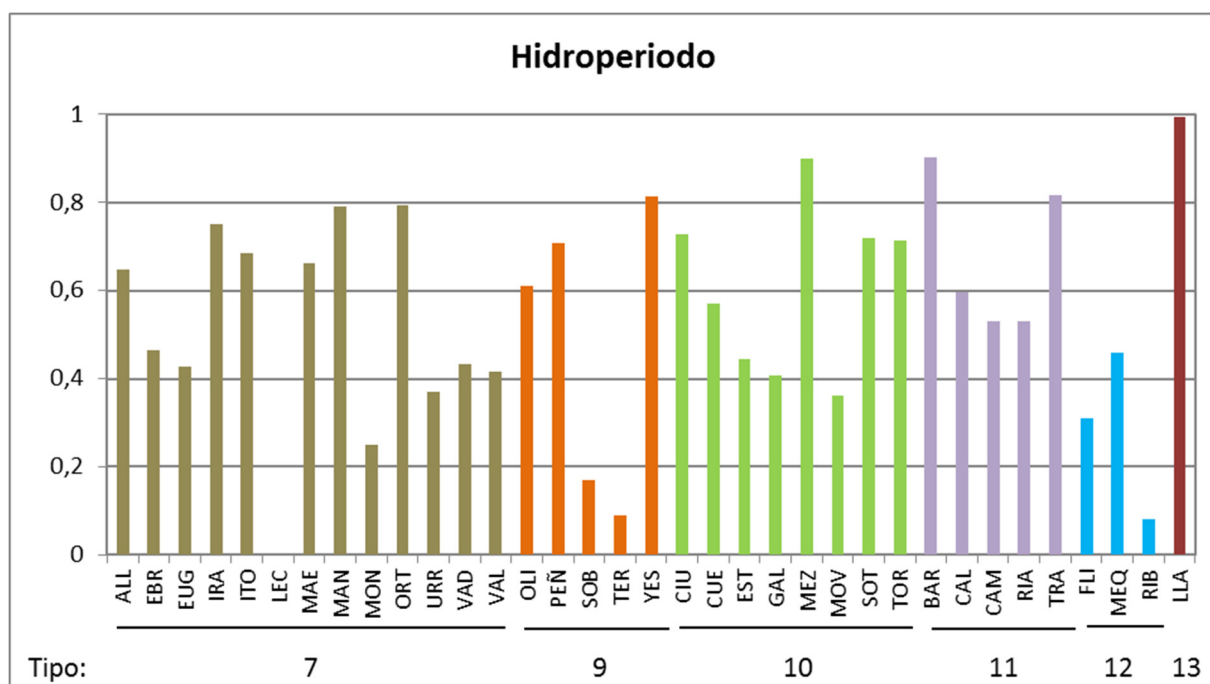


Figura 9. Hidroperiodo de los embalses estudiados en 2017.

El patrón estacional del nivel del agua es muy variable para dieciseis embalses, con un hidroperiodo superior a 0,6. Destacar las masas de Barasona, La Tranquera, Llauset, Mezalocha y Yesa con un hidroperiodo de variación superior a 0,8. Solo un embalse es desconocido, porque no hay datos de la renovación de sus aguas. Destacar también la estabilidad de Ribarroja, Sobrón y Terradets a pesar de su bajo tiempo de renovación.

4.2. Características fisicoquímicas

4.2.1. Transparencia, temperatura, pH y conductividad

A continuación, se describen las variables transparencia, temperatura, pH y conductividad, para cada uno de los tipos de embalses, destacando los valores extremos y las tendencias generales de los datos. Una información más detallada puede ser consultada en los informes individuales elaborados para cada uno de los embalses. Asimismo, en el anexo 1 de esta memoria se muestran las tablas de datos de cada uno de los embalses, ordenados por el código MAS.

A Tipo 7. Embalses de Alloz, Ebro, Eugui, Irabia, Itoiz, Lechago, Maidevera, Mansilla, Monteagudo de las Vicarías, Ortigosa, Urrúnaga, Vadiello y El Val. Monomíctico, calcáreo de zonas húmedas, con temperatura media anual menor de 15 °C, pertenecientes a ríos de cabecera y tramos altos.

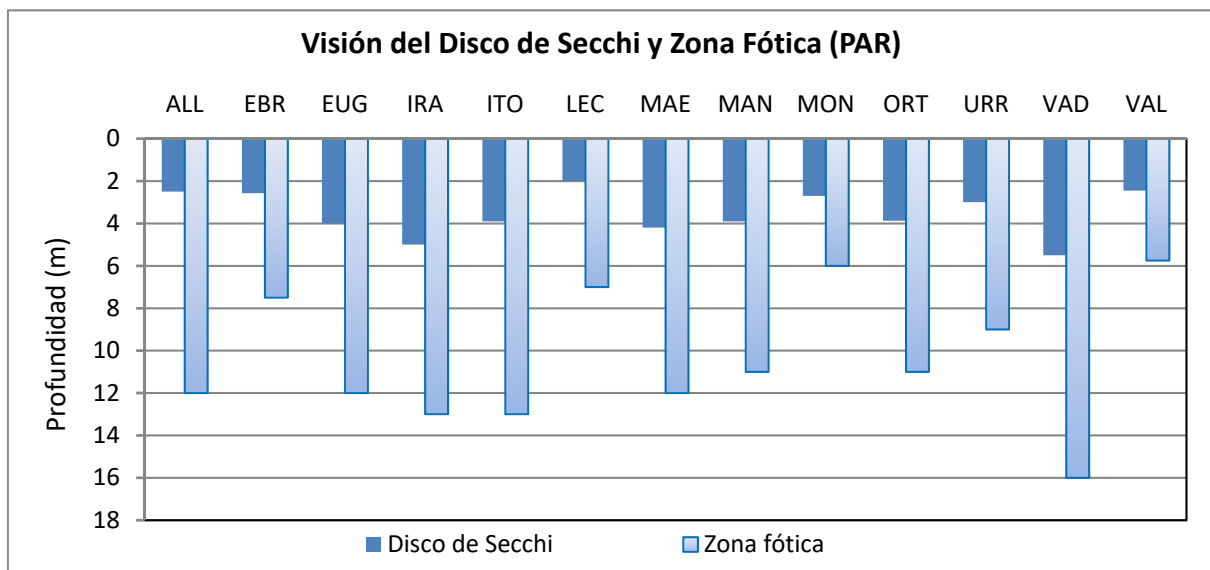


Figura 10. Profundidad de visión del Disco de Secchi (m) y de la Zona Fóptica medida por PAR en los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 7.

➤ **La transparencia del agua** medida con el disco de Secchi (figura 10) varía entre 2 m en el embalse de Lechago y los 5,5 m en Vadiello. La media obtenida para este tipo de embalses (3,5 m) es casi la misma que el valor medio del total de embalses (3,4 m). Por otro lado, la zona fóptica, en adelante ZF, medida fotoeléctricamente mediante medidor de PAR (figura 10) muestra unos valores relacionados con la transparencia del disco de Secchi,

aunque las características minerales y el tipo de agua modifican la penetración de la luz y por ello la extensión de la ZF, haciendo que en muchos casos no se cumpla la relación $ZF = 2,5 \times DS$. Por ejemplo, en el embalse de Alloz la ZF alcanza los 12 m de profundidad, en lugar de 6,3 m, siendo el embalse con mayor diferencia entre los dos métodos de obtención de la ZF. Destacar que Lechago con menor profundidad de visión del DS, con el medidor de PAR registra una ZF mayor que los embalses de El Val y Monteagudo de las Vicarías.

➤ Los valores de **la temperatura** media en la ZF de los embalses del tipo 7 es de 20,4 °C, con un mínimo de 18,3 en Maidevera y Vadiello, y un máximo de 23,8 °C en Monteagudo de las Vicarías. En el momento del muestreo no presentan estratificación térmica 6 de los 13 embalses: Maidevera y Mansilla. En el muestreo de final de verano los embalses del Ortigosa y El Val ya no presentaban estratificación.

➤ En general, **los valores de pH** de este grupo en la ZF presentan una media de 8,1. Se alcanza un máximo de 8,5 en el embalse de Urrúnaga y un mínimo de 7,8 en los embalses de Eugui y Monteagudo de las Vicarías.

➤ Asimismo, los datos de **la conductividad** media en la ZF (figura 11) varían de los 133 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el embalse de Ortigosa, a los 1552 $\mu\text{S}/\text{cm}$ del embalse de Lechago (máximo del ESTUDIO). El valor medio del tipo es de 434 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

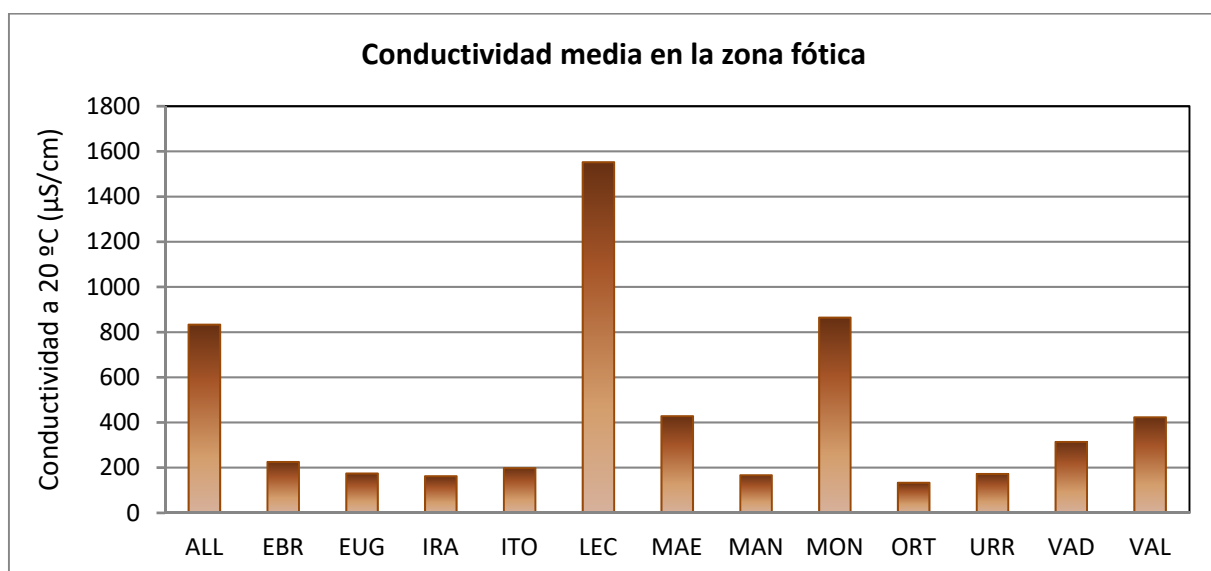


Figura 11. Conductividad media de la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 7.

B Tipo 9. Embalses de Oliana, La Peña, Sobrón, Terradets y Yesa. Monomítico, calcáreo de zonas húmedas, pertenecientes a ríos de la red principal.

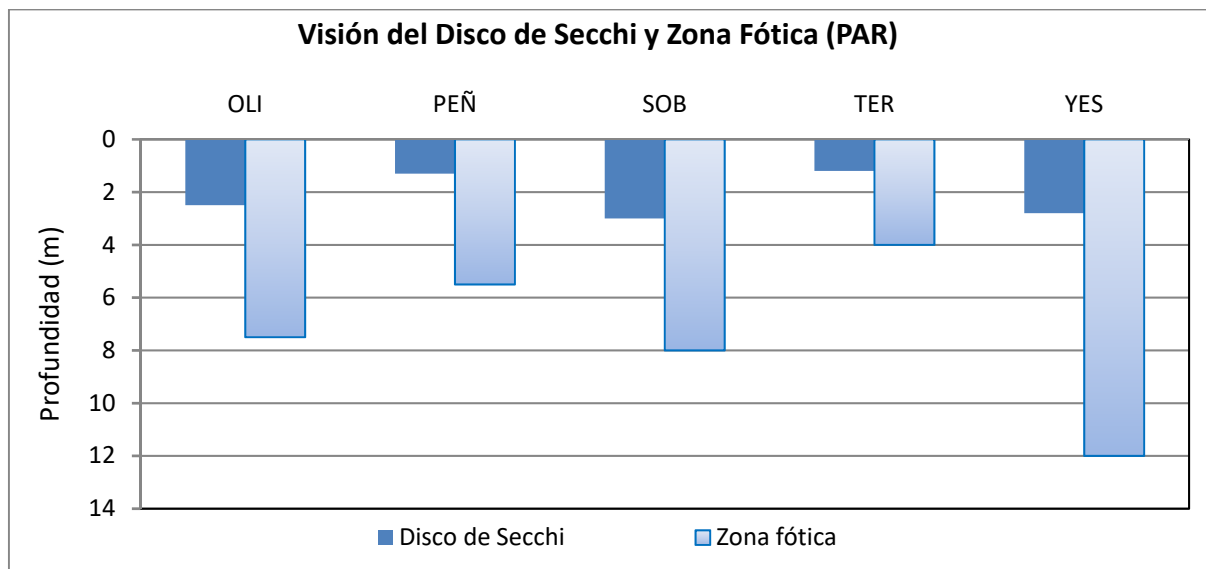


Figura 12. Profundidad de visión del Disco de Secchi (m) y de la Zona Fóptica medida por PAR en los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 9.

➤ **La transparencia media del agua** de los embalses de tipo 9 es la más baja de todos los tipos, siendo su media de 2,2 m. El embalse de Terradets presenta la menor transparencia del grupo con 1,2 m. Destacar que en el embalse de Yesa, aunque la visión del disco de Secchi sea de tan solo 2,8 metros, la ZF determinada con el medidor fotoeléctrico fue de 12,0 m, probablemente debido a la dispersión de la luz por presencia de carbonatos en el agua.

➤ **La temperatura** media en la ZF de los embalses de tipo 9 es de 20,7 °C. Las temperaturas mínima y máxima se han medido en Terradets y Oliana respectivamente (18,9 y 21,8 °C). En cuanto a la estratificación térmica, en el momento de los muestreos solo Sobrón en el muestreo de verano y Oliana en el muestreo de final de verano mostraban una termoclina definida.

➤ **El pH** es en todos ligeramente alcalino, con un valor promedio de 8,1. Los valores medios obtenidos para la ZF oscilan entre los 8,0 de Sobrón y los 8,22 de Oliana.

➤ **La conductividad** registrada en este tipo presenta un valor medio de 255 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con poca dispersión de valores, entre los 169 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de Terradets y los 310 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de Sobrón.

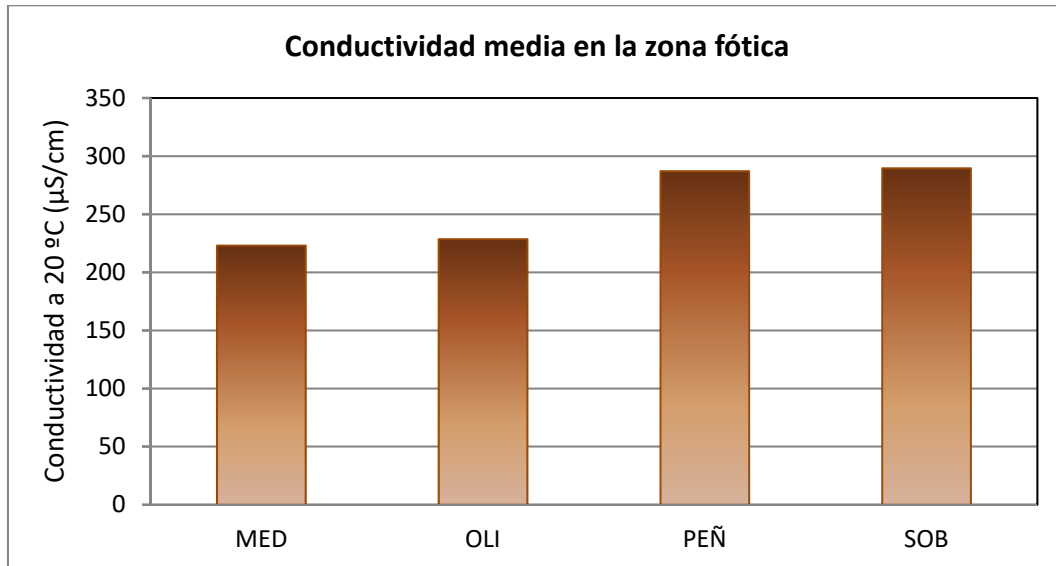


Figura 13. Conductividad media de la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 9.

C Tipo 10. Embalses de Ciurana, Cueva Foradada, La Estanca de Alcañiz, Gallipué, Mezalocha, Moneva, La Sotonera y Las Torcas. Monomítico, calcáreo de zonas no húmedas, pertenecientes a ríos de cabecera y tramos altos.

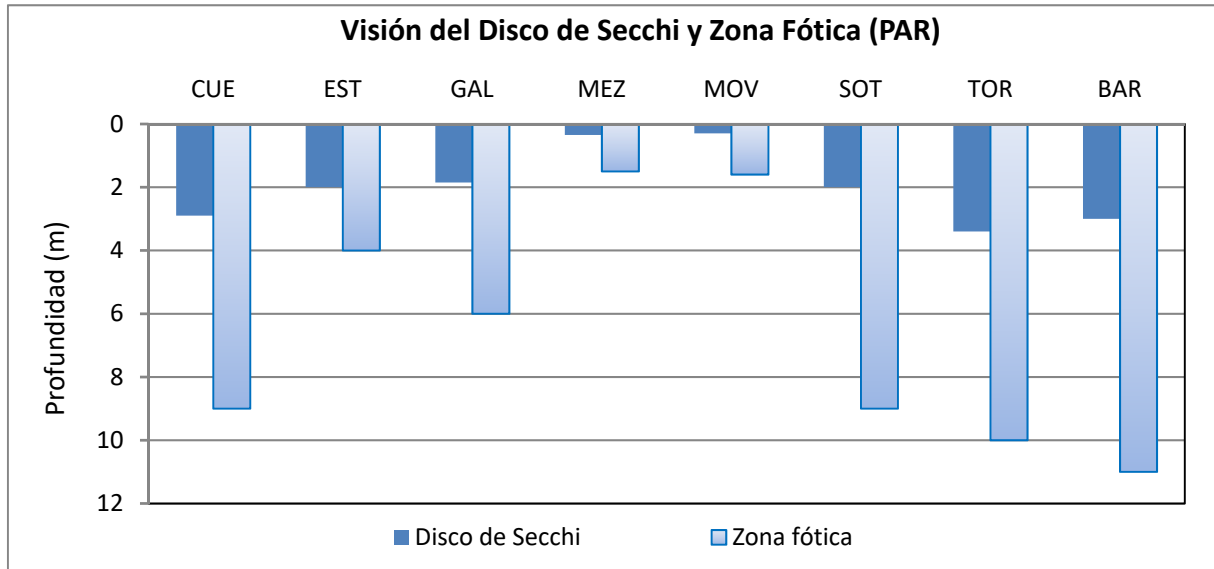


Figura 14. Profundidad de visión del Disco de Secchi (m) y de la Zona Fótica medida por PAR en los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 10.

➤ **La transparencia del agua** es muy variable. Toma el valor máximo para este tipo de embalses en el de Ciurana con 5,8 m y el valor mínimo en el embalse de Moneva con 0,3 m (mínimo absoluto de todo el ESTUDIO). El valor medio se sitúa en 2,3 m. La mayor discrepancia entre los dos métodos de obtención de la ZF se observó en el embalse de La Sotonera, con una diferencia de 4 m.

➤ **La temperatura** media en la ZF de los embalses del tipo 10 presenta una media de 22,2 °C y que oscila desde los 16,7 °C de Ciurana hasta los 25,9 °C de Moneva, temperatura máxima del ESTUDIO. Solo Ciurana y Cueva Foradada se encontraban estratificados en el momento del muestreo.

➤ **El pH** de los embalses de tipo 10 es, en general, alcalino, con un valor promedio de 8,1 para este tipo, con una variación entre embalses que va desde los 7,9 del embalse de Cueva Foradada, hasta los 8,5 del embalse de Mezalocha.

➤ **La conductividad** registrada en los embalses de este tipo presenta un valor medio de 643 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El valor más bajo corresponde a La Sotonera, con 362 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que el valor máximo se ha medido en el embalse de Moneva con 1072 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

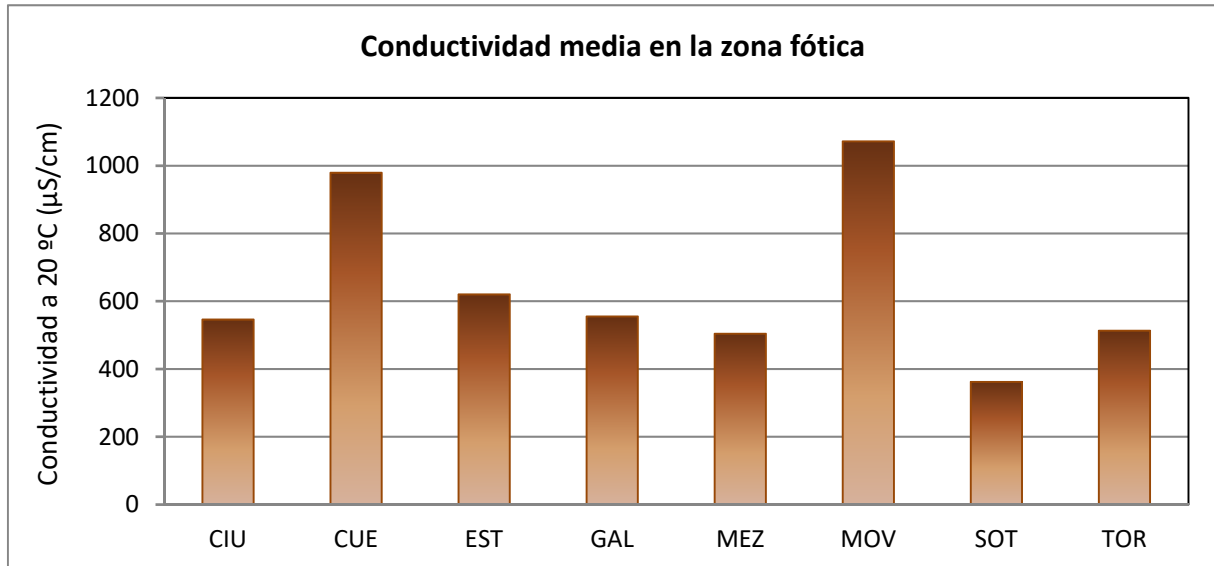


Figura 15. Conductividad media de la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 10.

D Tipo 11. Embalses de Barasona, Calanda, Camarasa, Rialb y La Tranquera.
Monomítico, calcáreo de zonas no húmedas, pertenecientes a ríos de la red principal.

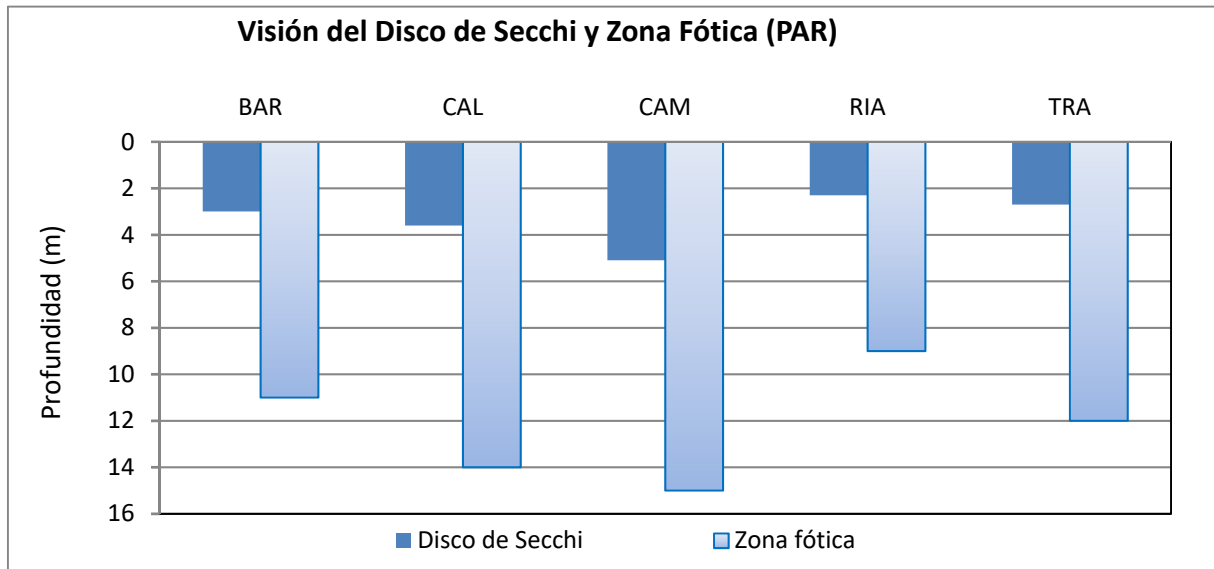


Figura 16. Profundidad de visión del Disco de Secchi (m) y de la Zona Fóptica medida por PAR en los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 11.

➤ En los embalses del tipo 11, **la transparencia (DS)** alcanza un valor medio de 3,3 m, similar a la media general de los embalses, observándose el valor mínimo en Rialb con 2,3 m de profundidad del DS y el máximo en Camarasa con un valor de 5,1 m. En este grupo la ZF estimada por el medidor de PAR es mayor que la ZF determinada mediante la profundidad del DS para todos los embalses.

➤ **La temperatura** en la ZF de los embalses de tipo 11 presenta una media de 23,0 °C. La temperatura máxima para la media de la ZF fue medida en el embalse de Barasona, con 25,7 °C. La mínima se registra en el embalse de Camarasa, con 16,9 °C. En el momento del muestreo solo se encontraba estratificado el embalse de Rialb.

➤ Asimismo, **los valores de pH** registrados en la ZF presentan una media de 8,3. Se ha observado el valor mínimo en el embalse de Camarasa, con un pH de 8,1, encontrándose el valor máximo de 8,5 en el embalse de Rialb.

➤ **Los valores de conductividad** alcanzaron sus niveles más altos en los embalses de La Tranquera con un valor de 647 $\mu\text{S}/\text{cm}$ siendo el valor más bajo el registrado en el embalse de Camarasa con 189 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La media del grupo se sitúa en 384 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

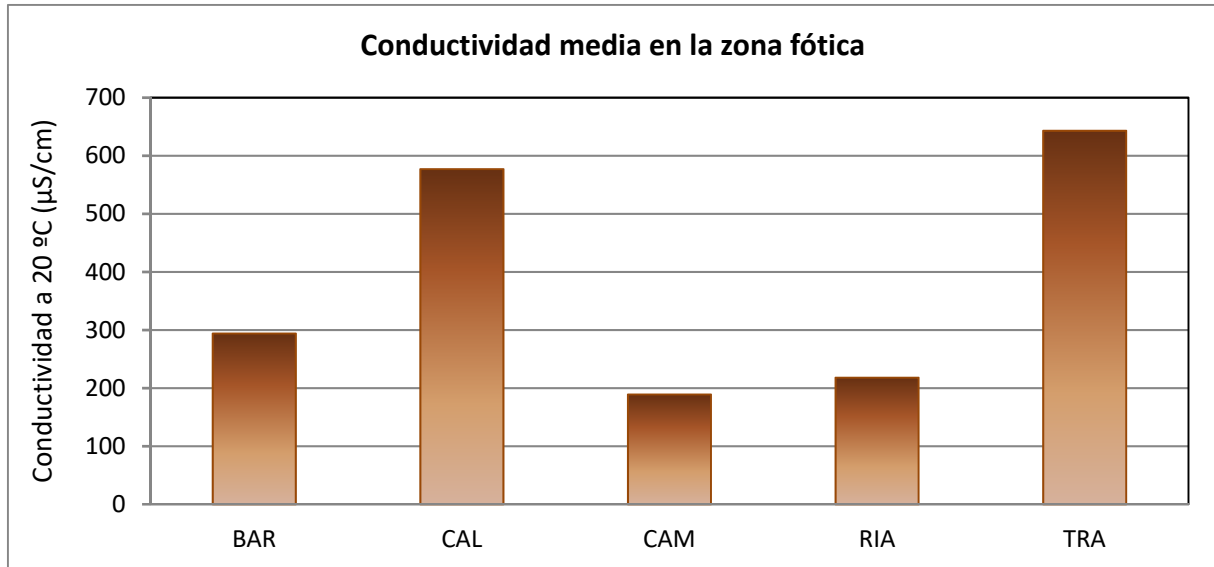


Figura 17. Conductividad media de la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 11.

E Tipo 12. Embalse de Flix, Mequinenza y Ribarroja. Monomítico, calcáreo de zonas no húmedas, pertenecientes a tramos bajos de ejes principales.

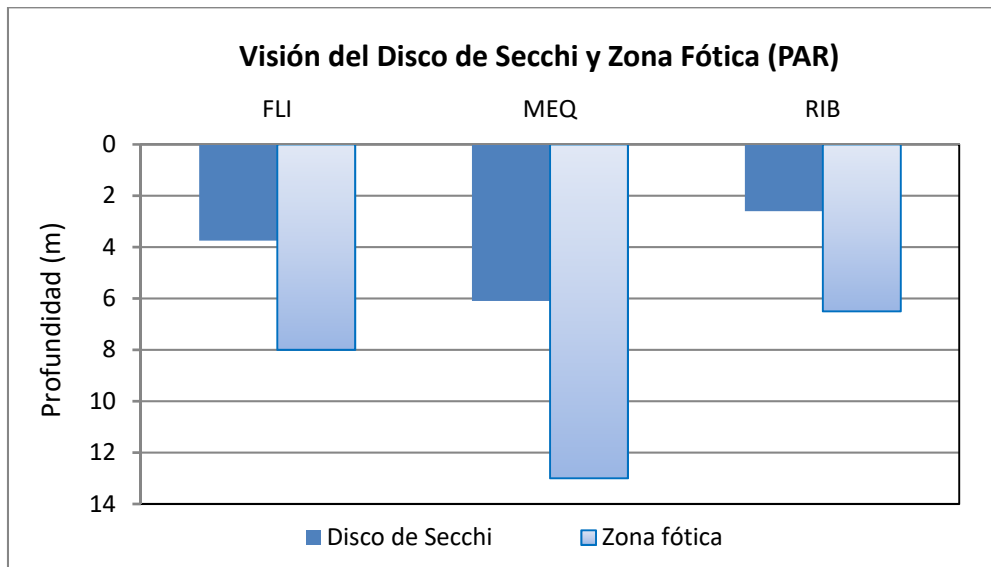


Figura 18. Profundidad de visión del Disco de Secchi (m) y de la Zona Fóptica medida por PAR en los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 12.

- En los embalses del tipo 12, **la transparencia (DS)** alcanza un valor medio de 4,2 m, la más alta de todos los grupos. El valor más elevado de la ZF estimada por el medidor de PAR, con un valor de 13 m, es la del embalse de Mequinenza, aunque fue sobreestimada por la profundidad de visión del DS.
- **La temperatura** en la ZF de los embalses de tipo 12 presenta una media de 23,6 °C, la media más alta de todos los tipos. La temperatura máxima para la media de la ZF fue medida en el embalse de Ribarroja, con 24,7 °C. La temperatura mínima se observó en el embalse de Flix, con 21,4 °C. Ninguno de los tres embalses se encontraba estratificado en el momento de muestreo.
- Asimismo, **los valores de pH** registrados en la ZF presentan una media de 8,0, siendo este el mismo valor para el embalse de Ribarroja y Flix, y de 7,9 para el de Mequinenza.
- **Los valores de conductividad** en este grupo alcanzaron los niveles medios más altos de todos los grupos con 1113 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Con el valor más alto en el embalse de Mequinenza con 1332 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y el valor más bajo en el embalse de Ribarroja con 925 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

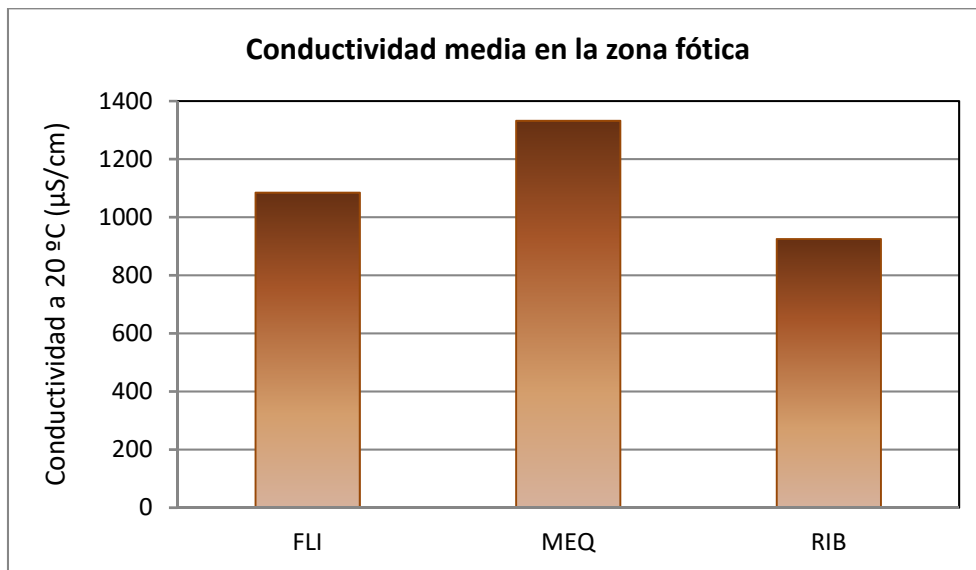


Figura 19. Conductividad media de la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 12.

F Tipo 13. Embalse de Llauset. *Dimíctico, calcáreo de zona muy húmeda a más de 1.400 m de altitud.*

- La profundidad del Disco de Secchi (DS) muestra una profundidad de la capa fótica en torno a 37,5 metros, superior a la real obtenida mediante medidor de PAR, de 28 metros, la más profunda de todo el ESTUDIO.
- La temperatura media en la zona fótica es de 10,3 °C, la más baja de todo el ESTUDIO. En el momento del muestreo el embalse no se encontraba estratificado.
- El pH en este embalse de tipo 13 desciende con la profundidad a partir de los 10 m; encontrándose el valor máximo a esta profundidad, 7,95, y que coincide con el valor medio de la ZF.
- La conductividad registrada es muy baja, se observa un descenso de la conductividad hasta los 12 m de profundidad, a partir de aquí es constante hasta los 39 m donde se observa una tendencia ascendente con la profundidad. La conductividad oscila entre un mínimo de 52 µS/cm a 12 m de profundidad y un máximo de 69 µS/cm en el fondo. La geología silíceo y la procedencia nival de las aguas son responsables de la débil mineralización de este embalse.

Análisis global de resultados por tipos de embalses.

La transparencia del agua evaluada por el Disco de Secchi en los embalses de tipo 13 presentan los valores más elevados, frente al tipo 9 que presenta los valores más bajos, cabe destacar la transparencia de los embalses del tipo 12 (figura 20).

El máximo absoluto correspondió a Llauset (tipo 13), con 15 m. El mínimo absoluto de transparencia (0,3 m) correspondió al embalse de Moneva, del tipo 10.

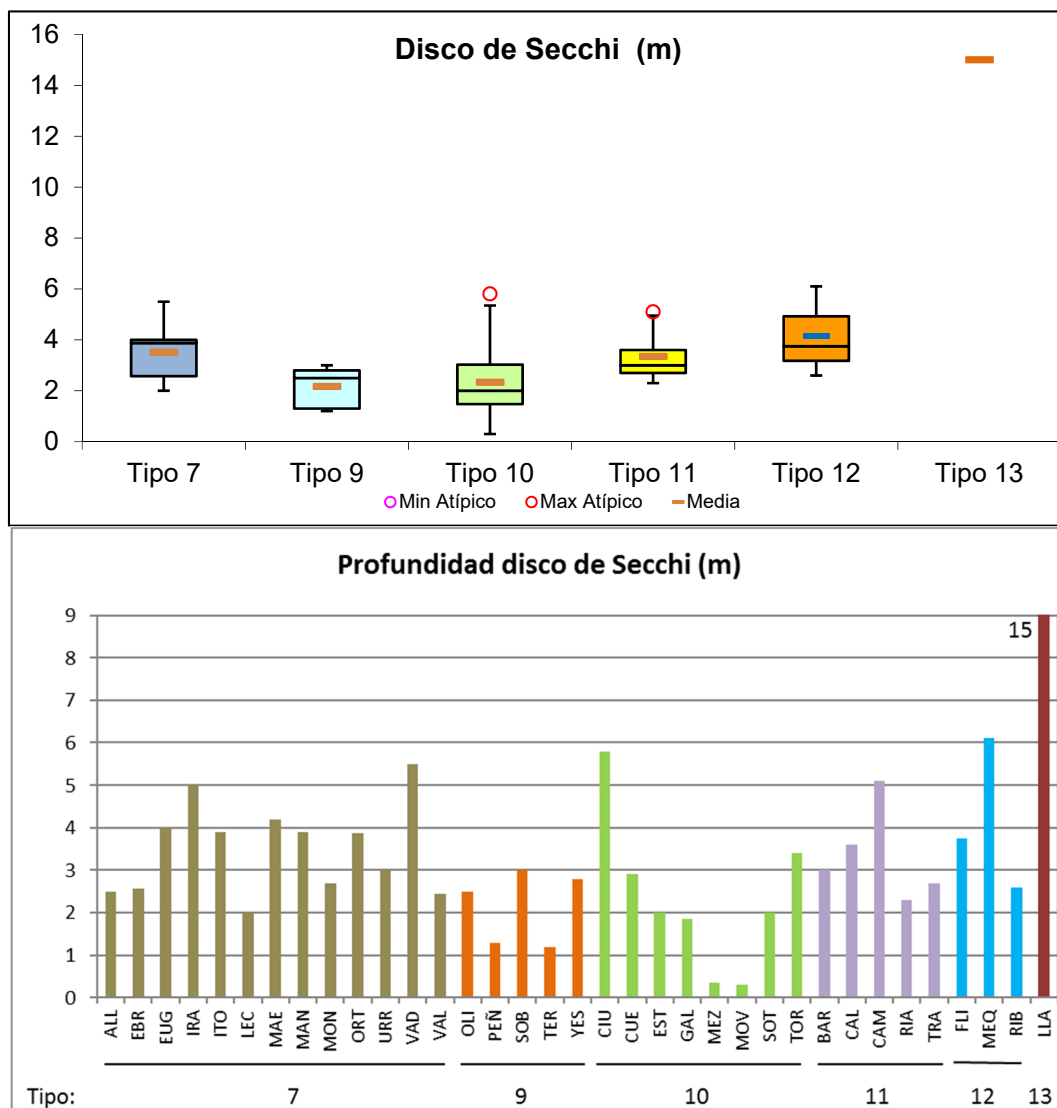


Figura 20. Transparencia (DS) para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Tipos: 7: calcáreo / húmedo / cabecera / frío; 9: calcáreo / húmedo / red principal; 10: calcáreo / no húmedo / cabecera; 11: calcáreo / no húmedo / red principal; 12: calcáreo / no húmedo/ eje parte baja; 13: húmedo / alta montaña. La columna coloreada representa el intervalo p25-p75, el segmento interior negro es la mediana, el segmento coloreado es el promedio de los datos; los segmentos verticales representan el rango de los datos (sin contar valores atípicos) y los círculos coloreados son los valores extremos.

En cuanto a **la temperatura** de los embalses, considerando la media en la ZF (menos influenciada que la superficial por las condiciones meteorológicas inmediatas o por la hora del muestreo), observamos en la figura 21 que las temperaturas medias de los tipos aumentan progresivamente del tipo 7 al tipo 12, y las mínimas se dan en el tipo 13, embalses de alta montaña. La diferencia entre la temperatura mínima del tipo 13 (10,33 °C) y la máxima del tipo 12 (23,58 °C), es de 13 grados. Destacar la temperatura máxima absoluta del tipo 10 en el embalse de Moneva con 25,92 °C. La relación directa y negativa de la temperatura media en la ZF con la altitud del embalse se puede apreciar en la figura 22. Esta relación es significativa ($r=0,601$; $n=35$; $p<0,001$).

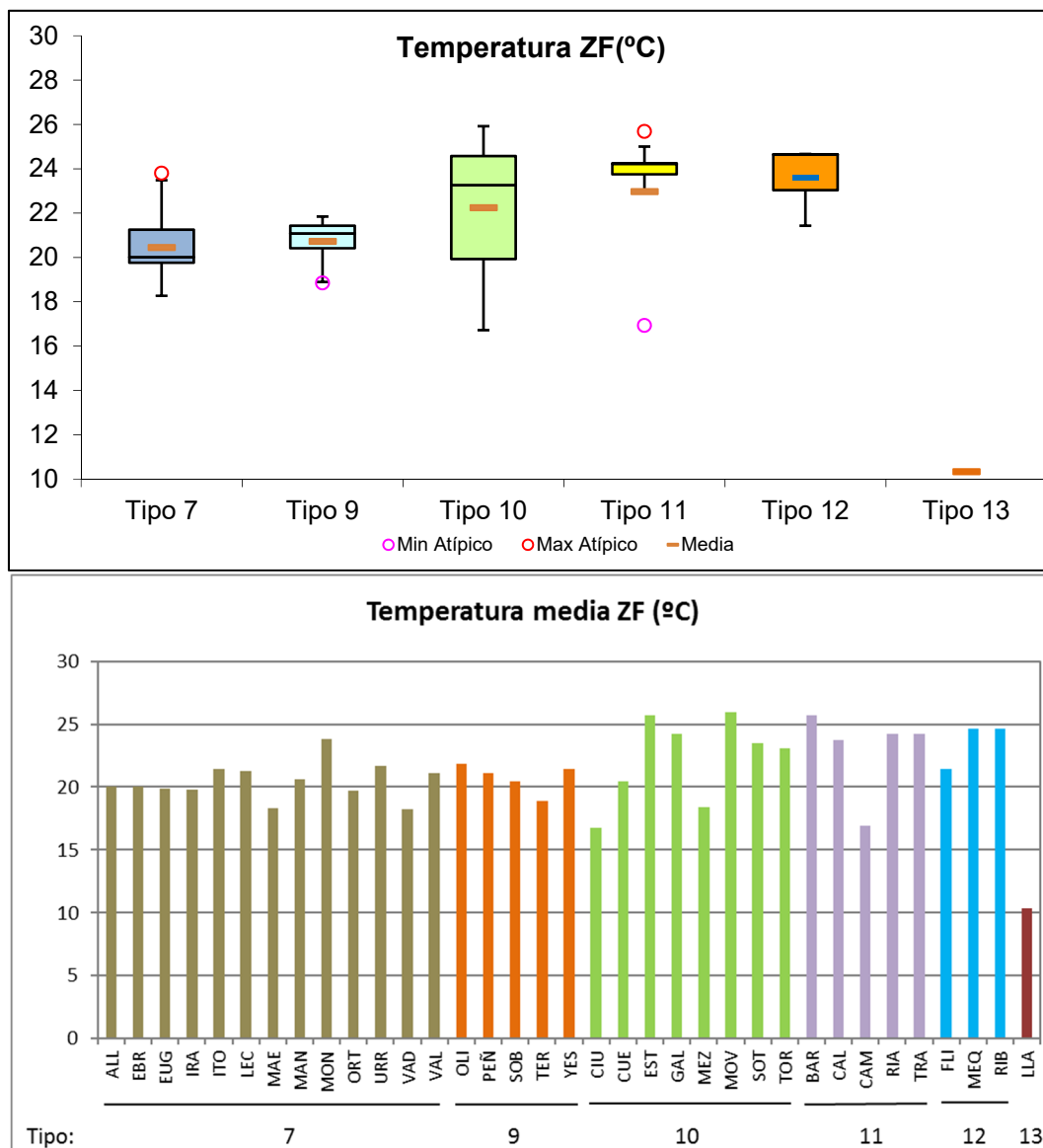


Figura 21. Valores de temperatura (media en la zona fótica) para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 20.

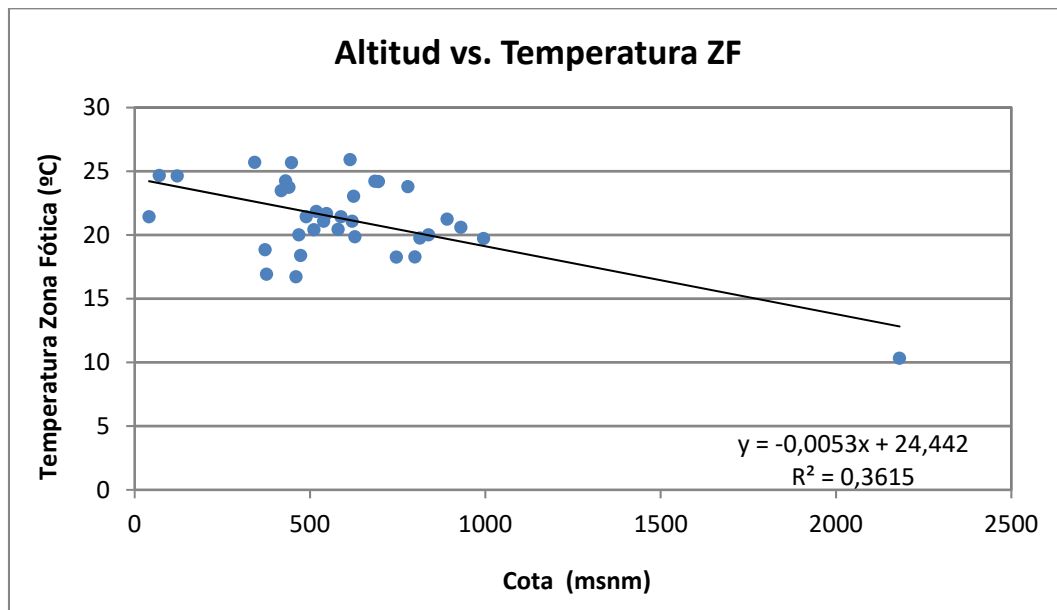


Figura 22. Regresión lineal de la temperatura (media zona fótica) frente a la altitud (en la presa).

En la siguiente figura 23 se muestran dos ejemplos de perfiles térmicos, un embalse bien estratificado (Ciurana) y otro no estratificado (Irabia).

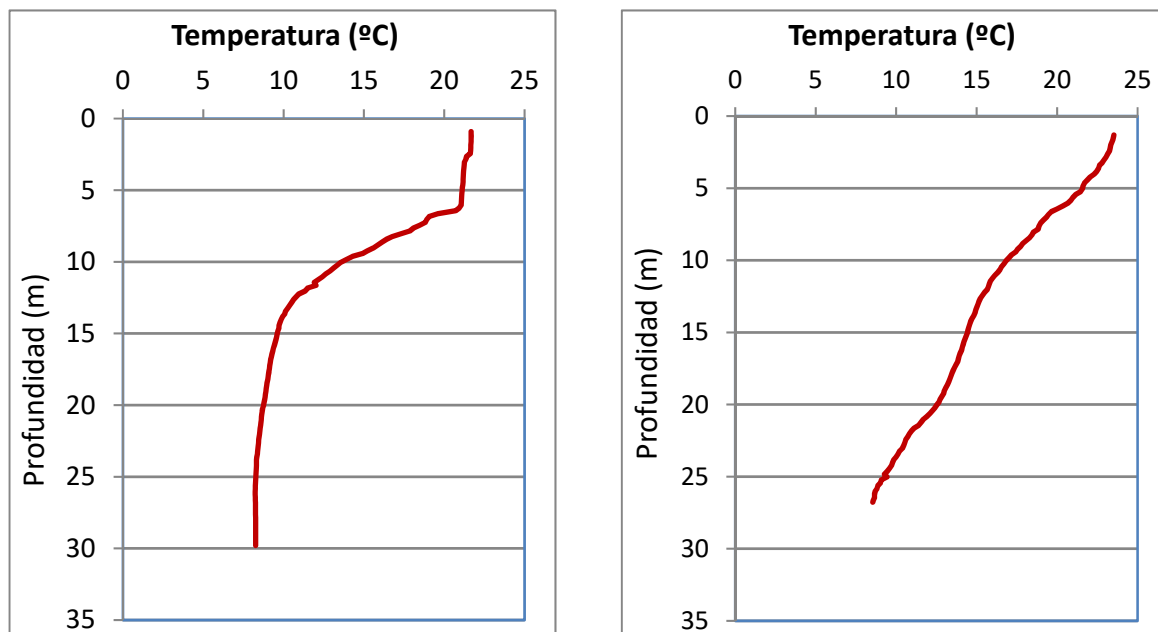


Figura 23. Perfiles de temperatura para los embalses de Ciurana (izquierda) e Irabia (derecha) en 2017.

Respecto al pH (media de la ZF), resaltan los valores de pH más bajos en el tipo 13 (figura 24), aunque hay que destacar los valores tan bajos en el tipo 12. El resto de los tipos tienen medias similares, siendo el promedio más elevado el del tipo 11. El valor puntual más alto se ha observado en el embalse de Oliana (tipo 9) a 1 m de profundidad, con un valor de 8,82 y el más bajo en el embalse de Irabia (tipo 7) a 20 m de profundidad, con un valor de 7,06.

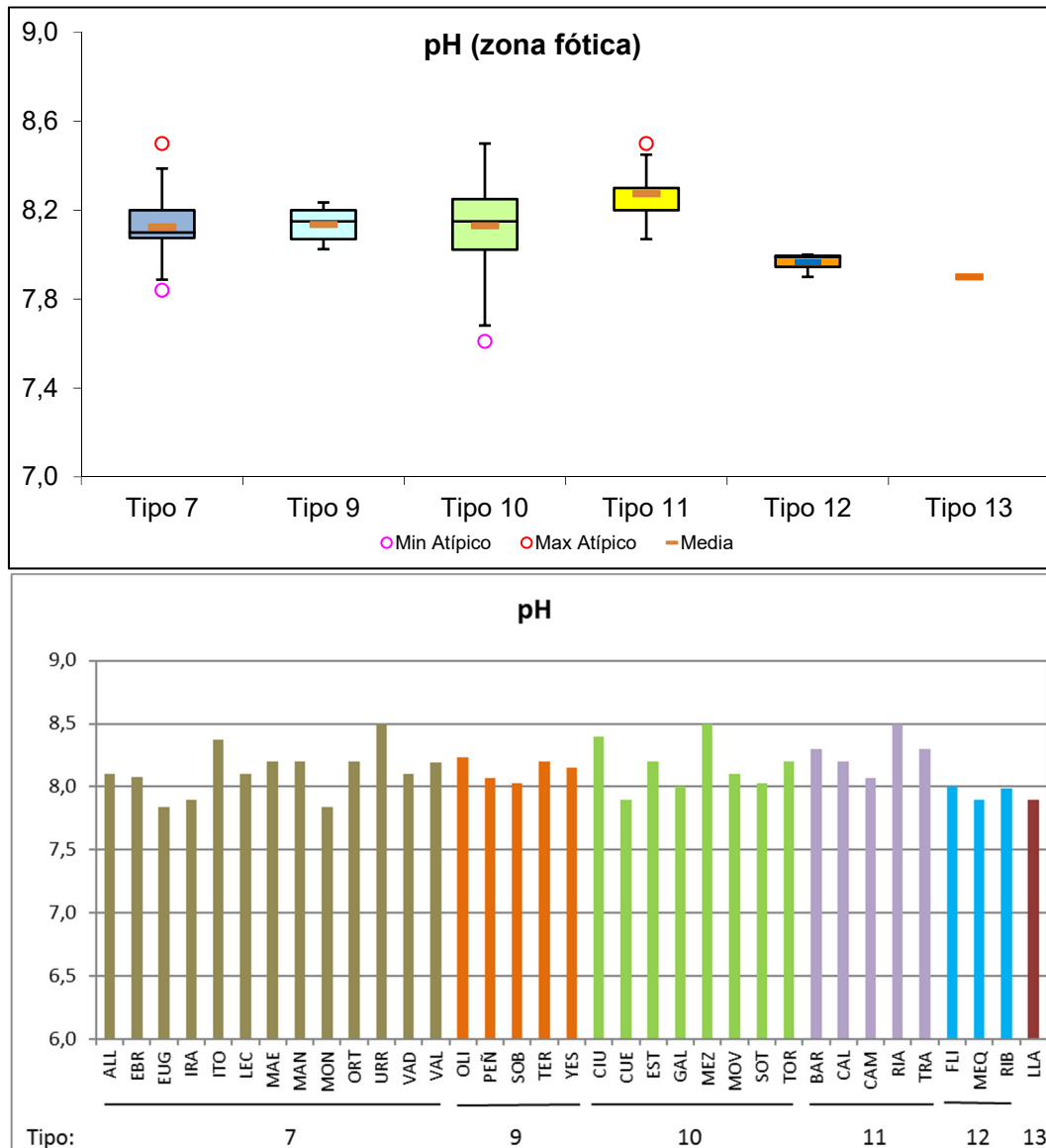


Figura 24. Valores de pH (media de la zona fótica) para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 20.

La tendencia general observada en los perfiles de pH es un descenso con la profundidad, detectando un máximo epilimnético coincidente con la zona de máximo oxígeno. Los ejemplos de la figura 25, muestran los embalses de Ciurana con un máximo metalimnético y un mínimo hipolimnético e Irabia con un máximo epilimnético y un mínimo metalimnético.

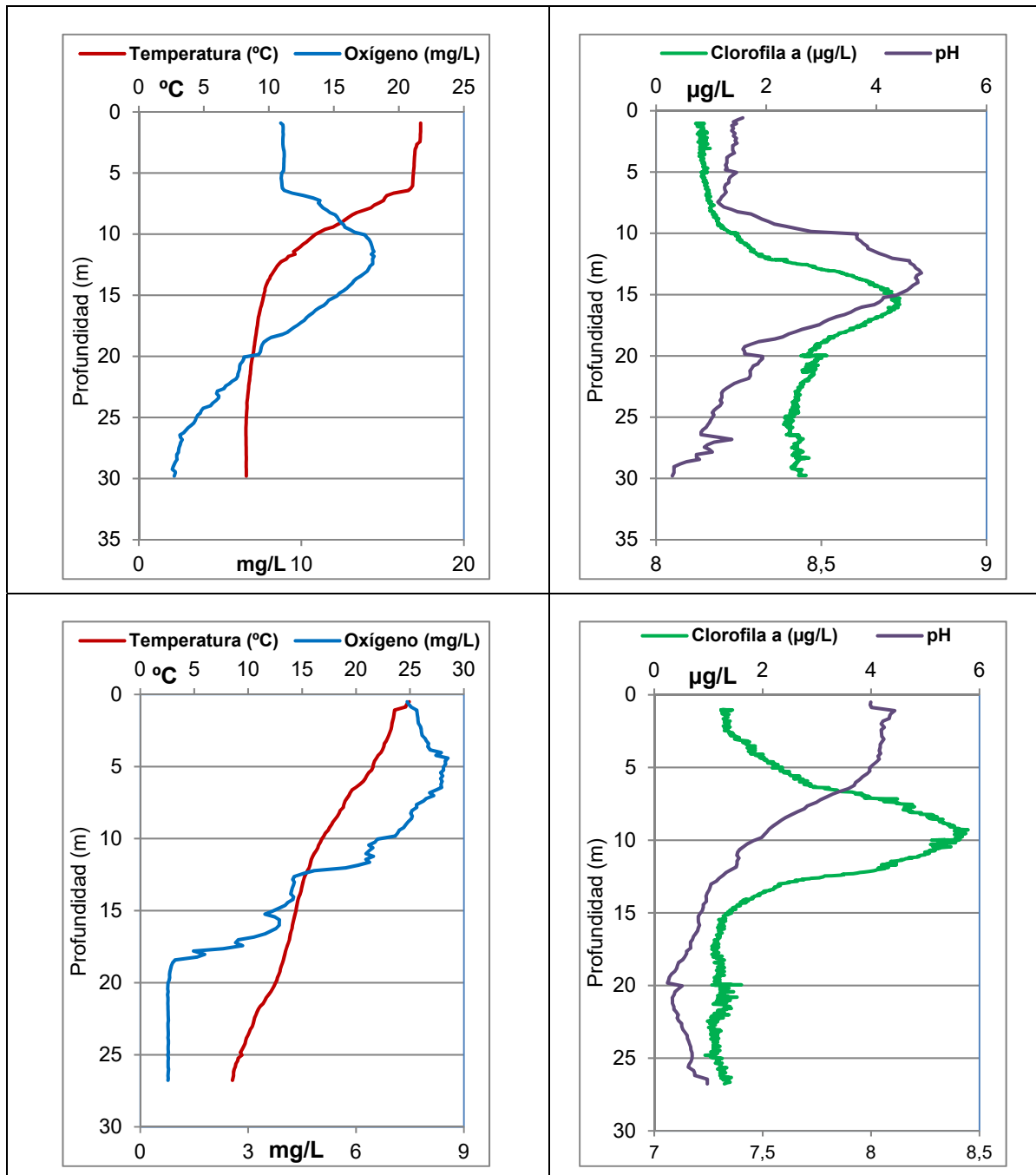


Figura 25. Perfiles verticales de oxígeno, temperatura, Clorofila a y pH para los embalses de El Val (arriba) y Santa Ana (abajo), en la campaña de 2017.

Los cambios de pH dentro de un mismo cuerpo de agua están relacionados principalmente con la concentración de dióxido de carbono, el cual tiene carácter de ácido débil. Los organismos vegetales demandan dióxido de carbono durante la fotosíntesis, de tal forma que este proceso determina en parte la fluctuación de pH y es así como se eleva durante el día debido a la actividad fotosintética y disminuye en la noche por la respiración y por ello también varía a lo largo de la columna de agua.

Respecto a la **conductividad** media en la zona fótica (figura 26), los valores más elevados se dan en el tipo 12 con 1113 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de media, conteniendo el valor más alto. Mientras que el valor más bajo se da en el tipo 13, embalse de alta montaña, con 54 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El valor más alto se ha registrado en el embalse de Lechago (tipo 7) con 1552 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

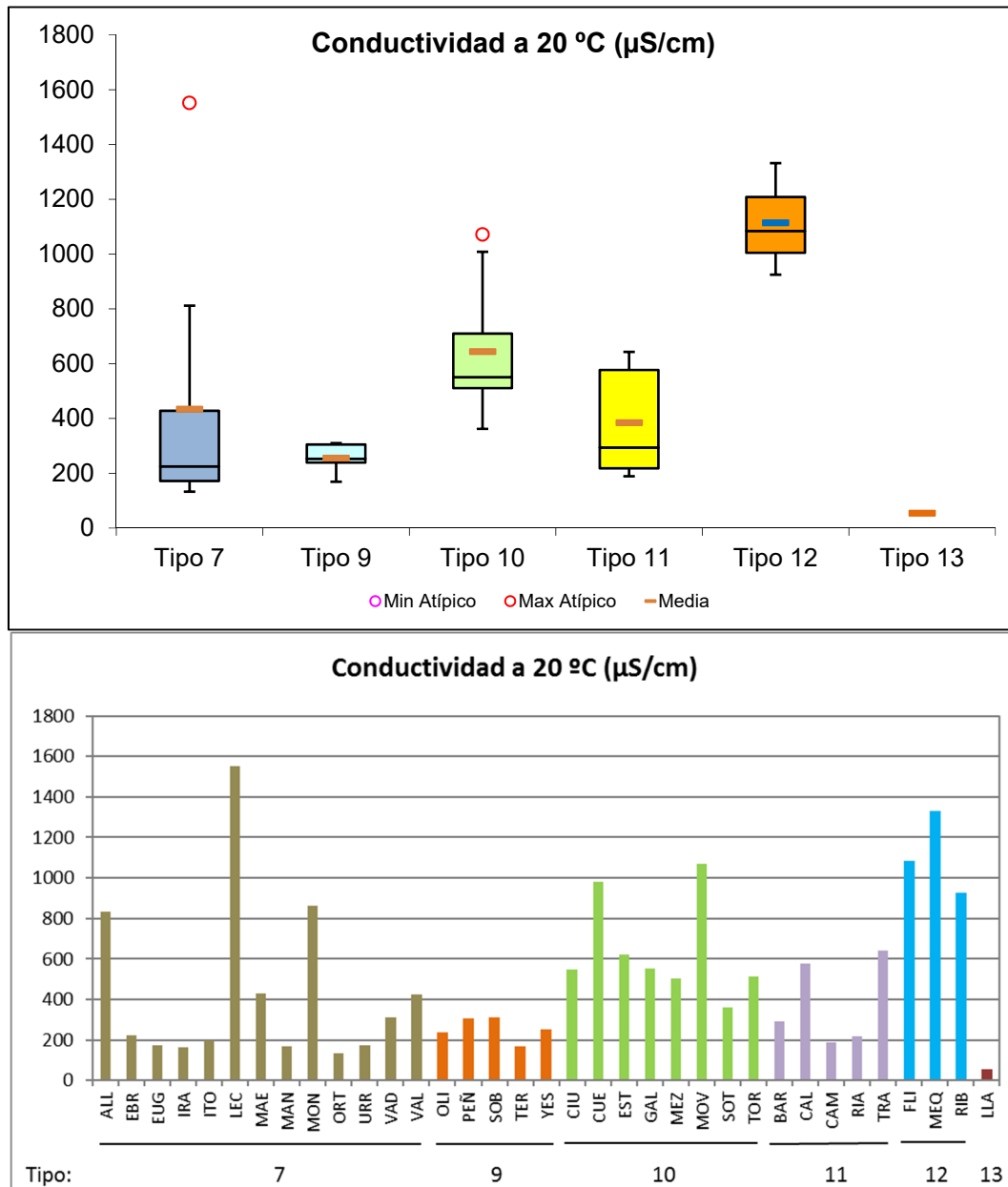


Figura 26. Valores de conductividad media (zona fótica) para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 20.



El dato extremo, máximo absoluto del ESTUDIO, se encuentra en el fondo del embalse de Alloz, con un valor de 2139 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La tendencia general observada (en los casos de variabilidad de la conductividad en profundidad) es un aumento paulatino de conductividad con la profundidad, con valores mínimos en superficie. Se encuentran algunas excepciones en embalses como Ciurana, Eugui, Mequinzenza, La Peña y los perfiles de septiembre de Oliana y Ortigosa, donde se alcanzan mínimos de conductividad en el metalimnion o en el hipolimnion. En cambio, en los embalses de Barasona, Ebro, Rialb y Mansilla el máximo de conductividad se registra cerca de la superficie, entre los 5 y los 10 metros de profundidad. En los demás embalses las variaciones son poco relevantes.

Las anomalías de la conductividad en el perfil vertical hay que explicarlas ayudándonos del perfil de valores de otras variables, para tratar de establecer la existencia de corrientes de densidad en capas concretas del perfil o aumentos debidos a la disolución de sales del sustrato o a la redisolución de compuestos que precipitan en el epi-metalimnion y se redisuelven y acumulan en el hipolimnion por cambios de la solubilidad, por ejemplo de los carbonatos en función de la concentración de CO_2 y el pH, entre otras muchas causas a estudiar en cada caso concreto.

La figura 27 muestra un ejemplo de las variaciones que pueden observarse en el perfil vertical en dos embalses en concreto, el de Alloz donde la conductividad aumenta paulatinamente hasta el fondo, y el de Rialb, donde el máximo de conductividad se encuentra al final de la termoclina y luego hay otro máximo puntual.

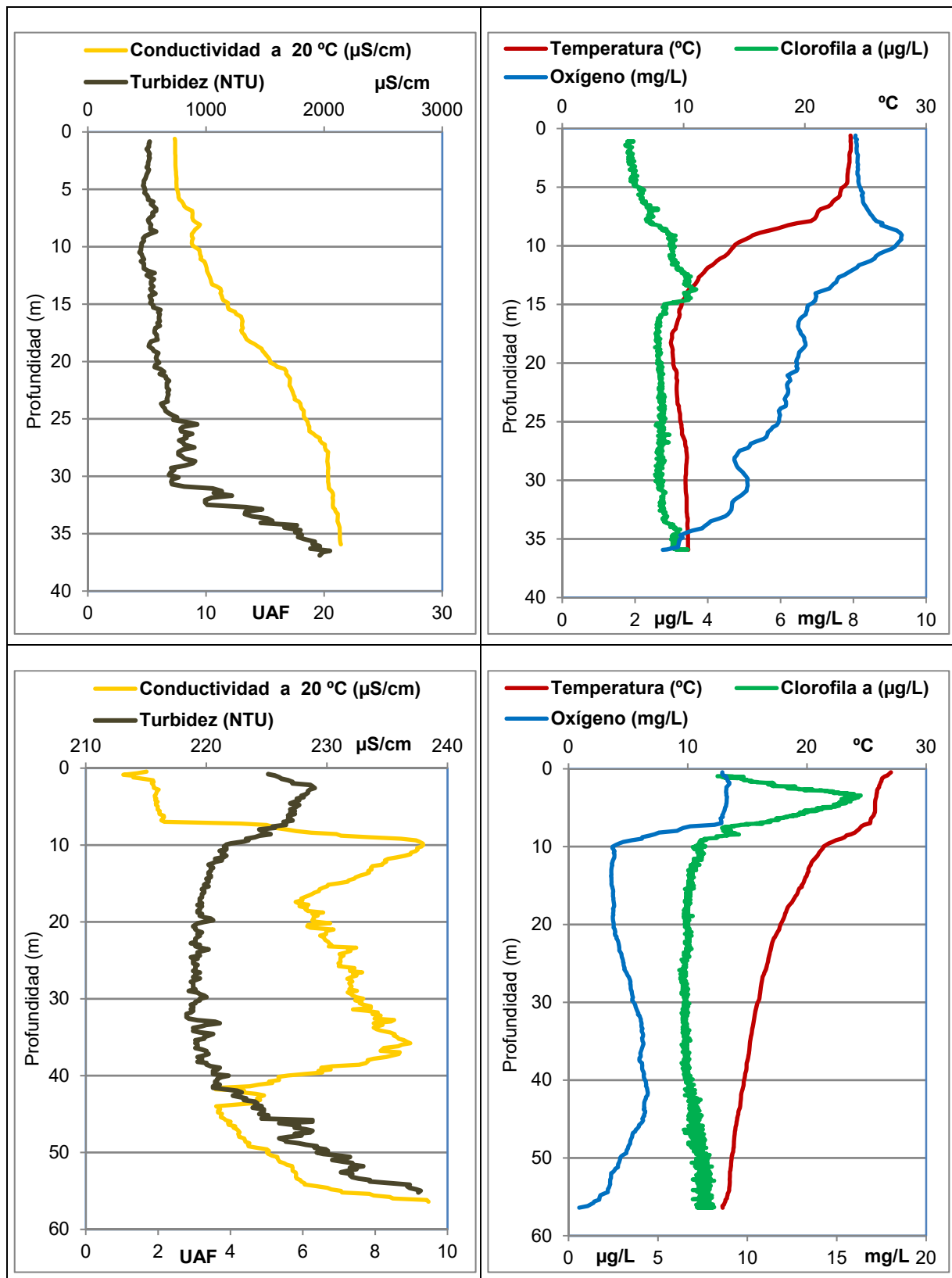


Figura 27. Perfiles de conductividad, temperatura, Clorofila a y oxígeno para los embalses de Alloz en la parte superior, y Rialb en la parte inferior, durante la campaña de 2017.

4.2.2. Alcalinidad

Las tendencias observadas en relación con la alcalinidad medida en la ZF (muestra integrada) se muestran en la figura 28. El tipo 13 muestra el valor más bajo de alcalinidad, con 0,2 meq/L. Los embalses de tipo 12 (calcáreo / no húmedo / tramos bajos de ejes principales) muestran las alcalinidades más elevadas con valores de 2,7 meq/L. Puntualmente, el valor más elevado se ha registrado en la muestra integrada de Ciurana (tipo 10) con 3,16 meq/L. El valor más alto de todo el ESTUDIO se ha encontrado también en el embalse de Ciurana en la muestra de fondo con 3,92 meq/L.

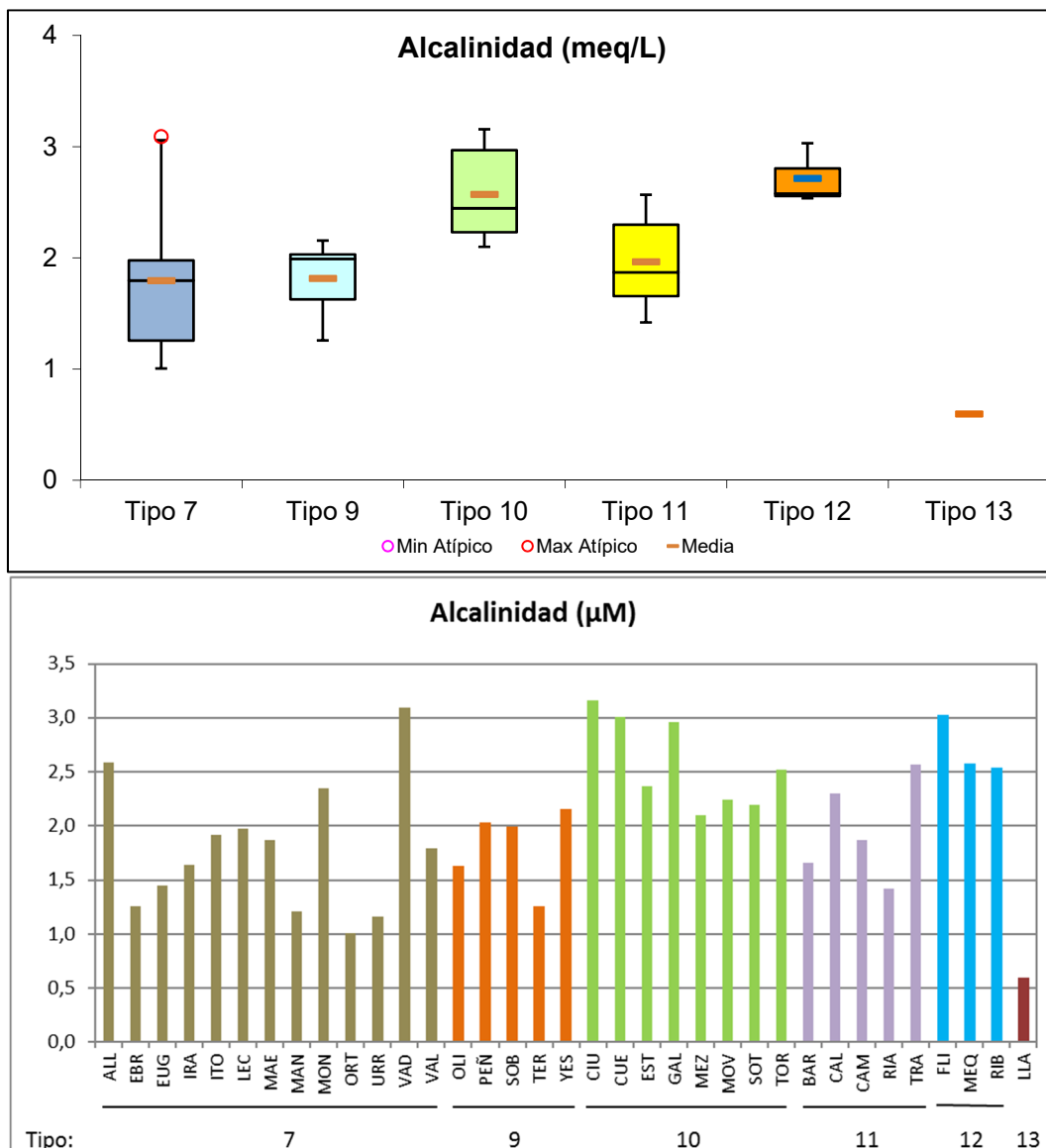


Figura 28. Valores de alcalinidad para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 20.

4.2.3. Turbidez

La turbidez fue baja en casi todos los tipos de embalses (figura 29), aunque si se aprecia un valor bastante más bajo en el tipo 13, con una media de 0,8 UAF. El valor más alto es el del tipo 10 con 12,6 UAF. El valor promedio para todos los embalses se encuentra en 5,0 UAF. El valor más bajo en la muestra integrada corresponde a Vadiello con 0,7 UAF, tipo 7, mientras que el valor máximo de todos los embalses es para el embalse de Moneva con 42,9 UAF, tipo 10, seguido de Mezalocha, también del tipo 10, con 40,4 UAF.

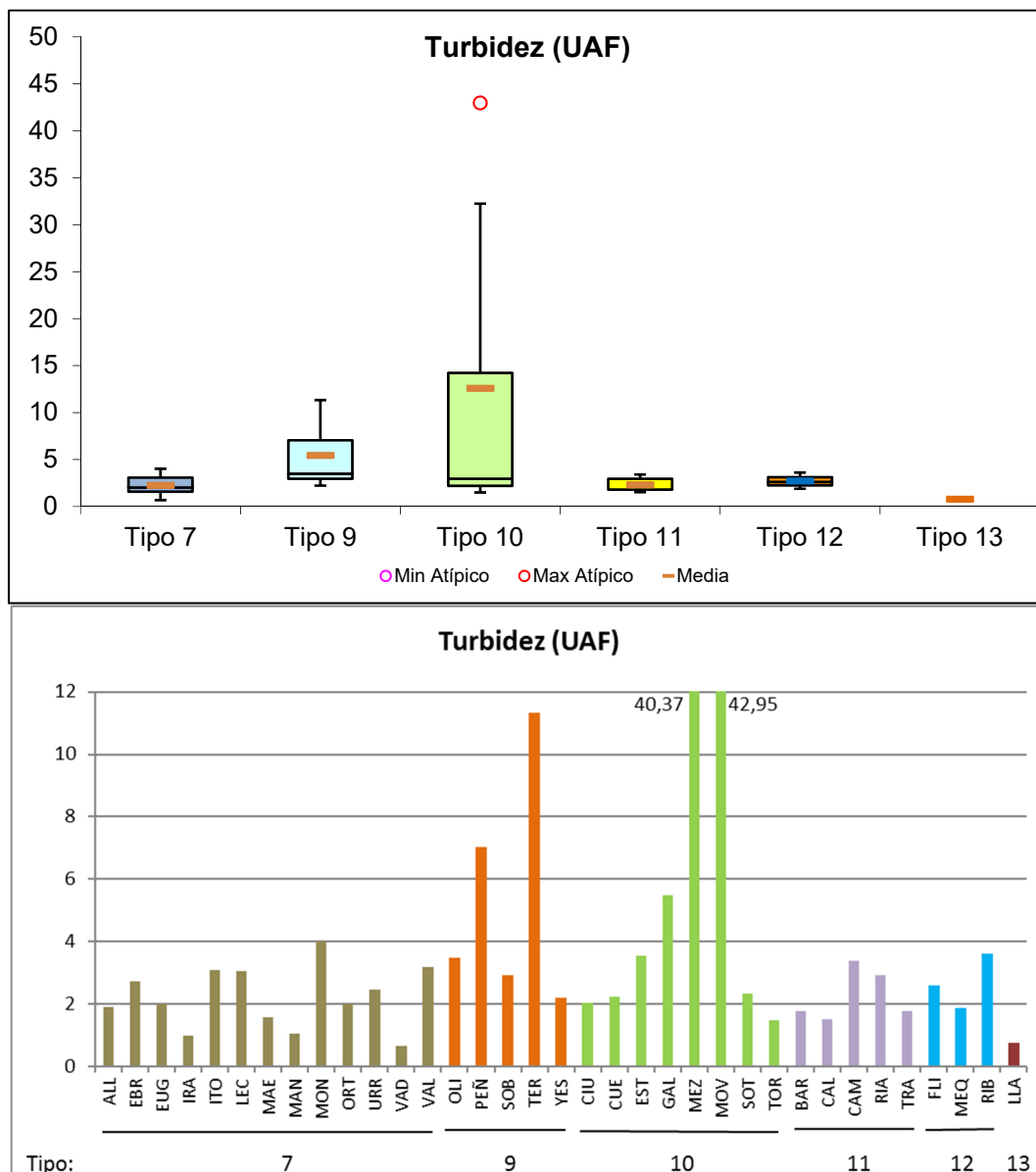


Figura 29. Valores de turbidez (UAF) para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 20.

Los embalses de Moneva y Mezalocha en el momento de muestreo se encontraban tan solo al 10 % de su capacidad; por tanto, en estas masas de agua muy someras el fuerte viento provoca una gran resuspensión del sedimento.

Las medidas observadas en relación con la turbidez en la zona fótica (muestra integrada analizada en laboratorio) muestran una relación negativa, de tipo potencial, significativa ($r=0,903$; $n=35$; $p<0,001$) con la transparencia medida en campo (disco de Secchi, DS). Dicha relación se muestra en la figura 30. Así, los embalses antes citados con mayor turbidez son también los que han presentado menor profundidad de visión del Disco de Secchi, con valores inferiores a 0,5 m.

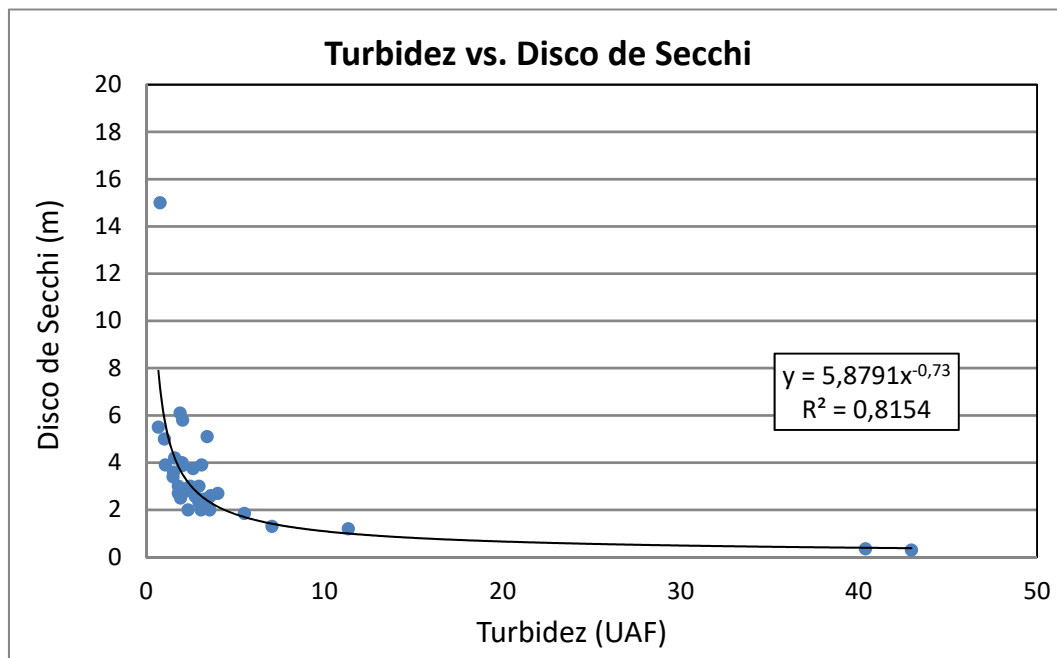


Figura 30. Relación entre la turbidez en la zona fótica (UAF) y la transparencia (disco de Secchi (m)). Se indica la curva y la ecuación de regresión, así como el valor de R^2 .



4.2.4. Condiciones de oxigenación

Se ha estimado la reserva media de oxígeno hipolimnético en el periodo de estratificación. Además de ser una variable de respuesta trófica, es un elemento fundamental para el desarrollo de la vida piscícola; de ahí que los umbrales se hayan jerarquizado en función de los requisitos de O₂ de esta comunidad.

Por tanto, la metodología empleada para la determinación de la calidad en base a las condiciones de oxigenación depende de la estratificación del embalse:

- Embalses ESTRATIFICADOS: Se toma el valor medio de la concentración de oxígeno disuelto en el HIPOLIMNION.
- Embalses NO ESTRATIFICADOS: Se toma el valor medio de la concentración de oxígeno disuelto en TODA LA COLUMNA DE AGUA

A este particular, se han establecido las siguientes clases de calidad:

- *Muy buenas condiciones*: concentración por encima de 8 mg O₂ /L
- *Buenas condiciones*: concentración entre 8 y 6 mg O₂/L
- *Moderadas condiciones*: concentración entre 6 y 4 mg O₂/L
- *Deficientes condiciones*: concentración de entre 4 y 2 mg O₂/L
- *Malas condiciones*: concentraciones hipóxicas o anóxicas (<2 mg O₂ /L).

La clasificación aquí considerada es semejante a la empleada por otros autores para la clasificación de las condiciones de oxigenación en lagos de agua dulce en el ámbito europeo (Premazzi & Chiaduanni, 1992).

En la tabla 8 y la figura 31, se resumen los resultados obtenidos.

Tabla 8. Condiciones de oxigenación en la columna de agua y clases de calidad.

CÓDIGO MAS	EMBALSE	FECHA	OXÍGENO EPILIMNION O MEDIA EN LA COLUMNA (mg O ₂ /L)	OXÍGENO HIPOLIMNION (mg O ₂ /L)	CLASE CALIDAD
1	Ebro	Promedio	6,32	-	Bueno
2	Urrúnuga	24/07/2017	5,73	No estratificado	Moderado
4	Irabia	18/07/2017	4,46	No estratificado	Moderado
6	Eugui	19/07/2017	7,66	3,74	Deficiente
22	Sobrón	Promedio	2,11	-	Deficiente
27	Alloz	17/07/2017	8,13	5,67	Moderado
37	Yesa	04/07/2017	7,60	No estratificado	Bueno
44	La Peña	04/07/2017	7,62	No estratificado	Bueno
51	Vadiello	28/06/2017	7,92	7,84	Bueno
53	Oliana	Promedio	2,17	-	Deficiente
56	Barasona	08/08/2017	7,03	No estratificado	Bueno
59	Terradets	10/07/2017	7,85	No estratificado	Bueno
61	Mansilla	27/06/2017	6,68	No estratificado	Bueno
62	Sotonera	09/08/2017	5,08	No estratificado	Moderado
63	Rialb	07/08/2017	8,76	3,22	Deficiente
65	Camarasa	07/06/2017	8,71	No estratificado	Muy bueno
68	El Val	Promedio	3,23	-	Deficiente
70	Mequinenza	01/08/2017	1,38	No estratificado	Malo
71	Mezalocha	03/07/2017	8,68	No estratificado	Muy bueno
73	Ciurana	06/06/2017	8,86	8,41	Muy bueno
74	Flix	01/08/2017	3,13	No estratificado	Deficiente
75	Las Torcas	19/06/2017	9,64	No estratificado	Muy bueno
76	La Tranquera	26/07/2017	5,21	No estratificado	Moderado
77	Moneva	19/06/2017	5,49	No estratificado	Moderado
80	Cueva Foradada	20/06/2017	7,77	0,98	Malo
82	Calanda	31/07/2017	5,61	No estratificado	Moderado
86	Itoiz	18/07/2017	8,25	7,33	Bueno
87	Lechago	12/06/2017	4,60	No estratificado	Moderado
913	Gallipuéñ	20/06/2017	5,06	No estratificado	Moderado
916	Ortigosa	Promedio	6,06	-	Bueno
949	Ribarroja	02/08/2017	4,87	No estratificado	Moderado
1022	Estanca de Alcañiz	31/07/2017	7,21	No estratificado	Bueno
1053	Llauset	11/07/2017	9,48	No estratificado	Muy bueno
1681	Monteagudo de las Vicarias	21/06/2017	5,82	No estratificado	Moderado
RIO823	Maidevera	14/06/2017	9,14	1,78	Malo

Los datos de la oxigenación en la columna de agua se pueden resumir en los siguientes puntos:

- De las masas de agua estudiadas, 11 presentaron estratificación en el muestreo de principio de verano, lo que suponen el 31,4 % del total. De los embalses muestreados a final de verano solo el embalse de Oliana estaba estratificado.
- La calidad de las masas de agua según la oxigenación es buena o muy buena en un 42,8 % de los embalses, como se refleja en la figura 33.

➤ Las masas de agua con niveles bajos de oxigenación (nivel de calidad deficiente o mala, un 25,7 %) coinciden con masas de agua estratificadas que presentan un hipolimnion poco oxigenado o anóxico, o masas no estratificadas con anoxia en las capas del fondo.

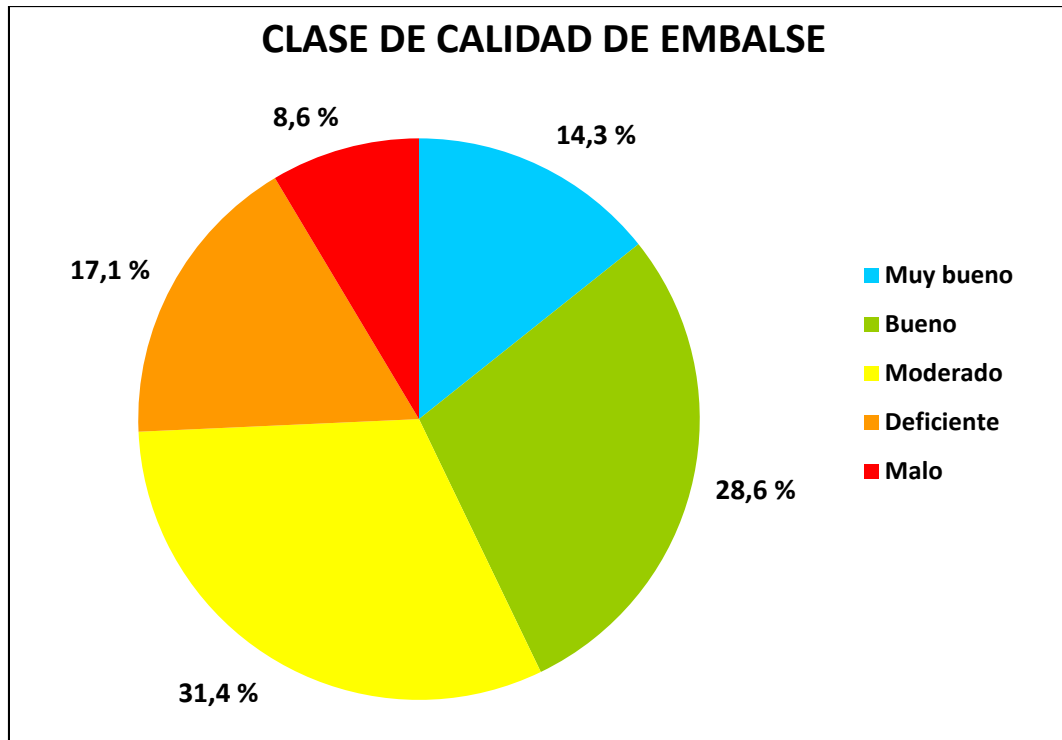


Figura 31. Estimaciones de la calidad de los embalses según el grado de oxigenación en 2017.

Considerando las concentraciones medias de oxígeno en la columna de agua de los embalses no estratificados, e hipolimnion de los embalses estratificados, para los diferentes embalses, se observa cómo, en general, los embalses estudiados presentan una moderada oxigenación, siendo el valor más bajo para el tipo 12 (figura 32), con un valor de 3,1 mg/L y por tanto con una clase de deficiente calidad. Destaca la baja oxigenación (valor inferior a 4 mg O₂/L) en el promedio de la columna de agua en los embalses de Flix (3,13 mg/L) y Mequinenza (1,38 mg/L). Los máximos de oxígeno se alcanzan normalmente a profundidades comprendidas entre los 2 y los 12 metros. El máximo de oxígeno puntual se encuentra en Ciurana (tipo 10) y se sitúa a unos 12 m de profundidad, con un valor de 14,47 mg/L. Los tipos 7, 9, 10, 11 y 12 presentan algún embalse con zona anóxica, siendo un total de 18 embalses con zona anóxica. Las más importantes por su espesor son las de Mequinenza con 40 m, Maidevera con 14 m, Oliana con 12 m y Sobrón con 11,9 m. En otros 17 embalses no existe zona anóxica.

Para el muestreo de final de verano la zona anóxica del embalse de Oliana había aumentado a 13 m por la estratificación de la masa de agua y en El Val se había generado una anoxia de 12 m de profundidad.

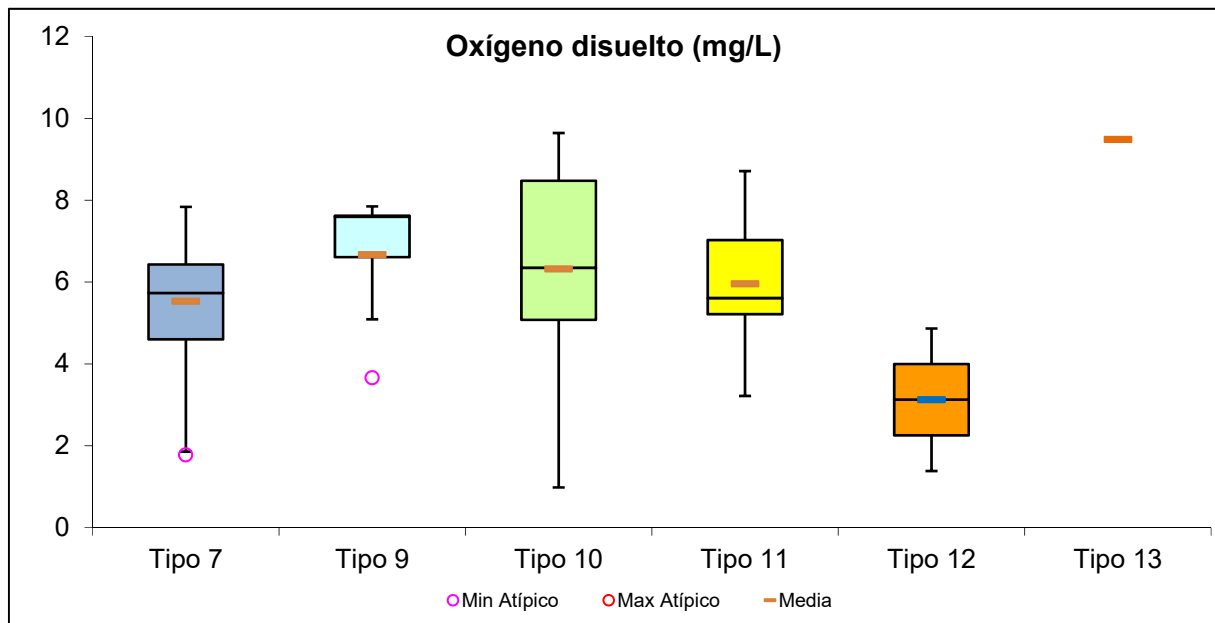


Figura 32. Concentraciones de oxígeno disuelto hipolimnético o de la columna para los diferentes tipos de embalses del ESTUDIO. Tipología de embalses: 7: calcáreo / húmedo / cabecera / frío; 9: calcáreo / húmedo / red principal; 10: calcáreo / no húmedo / cabecera; 11: calcáreo / no húmedo / red principal; 12: calcáreo / no húmedo/ eje parte baja; 13: húmedo / alta montaña. La columna coloreada representa el intervalo p25-p75, el segmento interior negro es la mediana, el segmento coloreado es el promedio de los datos; los segmentos verticales representan el rango de los datos (sin contar valores atípicos) y los círculos coloreados son los valores extremos.

4.2.5. Concentración de nutrientes.

La concentración de los diferentes nutrientes -analizados en las muestras integradas (ZF)- de cada uno de los embalses muestreados durante el 2017, se puede consultar en la siguiente tabla (tabla 9). Tras ello se describen los resultados por tipos de embalses, destacando aquellos datos o tendencias más relevantes en cada uno de ellos. En embalses con dos muestras se presenta el valor promedio.



Tabla 9. Concentración de nutrientes en los embalses estudiados en 2017. ² Embalse muestreado en dos ocasiones:

Abrev	Tipo	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	NIO (mg N/L)	Amonio (mg N/L)	NIT ng N/L)	Ntot (mg N/L)	Ptot (µg P/L)	Psol (µg P/L)	Silicato (mg SiO ₂ /L)
ALL	7	7,07	0,041	1,61	0,010	1,618	1,64	2,90	0,98	0,82
EBR ²	7	0,75	0,013	0,17	0,015	0,188	0,47	17,92	2,10	1,07
EUG	7	0,37	0,007	0,09	0,025	0,112	0,28	5,46	0,49	1,93
IRA	7	0,44	0,007	0,10	0,028	0,130	0,32	8,53	0,33	1,66
ITO	7	0,99	0,021	0,23	0,010	0,241	0,33	3,93	0,82	0,99
LEC	7	2,91	0,043	0,67	0,030	0,701	1,02	12,59	7,07	12,88
MAE	7	6,88	0,050	1,57	0,025	1,594	2,07	7,74	6,23	0,82
MAN	7	0,93	0,022	0,22	0,048	0,264	0,39	11,99	2,59	3,35
MON	7	1,80	0,032	0,42	0,062	0,478	0,88	10,94	0,98	4,98
ORT ²	7	0,12	0,00	0,03	0,003	0,030	0,17	8,88	1,14	1,77
URR	7	1,18	0,016	0,27	0,011	0,282	0,45	12,21	1,65	2,44
VAD	7	0,06	0,002	0,01	0,003	0,017	0,15	2,43	0,49	2,72
VAL ²	7	5,58	0,134	1,30	0,054	1,354	4,80	47,79	7,55	1,53
OLI ²	9	1,52	0,045	0,36	0,019	0,375	0,68	19,84	0,76	2,385
PEÑ	9	0,87	0,020	0,20	0,023	0,225	0,39	13,30	0,49	3,41
SOB ²	9	0,76	0,025	0,18	0,054	0,234	0,51	22,69	4,46	3,04
TER	9	0,99	0,017	0,23	0,012	0,241	0,35	13,77	1,86	4,55
YES	9	1,24	0,012	0,28	0,013	0,297	0,40	2,24	0,33	1,91
CIU	10	0,06	0,005	0,02	0,071	0,087	0,26	9,92	0,82	2,85
CUE	10	1,80	0,045	0,42	0,160	0,580	0,95	40,70	1,14	4,02
EST	10	1,61	0,030	0,37	0,029	0,402	0,61	14,28	0,32	4,89
GAL	10	1,18	0,025	0,27	0,033	0,307	0,61	19,15	0,65	1,13
MEZ	10	5,64	0,100	1,30	0,087	1,391	1,69	52,32	2,46	10,64
MOV	10	0,14	0,026	0,04	0,098	0,137	1,03	139,02	2,29	10,12
SOT	10	1,61	0,037	0,38	0,016	0,391	0,54	13,93	0,00	3,12
TOR	10	17,48	0,088	3,97	0,016	3,991	4,66	1,88	1,80	1,83
BAR	11	2,11	0,015	0,48	0,018	0,499	0,56	7,96	0,00	3,18
CAL	11	4,03	0,025	0,92	0,022	0,939	1,04	6,12	1,76	3,76
CAM	11	0,99	0,010	0,23	0,010	0,237	0,33	4,96	0,16	4,03
RIA	11	0,56	0,026	0,13	0,021	0,156	0,38	21,70	1,31	0,32
TRA	11	4,96	0,077	1,14	0,041	1,185	1,72	19,95	0,66	5,28
FLI	12	8,37	0,124	1,93	0,038	1,966	1,96	39,61	26,49	5,81
MEQ	12	7,19	0,079	1,65	0,034	1,682	1,84	21,08	2,23	2,95
RIB	12	7,56	0,130	1,75	0,038	1,786	2,04	30,60	0,64	6,14
LLA	13	0,99	0,005	0,23	0,009	0,235	0,26	2,41	2,20	3,03

A Tipo 7. Alloz, Ebro, Eugui, Irabia, Itoiz, Lechago, Maidevera, Mansilla, Monteagudo de las Vicarías, Ortigosa, Urrúnaga, Vadiello y El Val.

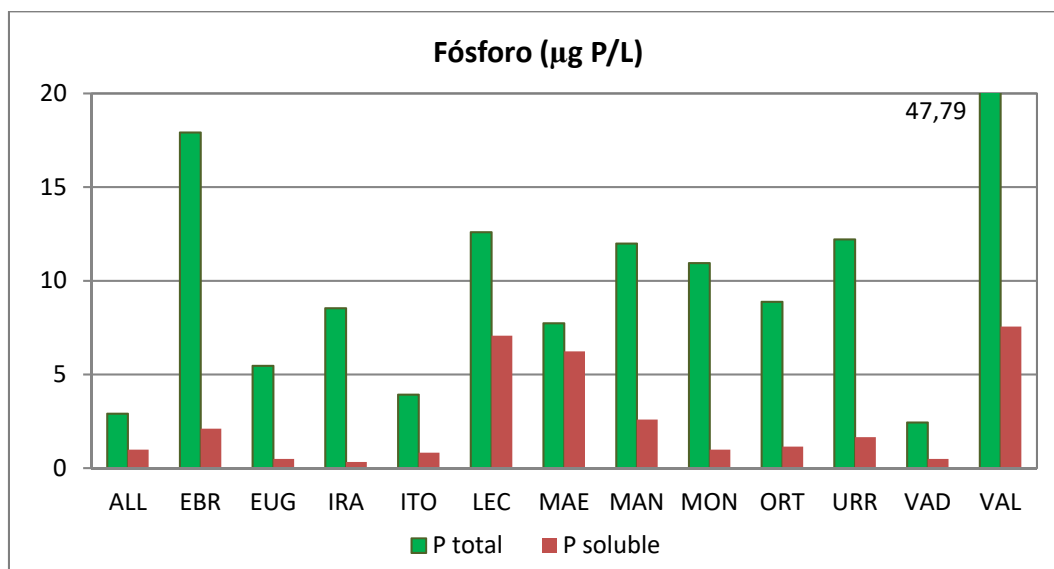


Figura 33. Valores de Fósforo total y soluble en la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 7.

➤ El fósforo total en los embalses de tipo 7 presenta una media de 11,79 µg P/L. El rango de variación oscila entre los 2,43 µg P/L del embalse de Vadiello, hasta los 47,79 µg P/L del embalse de El Val, muy por encima de la media, como puede verse en la figura 33. También la superan los embalses del Ebro, Lechago y Urrúnaga. Además, se puede observar que tres de los trece embalses se sitúan muy por debajo de la media, Alloz, Itoiz y Vadiello. La concentración de P soluble media es muy similar a la media de todos los embalses con una concentración de 2,49 µg P/L. El valor más elevado se encontró en el embalse de El Val, con un valor de 7,55 µg P/L. Hay que destacar el bajo P soluble registrado en el Ebro respecto a la cantidad de P total.

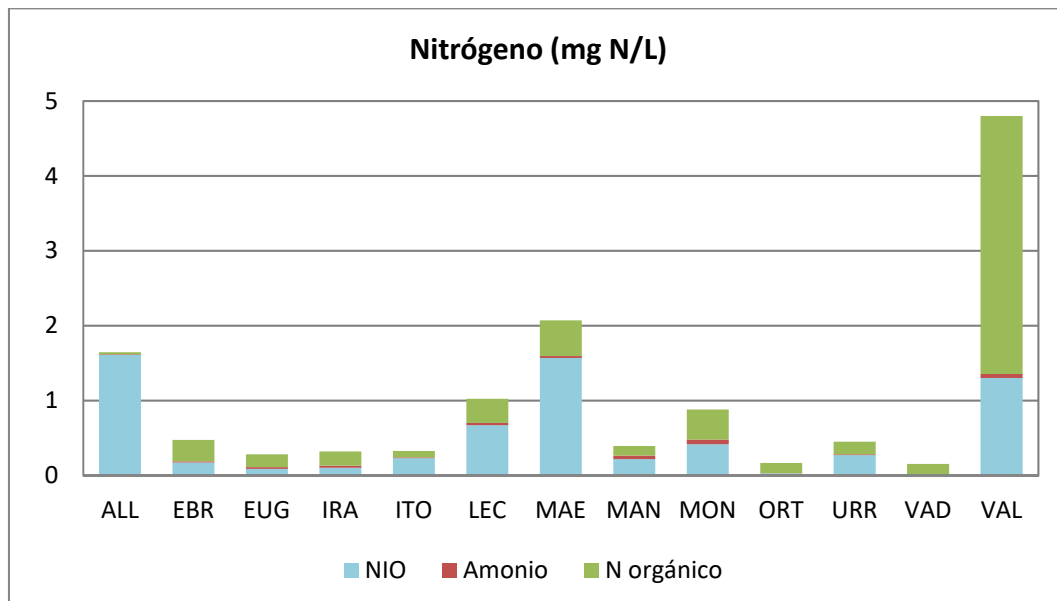


Figura 34. Valores de N Total indicando Nitrógeno Inorgánico Oxidado (NIO), Amonio y N orgánico en la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 7.

➤ En cuanto al contenido en NIO, la media es de 0,51 mg N/L. Destacan en la figura 34 tres embalses muy por encima de la media, el embalse de Alloz, con una concentración de 1,61 mg N/L, seguido del embalse de Maidevera con una concentración de 1,57 mg N/L y el embalse de El Val con una concentración de 1,3 mg N/L. El valor mínimo corresponde al embalse de Vadiello con un valor de 0,01 mg N/L.

➤ En los embalses de tipo 7 el amonio presenta valores promedio de 0,025 mg N-NH₄/L. El valor más elevado corresponde a Monteagudo de las Vicarías con 0,062 mg N-NH₄/L. Destacar el porcentaje de amonio sobre el nitrógeno total de Mansilla con el 12,2 %. Dos embalses, Ortigosa y Vadiello, presentan un valor por debajo de límite de detección (0,01 mg NH₄/L).

➤ El nitrógeno inorgánico total (NIT) sigue la dinámica de valores del compuesto mayoritario de N, que es el nitrato, y presenta sus valores más elevados en Alloz con 1,62 mg N/L, mientras que los más bajos corresponden al embalse de Vadiello con 0,02 mg N/L.

➤ El nitrógeno total (NT) presentó un valor medio de 1,0 mg N/L, coincidiendo con la media de todos los embalses. El rango de variación fue desde los 0,15 mg N/L del embalse de Vadiello, hasta los 4,8 mg N/L de El Val. Para los embalses del tipo 7, el porcentaje de la fracción inorgánica ha presentado el porcentaje más elevado de todo el ESTUDIO, un 47,8 %

que varía desde el 88 % del N total en el embalse de Vadiello, hasta menos del 2 % en el embalse de Alloz.

➤ La máxima concentración de sílice de este tipo se presenta en el embalse de Lechago, con 12,88 mg SiO₂/L, mientras que el mínimo se ha registrado en los embalses de Alloz y Maidevera con 0,82 mg SiO₂/L. La media del tipo es de 2,84 mg SiO₂/L.

B Tipo 9. Embalses de Oliana, La Peña, Sobrón, Terradets y Yesa.

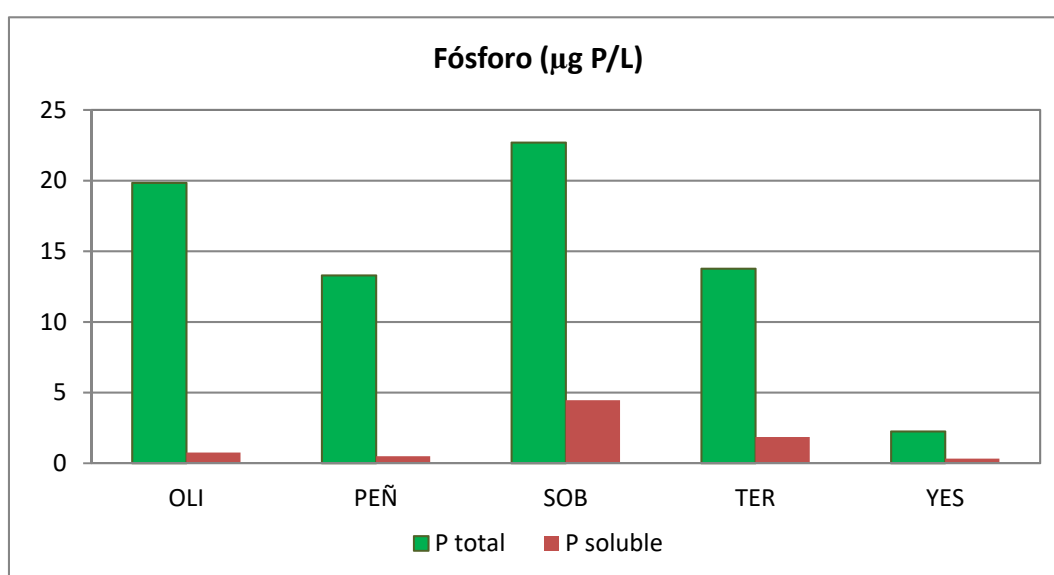


Figura 35. Valores de Fósforo total y soluble en la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 9.

➤ El fósforo total en las muestras de los embalses de tipo 9 (figura 35) presenta un valor medio de 14,37 µg P/L. El rango de variación oscila entre los 2,24 µg P/L en el embalse de Yesa, hasta el valor del embalse de Sobrón, de 22,69 µg P/L. La media de los valores de P soluble en este tipo de embalses es de 1,58 µg P/L. El porcentaje de P soluble frente al total es bajo en todos los embalses, siendo el más alto el del embalse de Sobrón con un 19,6 %.

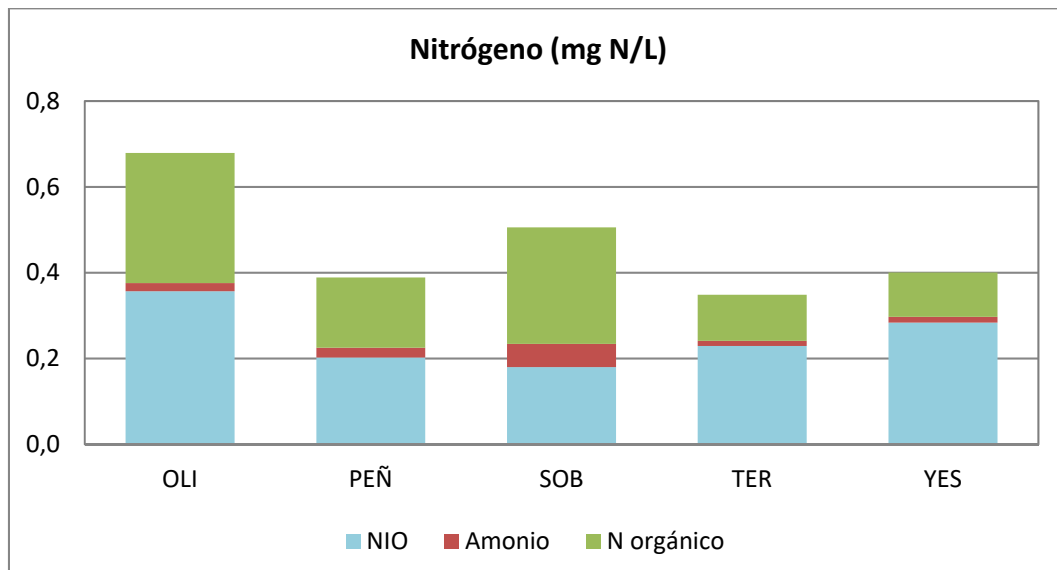


Figura 36. Valores de N Total indicando Nitrógeno Inorgánico Oxidado (NIO), Amonio y N orgánico en la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 9.

- El NIO en las muestras de los embalses de tipo 9 (figura 36) presenta concentraciones muy bajas respecto a la media total de 0,66 mg N/L, con un valor medio de 0,25 mg N/L y oscila entre los 0,18 de Sobrón y los 0,36 mg N/L de Oliana.
- En los embalses de tipo 9 el valor promedio de amonio es de 0,024 de mg N-NH₄/L, el tercero más alto de todos los tipos, oscilando entre los 0,012 mg N-NH₄/L del embalse de Terradets i los 0,054 mg N-NH₄/L del embalse de Sobrón.
- El NT presentó un valor medio moderado a bajo, de 0,46 mg N/L, el más bajo de todos los tipos si exceptuamos al tipo 13 de alta montaña. El rango de variación fue desde los 0,35 mg N/L en el embalse de Terradets, hasta los 0,68 mg N/L de Oliana. La aportación de la fracción orgánica al N total en este tipo de embalses es muy similar, con un 39 % de media.
- El contenido en sílice presenta una media en los embalses del tipo 9 de 3,06 mg SiO₂/L, la tercera más alta de todos los tipos. La concentración fluctúa entre el valor mínimo del embalse de Yesa con 1,91 mg SiO₂/L, y el valor máximo de 4,55 mg SiO₂/L en el embalse de Terradets.

C Tipo 10. Embalses de Ciurana, Cueva Foradada, La Estanca de Alcañiz, Gallipué, Mezalocha, Moneva, La Sotonera y Las Torcas.

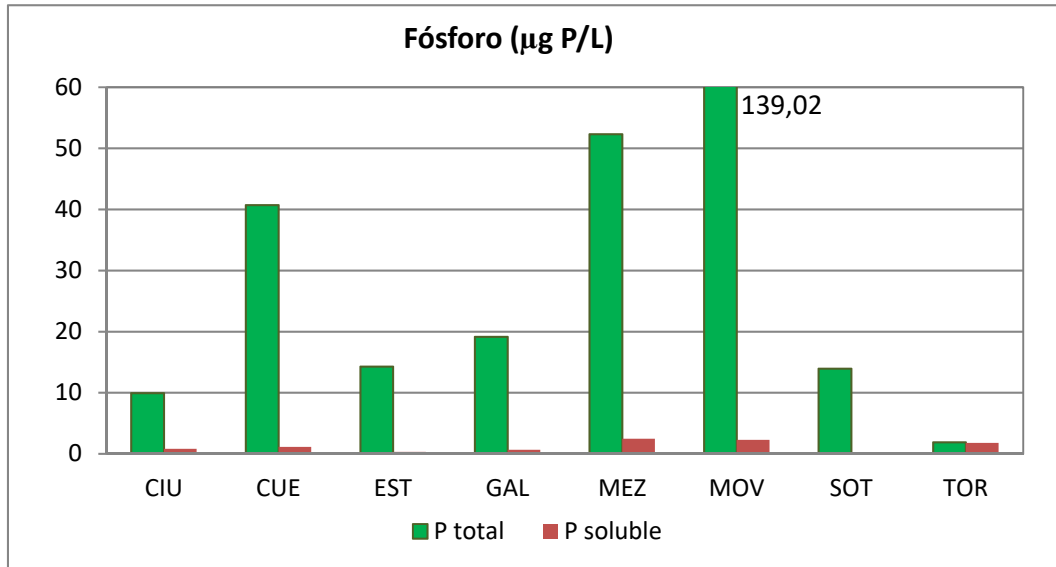


Figura 37. Valores de Fósforo total y soluble en la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 10.

➤ El fósforo total en las muestras integradas de los embalses de tipo 10 (figura 37) presenta un valor medio de 36,40 µg P/L, el más alto de todos los tipos. El rango de variación oscila entre los 1,88 µg P/L en el embalse de Las Torcas hasta los 139,02 µg P/L del embalse de Moneva (máximo del ESTUDIO). Los valores de P soluble en este tipo de embalses registran una media de 1,18 µg P/L. El valor más alto es el de Cueva Foradada, con un valor de 4,46 µg P/L, mientras que La Sotonera se sitúa por debajo del límite de detección. Destacar que en el embalse de Las Torcas el porcentaje de P soluble es del 95 % del P total, por lo que prácticamente todo el fósforo está biodisponible.

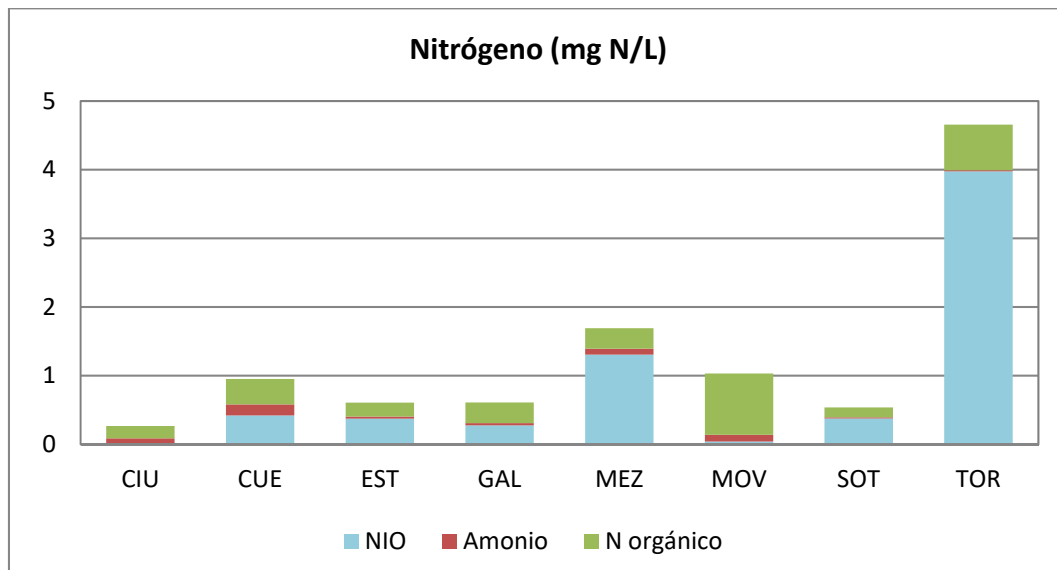


Figura 38. Valores de N Total indicando Nitrógeno Inorgánico Oxidado (NIO), Amonio y N orgánico en la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 10.

- El contenido en NIO, con un valor medio de 0,85 mg N/L, es superior a la media de todos los tipos y la segunda más alta (figura 38). Los valores oscilan entre los 3,97 mg N/L en el embalse de Las Torcas, el valor más alto de todo el ESTUDIO, y la concentración por debajo de 0,05 mg N/L de los embalses de Ciurana y Moneva. En relación con el porcentaje del N total representado por esta fracción inorgánica, los embalse de Ciurana y Moneva presentan porcentajes inferiores al 6 %, mientras que Mezalocha, La Sotonera y Las Torcas superan el 70 %.
- El amonio presenta una concentración media de 0,064 N-NH₄/L, la más alta de todos los tipos. El embalse de Cueva Foradada presenta una concentración de amonio de 0,16 N-NH₄/L, la más alta de todo el ESTUDIO. No obstante, el porcentaje de amonio más elevado respecto al N total se registra en el embalse de Ciurana con un 26,9 % del total, el más alto de todo el ESTUDIO.
- El NT presentó un valor medio de 1,29 mg N/L, siendo el tipo con la segunda media más alta por detrás del tipo 12. El rango de variación fue amplio, desde los 0,26 mg N/L del embalse de Ciurana, hasta los 4,66 mg N/L de Las Torcas, el más alto de todo el ESTUDIO. La aportación de la fracción orgánica al N total para este tipo de embalses es la segunda más elevada de todo el ESTUDIO, con una media del 41,9 %.

➤ Los valores medios de sílice son de 4,82 mg SiO₂/L, la segunda media más alta de todos los tipos por detrás del tipo 12. Los valores más elevados se encuentran en los embalses de Mezalocha con 10,64 mg SiO₂/L y Moneva con 10,12 mg SiO₂/L.

D Tipo 11. Embalses de Barasona, Calanda, Camarasa, Rialb y La Tranquera.

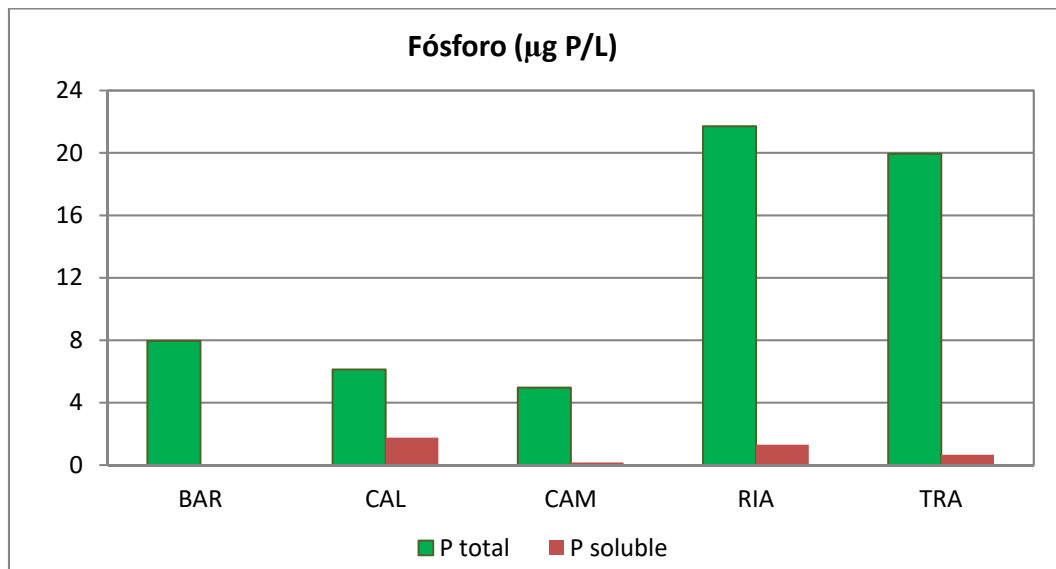


Figura 39. Valores de Fósforo total y soluble en la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 11.

➤ El fósforo total en las muestras de los embalses de tipo 11 (figura 39) presenta un valor medio de 12,14 µg P/L, menor que la media total. El embalse de Rialb destaca por tener la concentración más elevada de P total, un 21,70 µg P/L. El valor más bajo se presenta en Camarasa con 4,96 µg P/L. Los valores de P soluble son bajos en este tipo de embalses, con la concentración media más baja de todos los tipos con 0,78 µg P/L. El valor más bajo, por debajo del nivel de detección, se presenta en el embalse de Barasona y el máximo se observa en el embalse de Calanda con un valor de 1,76 µg P/L. El porcentaje de P soluble es mayor al 20 % solamente en el embalse de Calanda, en el resto de embalses es menor del 7 %.

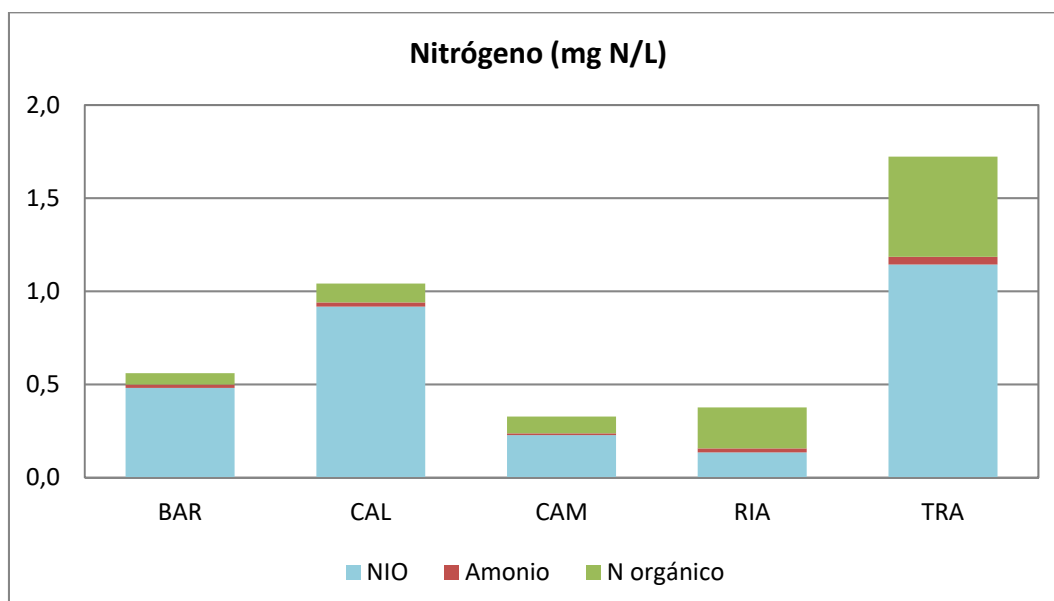


Figura 40. Valores de N Total indicando Nitrógeno Inorgánico Oxidado (NIO), Amonio y N orgánico en la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 11.

- El contenido en NIO presenta un valor medio de 0,58 mg N/L. La Tranquera ha presentado el valor más alto con 1,14 mg N/L, mientras que el valor más bajo, 0,13 mg N/L, se ha obtenido en el embalse de Rialb. La fracción inorgánica es la forma de nitrógeno mayoritaria en todos los embalses de este tipo, exceptuando los embalses de Rialb (35,7 %).
- En los embalses de tipo 11 (figura 40) el amonio se encuentra con un valor promedio de 0,022 mg N-NH₄/L; la segunda media más baja de todos los tipos. La Tranquera con 0,041 mg N-NH₄/L, es el embalse con una mayor cantidad de amonio, mientras que el valor más pequeño lo encontramos en Camarasa, con 0,01 mg N-NH₄/L.
- El NT presentó un valor medio de 0,81 mg N/L. El rango de variación fue desde los 0,33 mg N/L del embalse de Camarasa, hasta los 1,72 mg N/L de La Tranquera. La aportación de la fracción orgánica al N total en este tipo de embalses solo supera el 50 % en el embalse de Rialb.
- La sílice presenta una media de 3,32 mg SiO₂/L. El valor más bajo es el de Rialb, con 0,32 mg SiO₂/L, mientras que el de La Tranquera, con 5,28 mg SiO₂/L, es el más elevado.

E Tipo 12. Embalses de Flix, Mequinenza y Ribarroja.

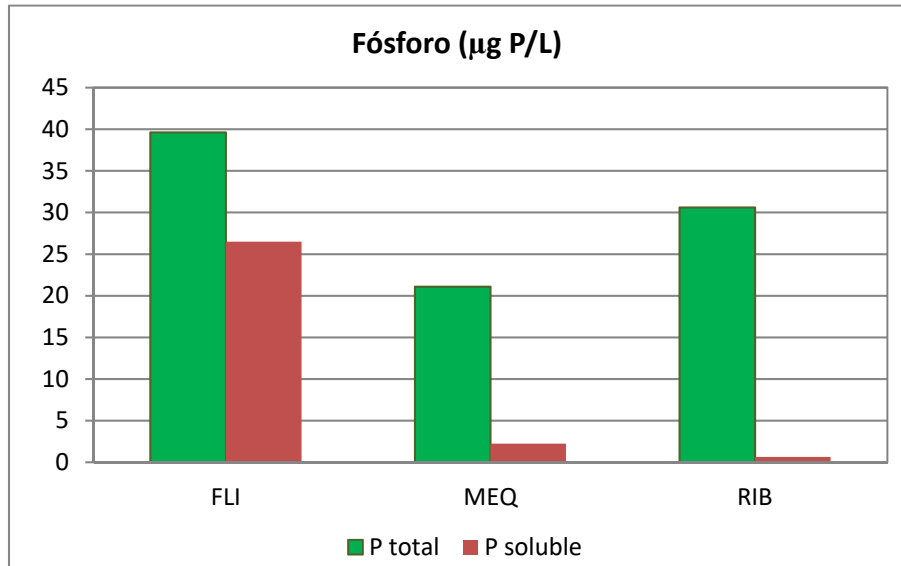


Figura 41. Valores de Fósforo soluble y total en la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 12.

➤ El fósforo total en los embalses de tipo 12 (figura 41) alcanza una concentración media de 30,43 µg P/L, la segunda mayor media de todos los tipos. El máximo valor en este tipo se ha detectado en el embalse de Flix con 39,61 µg P/L, siendo el valor mínimo el del embalse de Mequinenza, con una concentración de 21,08 µg P/L. En cambio, los valores de P soluble son muy dispares, con una media de 9,79 µg P/L, la más alta de todos los tipos. Siendo la concentración en el embalse de Ribarroja de 0,64 µg P/L, mientras que en el embalse de Flix el valor se sitúa en los 26,49 µg P/L, la concentración más alta de todo el ESTUDIO.

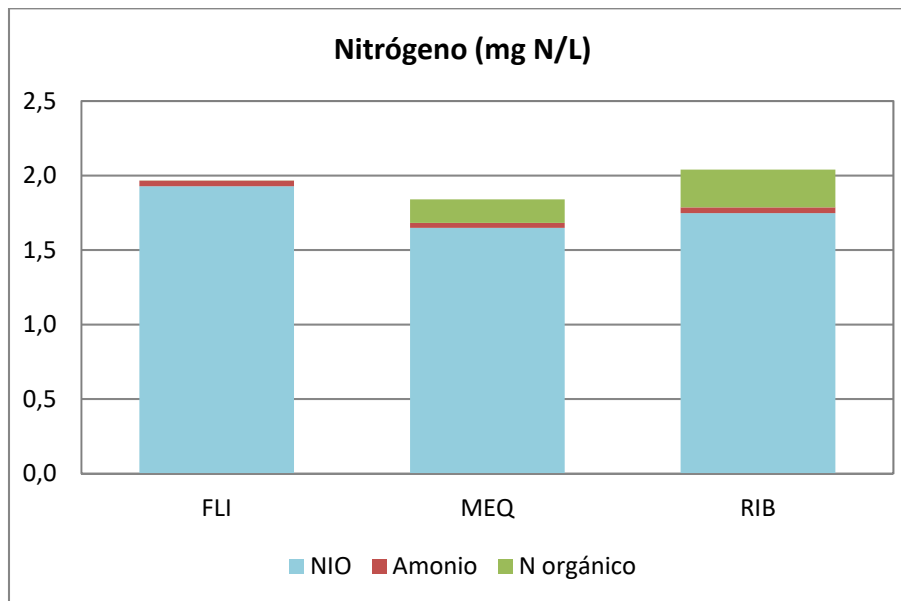


Figura 42. Valores de N Total indicando Nitrógeno Inorgánico Oxidado (NIO), Amonio y N orgánico en la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2017 pertenecientes al tipo 12.

- El NIO (nitratos + nitritos) presenta una media de 1,77 mg N/L, siendo este tipo (figura 42) el valor más elevado en esta fracción de N. Las concentraciones en los tres embalses son muy similares. El NIO supone más del 80 % del N total, en todos los embalses.
- El amonio presenta un promedio de 0,037 mg N-NH₄/L, siendo el segundo valor más alto de todos los tipos. Las concentraciones en los tres embalses son muy similares.
- El NT presentó el valor medio más alto de todos los tipos, de 1,95 mg N/L. El rango de variación fue desde los 1,84 mg N/L del embalse de Mequinzenza, hasta los 2,04 mg N/L de Ribarroja. La aportación de la fracción orgánica al N total más alta de estos embalses es la de Ribarroja con un 12 %.
- En cuanto al contenido en sílice, los embalses del tipo 12 presentan, de media, una concentración de 4,97 mg SiO₂/L, la media más alta de todos los tipos. La concentración mínima y máxima son 2,95 y 6,14 mg SiO₂/L, y corresponden a los embalses de Mequinzenza y Ribarroja respectivamente.



F Tipo 13. Embalse de Llauset.

- El fósforo total presenta un valor muy por debajo de la media de todos los embalses, con una concentración de 2,41 $\mu\text{g P/L}$. Los valores de P soluble no son tan bajos, 2,20 $\mu\text{g P/L}$, representando el 91,4 % del P total.
- En este embalse, la concentración media de nitrógeno inorgánico oxidado o NIO (nitratos + nitritos) en la ZF fue de 0,23 mg N/L.
- El amonio presenta valores bajos, menor de 0,01 mg N-NH₄/L.
- El nitrógeno inorgánico total alcanza un valor de 0,235 mg N/L
- El nitrógeno total presentó valores muy bajos, siendo la concentración en el embalse de 0,26 mg N/L.
- La sílice soluble presenta en este embalse valores medios, en comparación con el conjunto de embalses estudiados, con una concentración de 3,03 mg SiO₂/L.



Análisis global de nutrientes por tipos de embalses

Para mostrar de modo global los valores de cada una de las variables relacionadas con los nutrientes, se presentan los resultados con gráficas de dos tipos: por una parte, la figura del diagrama de cajas nos mostrará los valores medios, mediana, cuartiles y extremos para cada tipo de embalses; mientras que la figura de barras nos mostrará la distribución ordenada de los valores de la variable para todos los embalses, de tal manera que apreciamos con facilidad los valores mínimos y máximos.

Las tendencias observadas con relación al **N total** en la ZF (figura 43) es que el tipo 12 muestra los valores más elevados en general, como cabría esperar debido tanto a los usos de suelo, primordialmente agrícolas en estas partes bajas del territorio, como al hecho de tratarse de tramos de orden superior que reciben la carga de nutrientes de la cuenca aguas arriba. Además, esta parte de la cuenca recibe la mayor cantidad de efluentes urbanos e industriales de núcleos urbanos como Logroño, Tudela, Zaragoza.

Los valores mínimos de N Total se dan en el tipo 13 de alta montaña. Destacar dos máximos atípicos, uno en el tipo 7 correspondiente al embalse de El Val con el máximo absoluto de 2017 de 4,8 mg N/L, y otro en el tipo 10 correspondiente a Las Torcas con 4,66 mg N/L. En líneas generales, las concentraciones aumentan conforme nos acercamos al tramo bajo del río. El caso del El Val y Las Torcas se explican por la elevada concentración de nitrato en las aguas, probablemente proveniente de las aguas residuales o de escorrentía de zonas agrícolas.

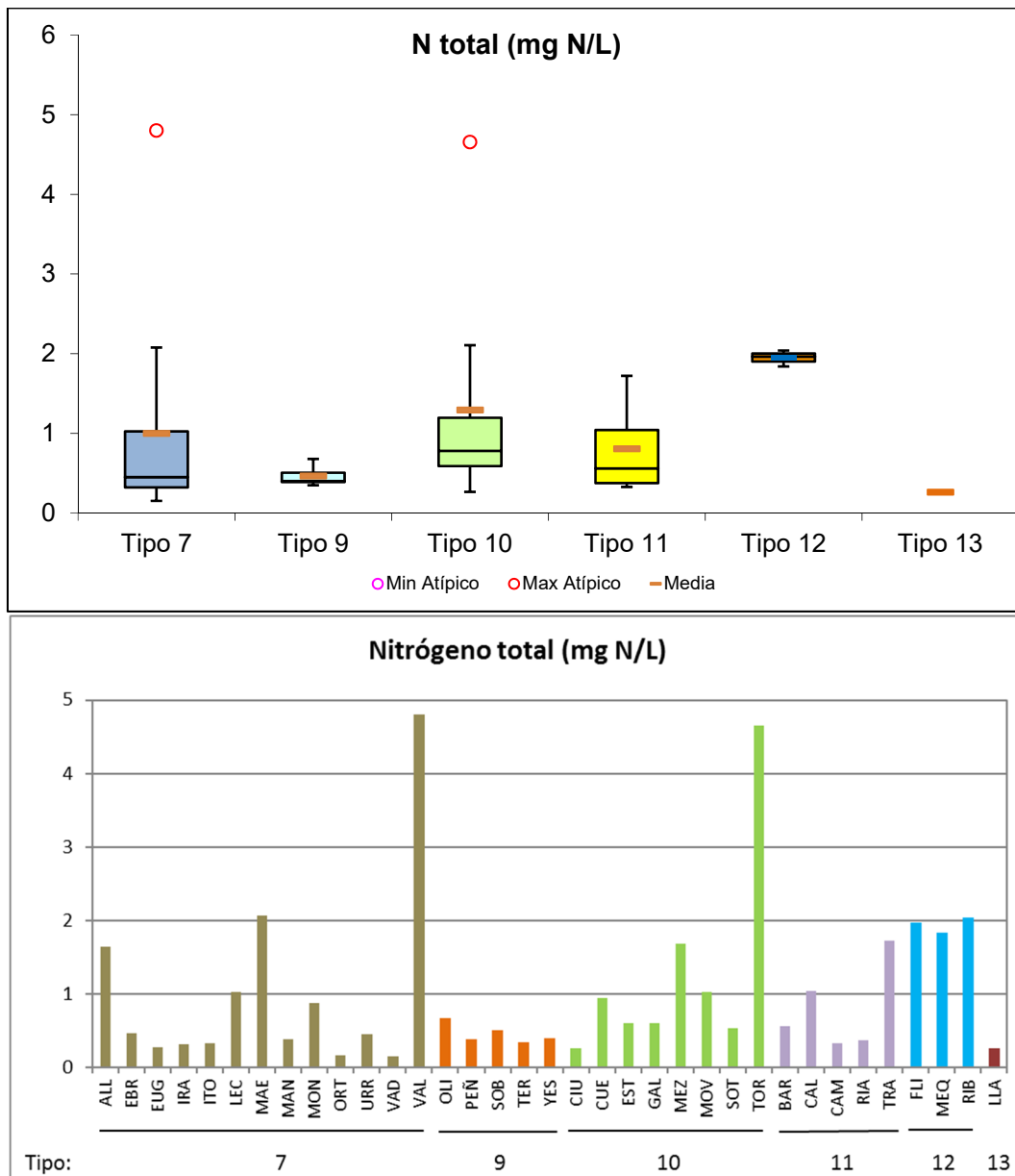


Figura 43. Valores de N Total en la Zona Fótica para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Tipos: 7: calcáreo / húmedo / cabecera / frío; 9: calcáreo / húmedo / red principal; 10: calcáreo / no húmedo / cabecera; 11: calcáreo / no húmedo / red principal; 12: calcáreo / no húmedo/ eje parte baja; 13: húmedo / alta montaña. La columna coloreada representa el intervalo p25-p75, el segmento interior negro es la mediana, el segmento coloreado es el promedio de los datos; los segmentos verticales representan el rango de los datos (sin contar valores atípicos) y los círculos coloreados son los valores extremos.

Como se observa en la figura 44, las tendencias para el **Nitrógeno Inorgánico Oxidado** NIO ($\text{NO}_2 + \text{NO}_3$) son muy similares a las del N total, puesto que ya se ha indicado que generalmente es la variabilidad en la concentración de las formas inorgánicas la mayor proporción del N total, especialmente el nitrato.

El dato mínimo se ha dado en el embalse de Vadiello, tipo 7, con 0,01 mg N/L. Topología donde se dan los mayores contrastes entre embalses, ya que el máximo en el embalse de Alloz alcanza los 1,65 mg N/L.

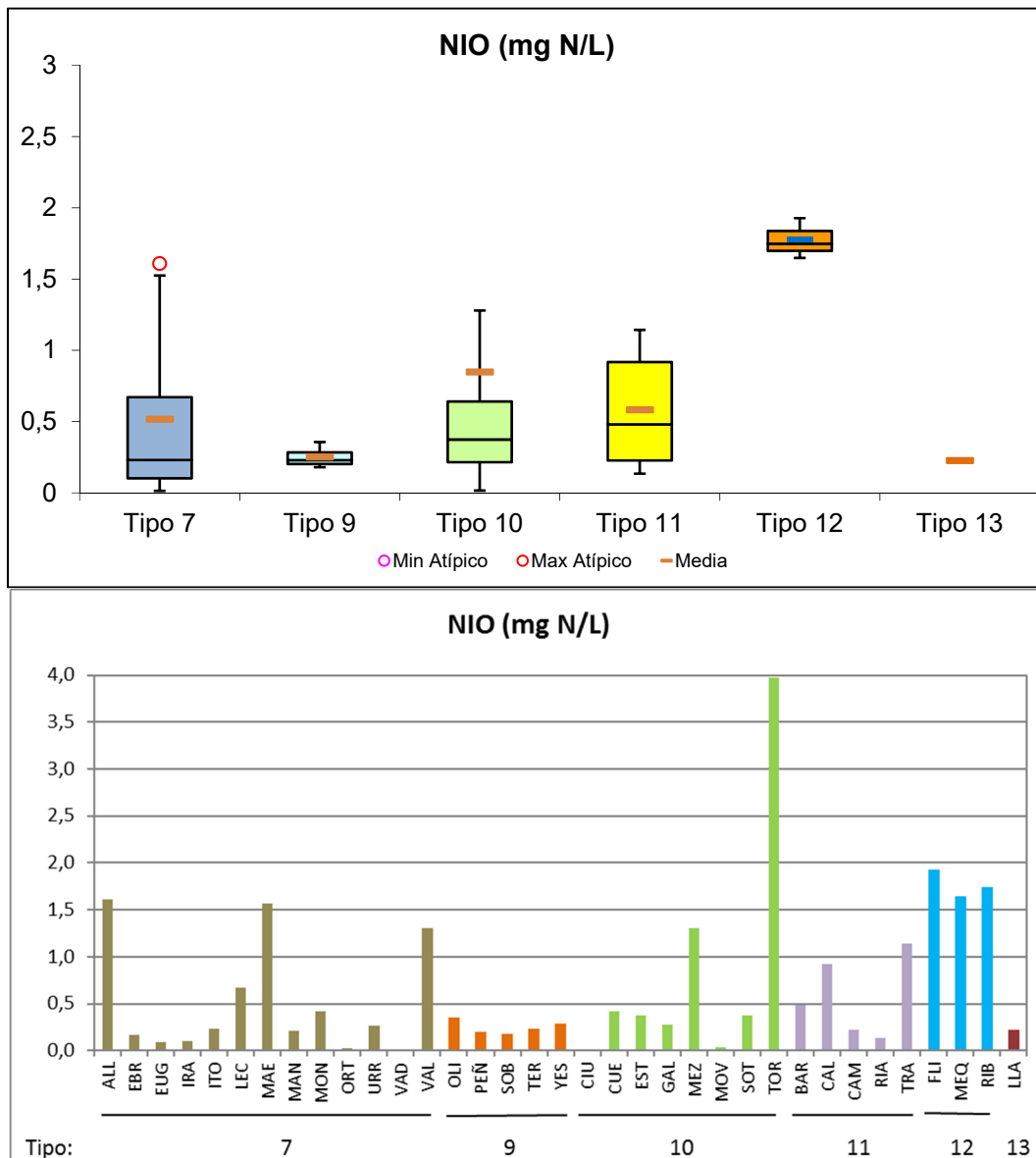


Figura 44. Valores de Nitrógeno Inorgánico Oxidado (NIO) en la Zona Fótica para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 43.

En cuanto al **amonio** (figura 45), los valores medios han sido inferiores a 0,07 mg N-NH₄/L en todos los tipos. Los promedios más altos son los de los tipos 10 y 12. El más bajo ha correspondido al tipo 13.

Entre los embalses, el valor más elevado ha sido el de Cueva Foradada, seguido de Moneva, Mezalocha y Ciurana, todos del tipo 10. Solo dos embalses, Ortigosa y Vadiello, han registrado valores por debajo del límite de detección (0,01 mg N/L), ambos del tipo 7.

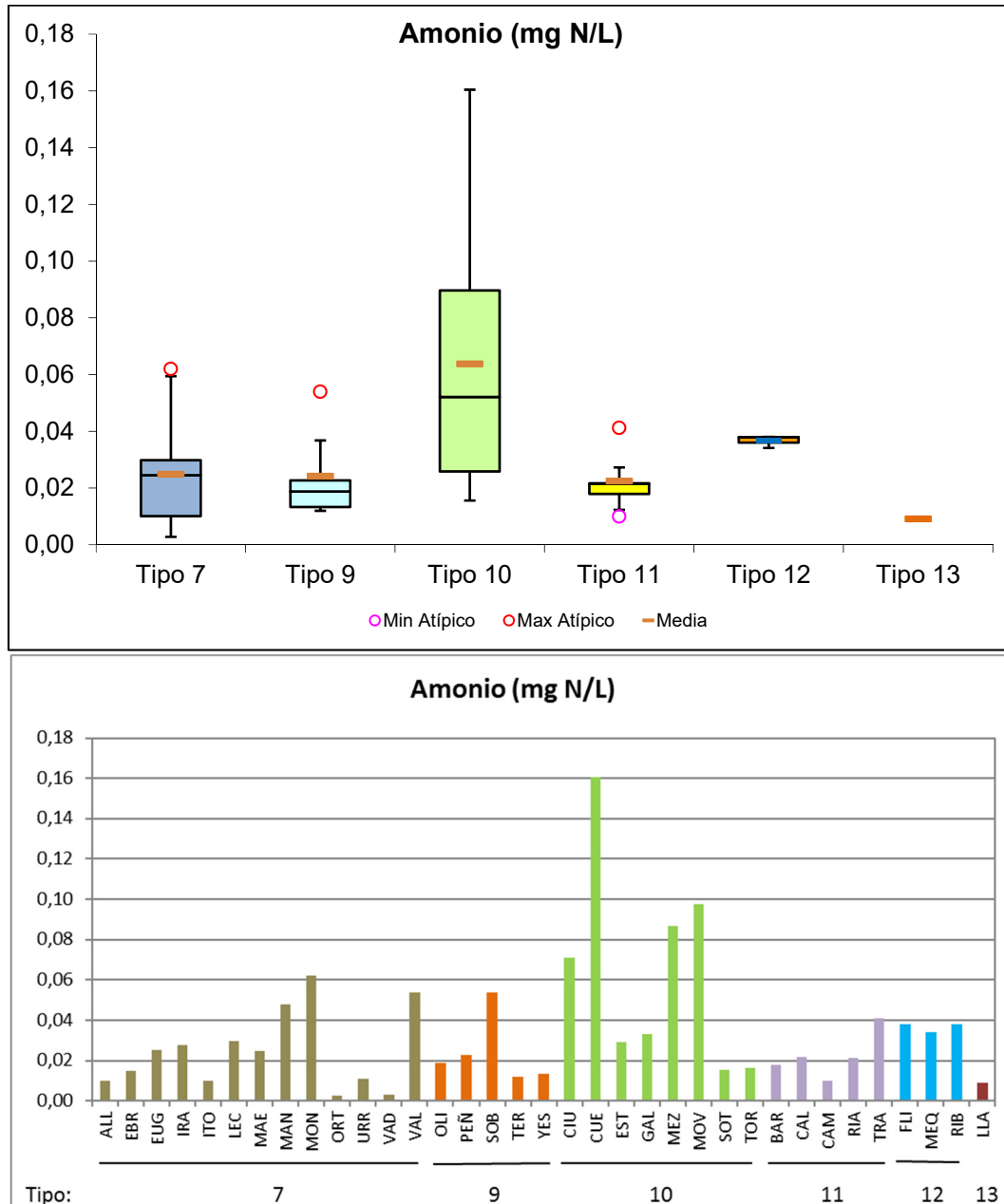


Figura 45. Valores de Amonio en la Zona Fótica para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 43.

En las tendencias observadas en relación al **P total** en la ZF (figura 46), el tipo 10 muestra la media más elevada, debido a los valores de Moneva con 139 $\mu\text{g P/L}$ (máximo del ESTUDIO) y Mezalocha con 52,32 $\mu\text{g P/L}$. Otros dos embalses más muestran concentraciones superiores a los 40 $\mu\text{g P/L}$, El Val con 47,79 $\mu\text{g P/L}$ y Cueva Foradada con 40,7 $\mu\text{g P/L}$. El valor medio mínimo se da en el tipo 13, con una concentración de 2,41 $\mu\text{g P/L}$. Pero el mínimo de todos los embalses es el registrado en el embalse de Las Torcas con 1,88 $\mu\text{g P/L}$.

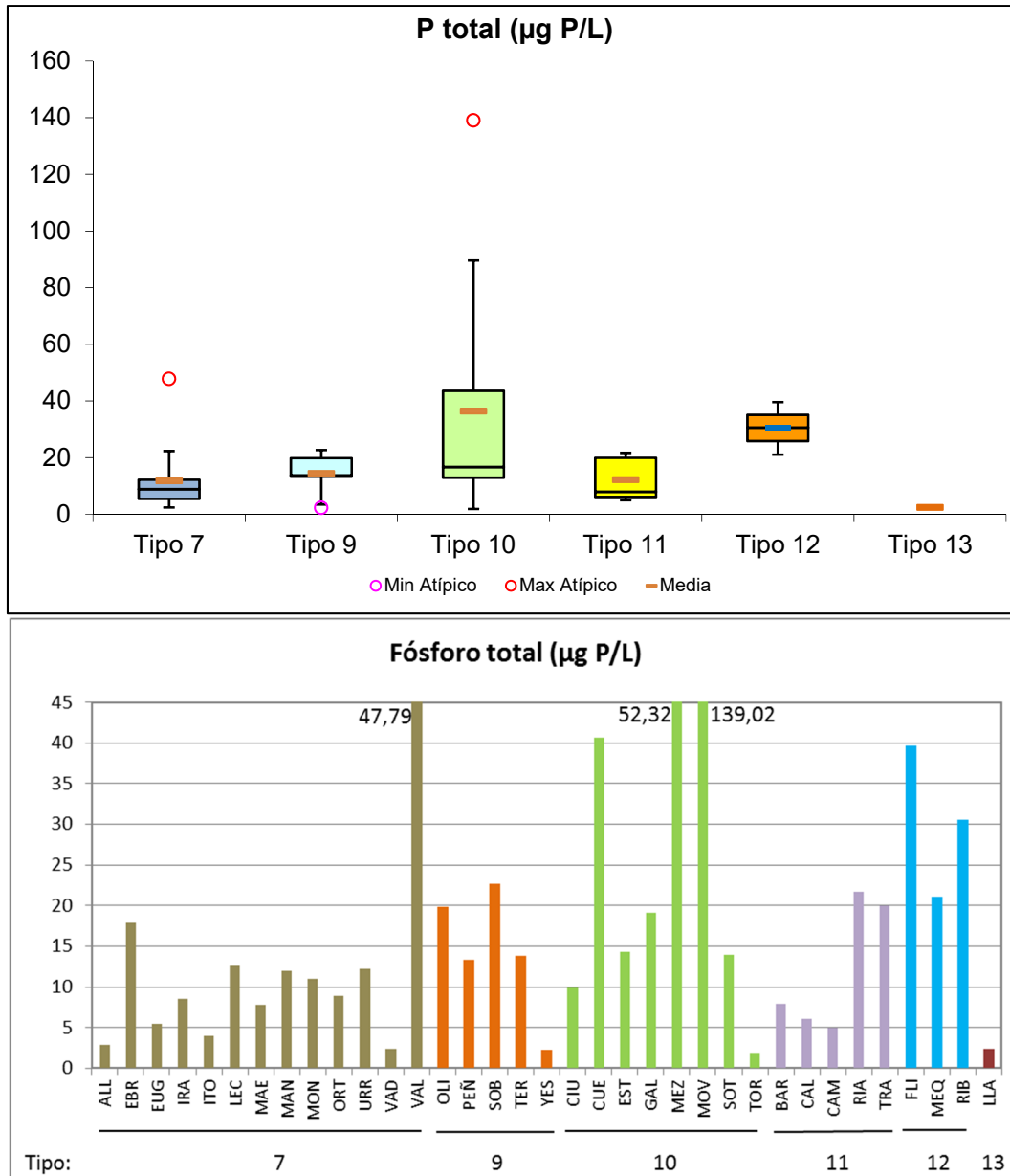


Figura 46. Valores de Fósforo Total en la Zona Fótica para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 43.

Como se observa en la figura 47, las tendencias para el **P soluble** son muy diferentes a las del P total, ya que en este caso en lugar de aumentar disminuyen de la tipología 7 a la 11, aumentando muchísimo en los embalses de tipología 12, con la media más alta de todos los tipos con una media por encima de los 9 $\mu\text{g P/L}$.

Cabe destacar el máximo del embalse de Flix (tipo 12), como valor muy superior al resto, ya que supera los 25 $\mu\text{g P/L}$.

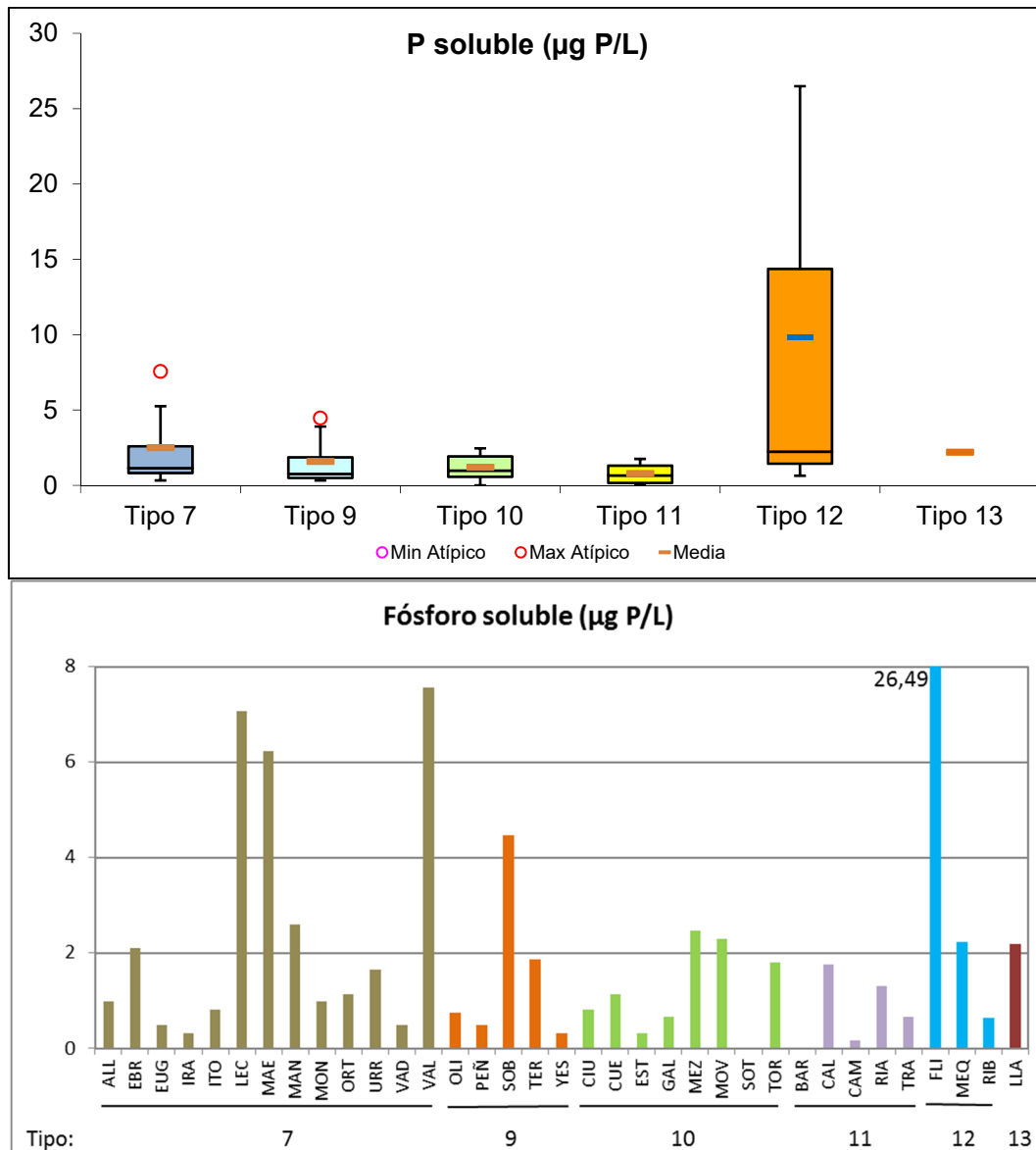


Figura 47. Valores de Fósforo Soluble en la Zona Fótica para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Legenda como en la figura 43.



En general, los valores de P soluble son muy bajos, esto puede explicarse por los tamaños diferenciales de estos embalses, su tasa de renovación y su profundidad. Hay que tener presente que las aguas de desembalse hipolimnético procedentes de embalses anteriores pueden llegar rápidamente a embalses situados aguas abajo, donde si hay un reducido tiempo de residencia hídrica, éste no permite ni su completa captura por las algas ni su confinamiento en aguas profundas o en los sedimentos, mientras que si el embalse tiene un mayor tiempo de residencia hídrica, esto da tiempo a que sus aguas realicen procesos biológicos de retirada de fósforo tanto en la cadena trófica como en la sedimentación a lo largo del embalse.

Por último, las concentraciones de **silíce** (SiO_2) por tipos (figura 48) se sitúan generalmente en el rango 2-5 mg SiO_2/L . Por embalses hay que destacar el valor mínimo de Rialb (tipo 11), mínimo atípico que no llega a 0,5 mg SiO_2/L . En el valor máximo encontramos al embalse de Lechago (tipo 7), que presenta concentraciones por encima de 12 mg SiO_2/L .

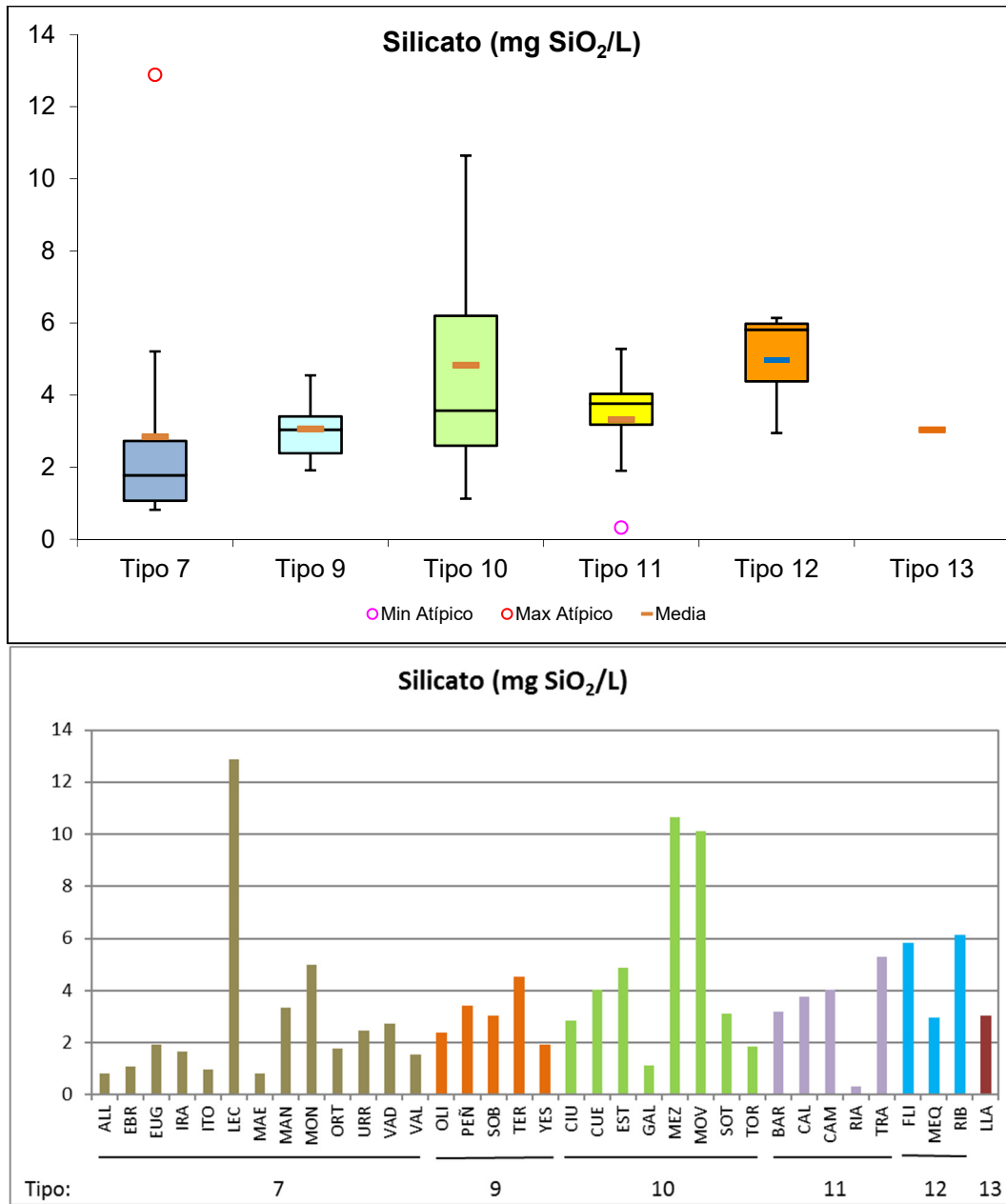


Figura 48. Valores de Silicato en la Zona Fótica para los diferentes tipos de embases (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 43.

4.3. Características Biológicas

4.3.1. Fitoplancton

La comunidad fitoplanctónica estudiada (un total de 218 taxones en 35 embalses) está representada por diez grandes grupos algales, entre los que destacan, por su riqueza, los clorófitos (Chlorophyceae) y las diatomeas (Bacillariophyceae). La tabla siguiente resume la composición taxonómica global del fitoplancton en los embalses estudiados.

Tabla 10. Número de especies encontradas en 2017 por grupo fitoplanctónico.

Grupo	nº especies
Chlorophyceae	80
Bacillariophyceae	35
Cyanobacteria	28
Chrysophyceae	17
Zygnematophyceae	15
Dinophyceae	15
Euglenophyceae	13
Cryptophyceae	9
Synurophyceae	3
Xanthophyceae	3

La comunidad fitoplanctónica, estudiada en los diferentes tipos de embalses, fue descrita a partir de las siguientes variables calculadas según los criterios de la metodología aplicada: riqueza (nº de especies), densidad celular (cél./ml), biovolumen celular (mm³/L), concentración de clorofila *a*, y diversidad según el índice de Shannon-Wiener. Los resultados obtenidos para los diferentes tipos de embalses se resumen a continuación.

La **riqueza** media de especies de fitoplancton en los diferentes tipos (figura 49) ha sido mayor que el año 2016 para todos los tipos excepto para el tipo 10 que ha sido menor. Las medias de los diferentes tipos muestran un discreto ascenso de los valores hacia las tipologías de los tramos bajos. El máximo absoluto se registró en el embalse de Camarasa, del tipo 11, con 40 especies. Le siguieron con 39, La Tranquera también del tipo 10 y Maidevera y Urrúnaga del tipo 7. Los valores mínimos se han dado en los embalses de El Val (tipo 7), Gallipué (tipo 10) y Calanda (tipo 11) con 18 especies, que junto con el embalse de Cueva Foradada con 19 especies (tipo 10), son los únicos con menos de 20 especies.

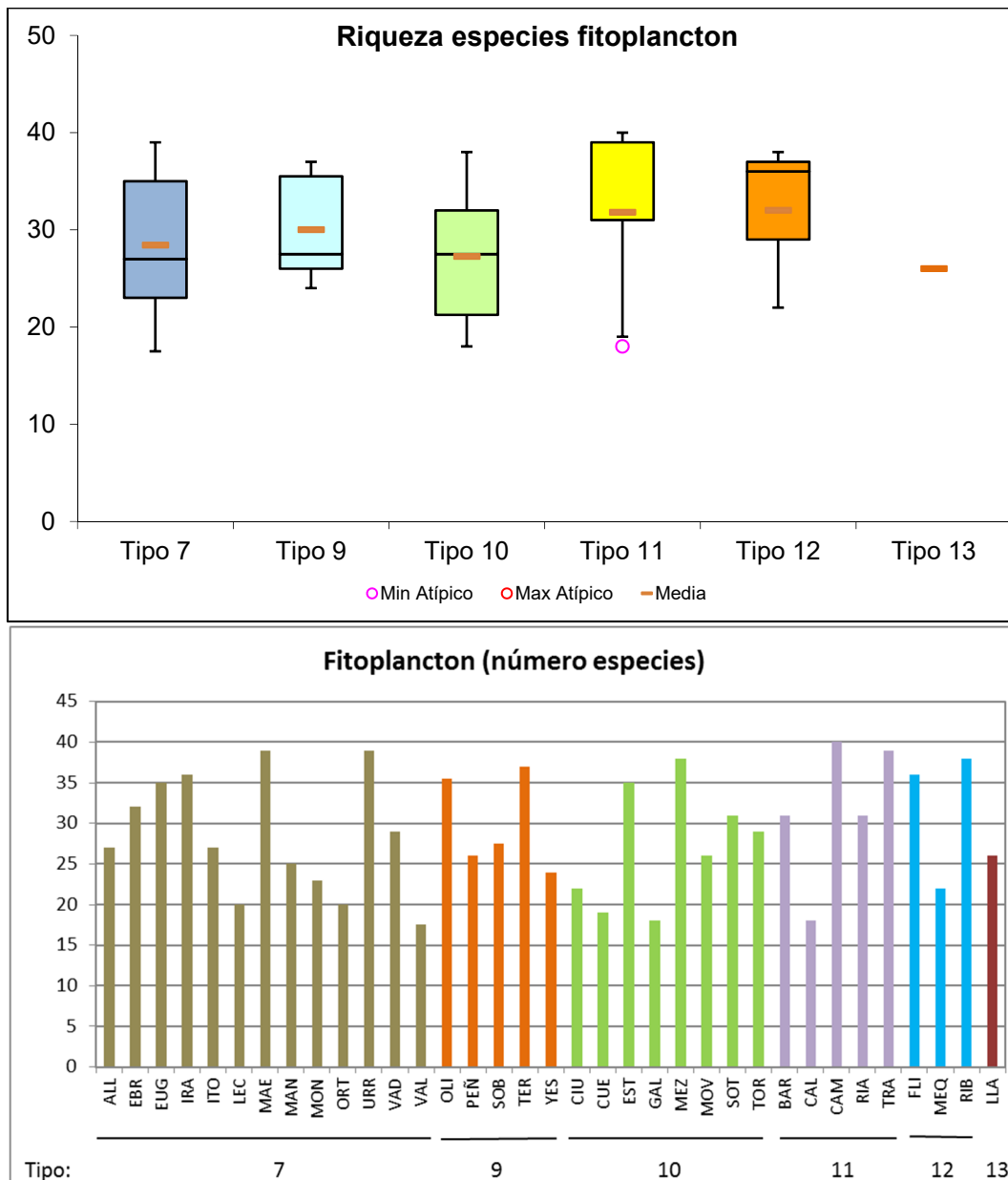


Figura 49. Riqueza de especies de fitoplancton para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Tipos: 7: calcáreo / húmedo / cabecera / frío; 9: calcáreo / húmedo / red principal; 10: calcáreo / no húmedo / cabecera; 11: calcáreo / no húmedo / red principal; 12: calcáreo / no húmedo/ eje parte baja; 13: húmedo / alta montaña. La columna coloreada representa el intervalo p25-p75, el segmento interior negro es la mediana, el segmento coloreado es el promedio de los datos; los segmentos verticales representan el rango de los datos (sin contar valores atípicos) y los círculos coloreados son los valores extremos.

La **densidad** celular (figura 50) presenta una tendencia contraria a la riqueza de especies, si exceptuamos el tipo 12, esto es debido a los máximos atípicos que se dan en el tipo 7, concretamente en el embalse de Urrúnaga que supera las 200.000 cél./mL (máximo del ESTUDIO) y en el embalse de Oliana del tipo 9, con 56.440 cél./mL. El resto de densidades esta por debajo de las 25.000 cél./mL. El promedio más bajo se presenta en el tipo 13.

Los valores menores de densidad se han dado en el embalse de Llauset (tipo 13), con una densidad de 292 cél./mL, seguido del embalse de Terradets (tipo 9) con 491 cél./mL, que junto a los embalses del Ebro (619 cél./mL) y Cueva Foradada (885 cél./mL), son los únicos que no han superado las 1.000 cél./mL.

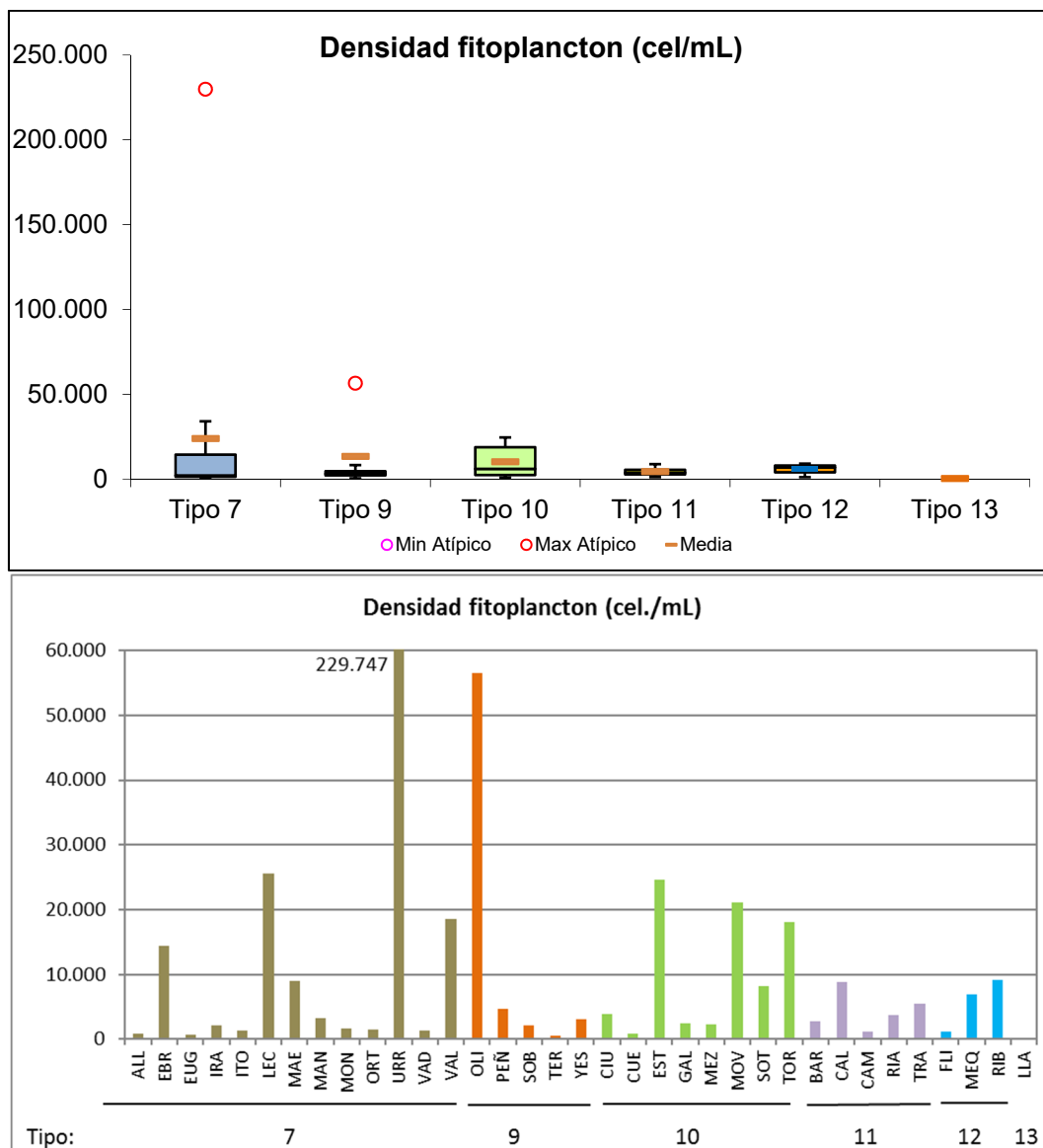


Figura 50. Densidad celular del fitoplancton para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 49.

El comportamiento de la variable **biovolumen** celular de fitoplancton (figura 51) fue similar al de la variable densidad, aunque la media del tipo 11 fue mayor a la del tipo 12. En este caso, el valor más elevado del ESTUDIO lo encontramos también en un embalse del tipo 7, pero en este caso en El Val, con 23,46 mm³/L. En el lado contrario, el menor valor se ha presentado en los embalses de Flix (tipo 12) y de Llauset (tipo 13), con valores de 0,13 mm³/L.

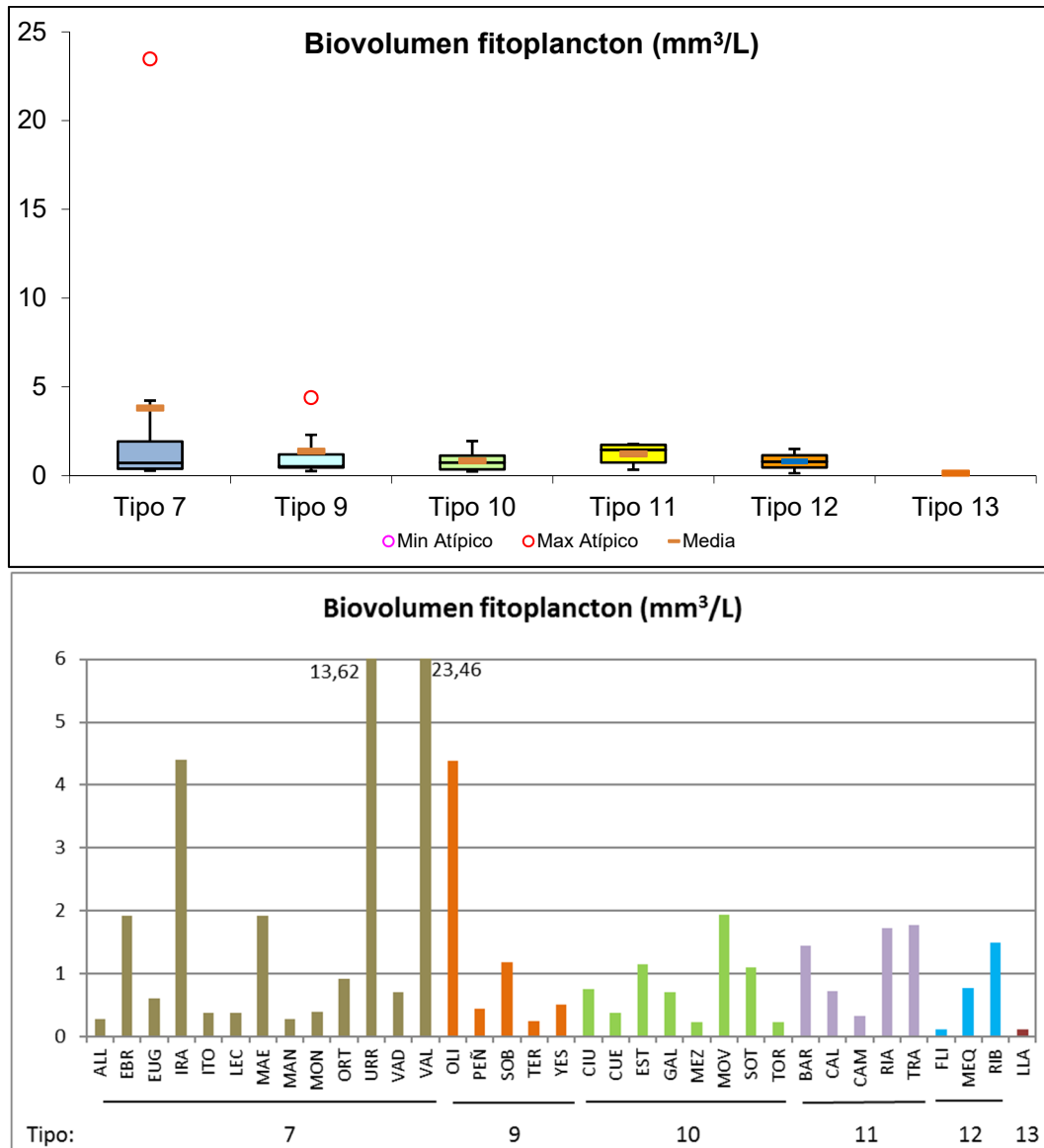


Figura 51. Biovolumen del fitoplancton para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 49.

Los valores de **diversidad** obtenidos en las muestras de fitoplancton (figura 52) se pueden considerar los habituales en este tipo de estudios, entre 2 y 3,5 bits, aunque en los tipos 7, 10 y 11 encontramos diversidades inferiores a 2 bits. El tipo 11 es el de mayor diversidad en promedio, con 3,1 bits, la diversidad máxima de todos los embalses corresponde al embalse de Mezalocha con 3,9 bits. El valor medio más bajo de diversidad se ha dado en los tipos 7 y 12, con 2,5 bits. El embalse con un valor más bajo ha sido el de Urrúnuga, con 0,14 bits. Solo Mansilla, también del tipo 7, y LasTorcas del tipo 10 tampoco ha superado el valor de 1 bit. En todos los casos es debido a la dominancia de una especie.

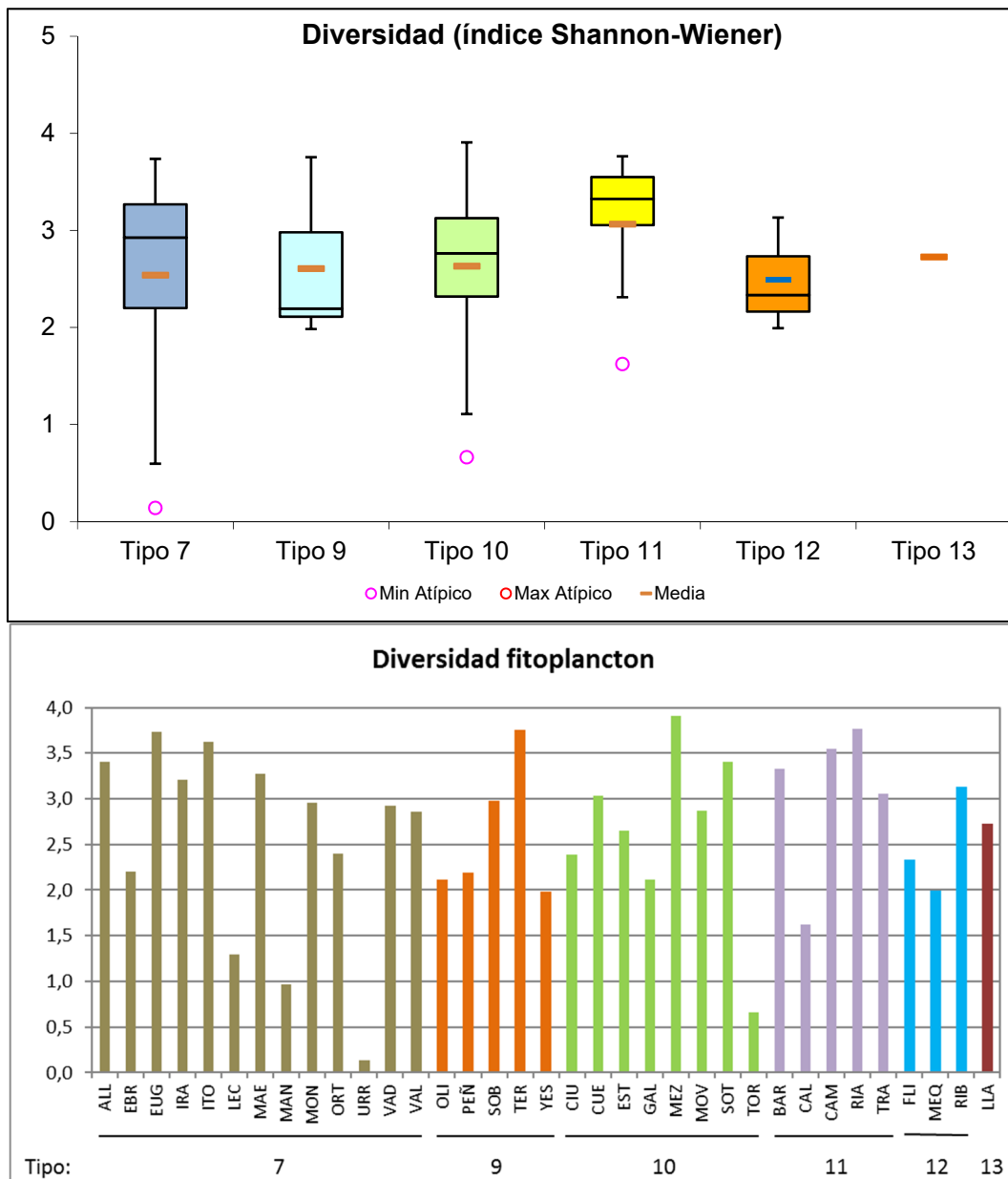


Figura 52. Diversidad del fitoplancton según el índice de Shannon-Wiener para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 49.

Las concentraciones de **clorofila a** (figura 53) presentaron valores medios muy similares entre los diversos tipos, exceptuando al tipo 13 con el mínimo absoluto de todo el ESTUDIO con una concentración de clorofila a de 0,7 $\mu\text{g/L}$. El mayor valor medio corresponde al tipo 12, con una concentración de 6,3 $\mu\text{g/L}$. Destacar también los tres embalses con concentraciones superiores a 10 $\mu\text{g/L}$, el embalse de El Val con 26,24 $\mu\text{g/L}$, el embalse de Moneva con 13,83 $\mu\text{g/L}$ y el embalse de Ribarroja con 13,17 $\mu\text{g/L}$. En el lado contrario encontramos a los once embalses con concentraciones entre 1 y 2 $\mu\text{g/L}$.

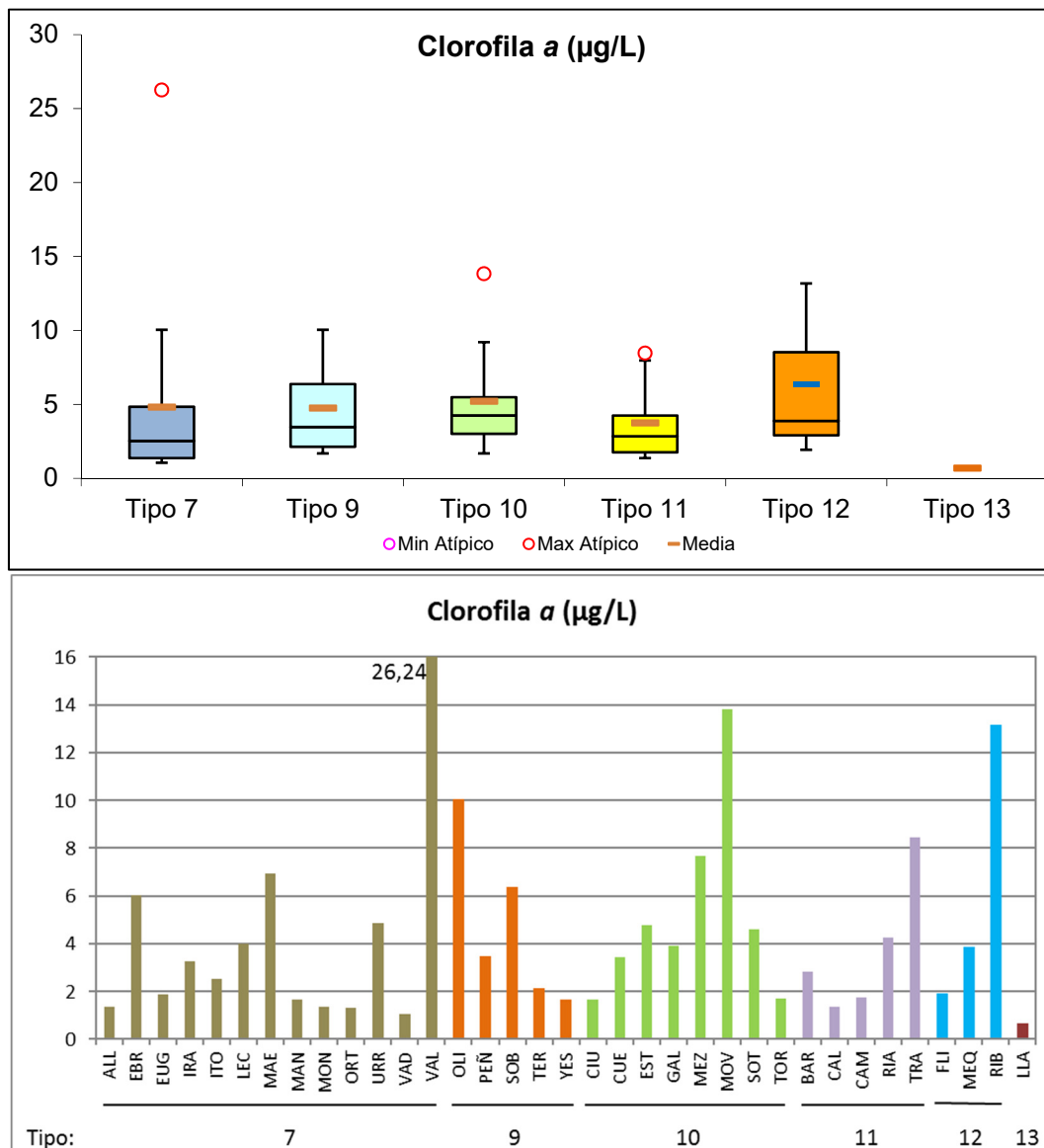


Figura 53. Concentración de clorofila a para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 49.

Con el fin de presentar una descripción más detallada de las comunidades algales planctónicas de los embalses estudiados, en las figuras 54 a 59 se muestra la distribución de la riqueza de especies para cada uno de los grupos fitoplanctónicos y tipo de embalse.

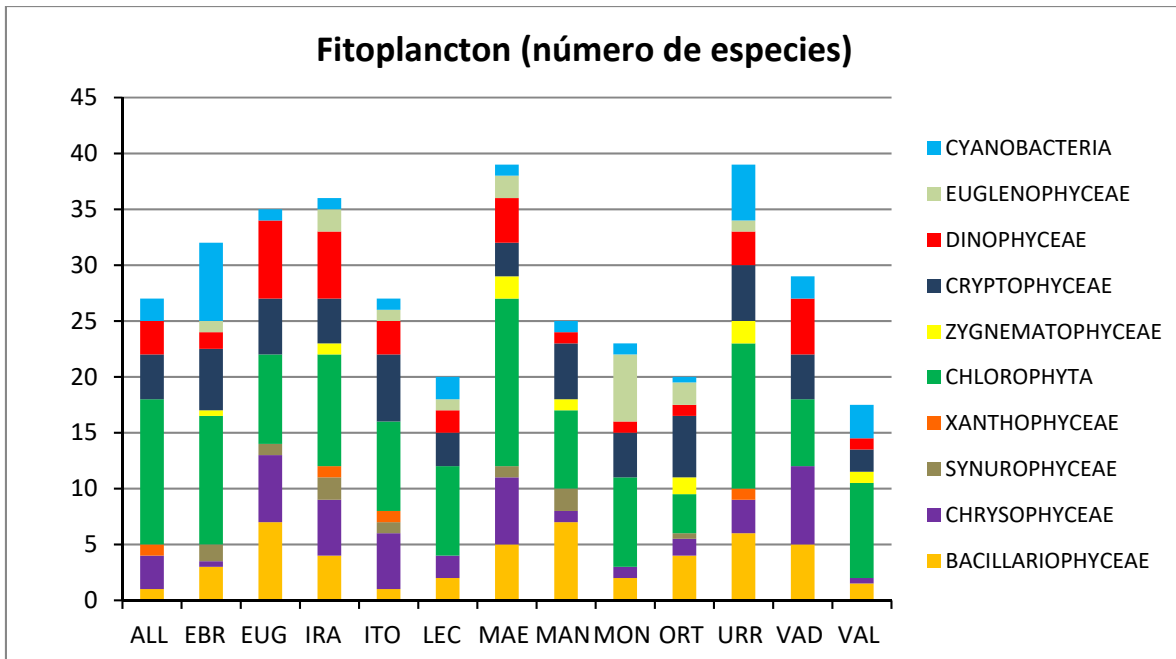


Figura 54. Riqueza de especies para cada grupo fitoplanctónico para los diferentes embalses del tipo 7 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.

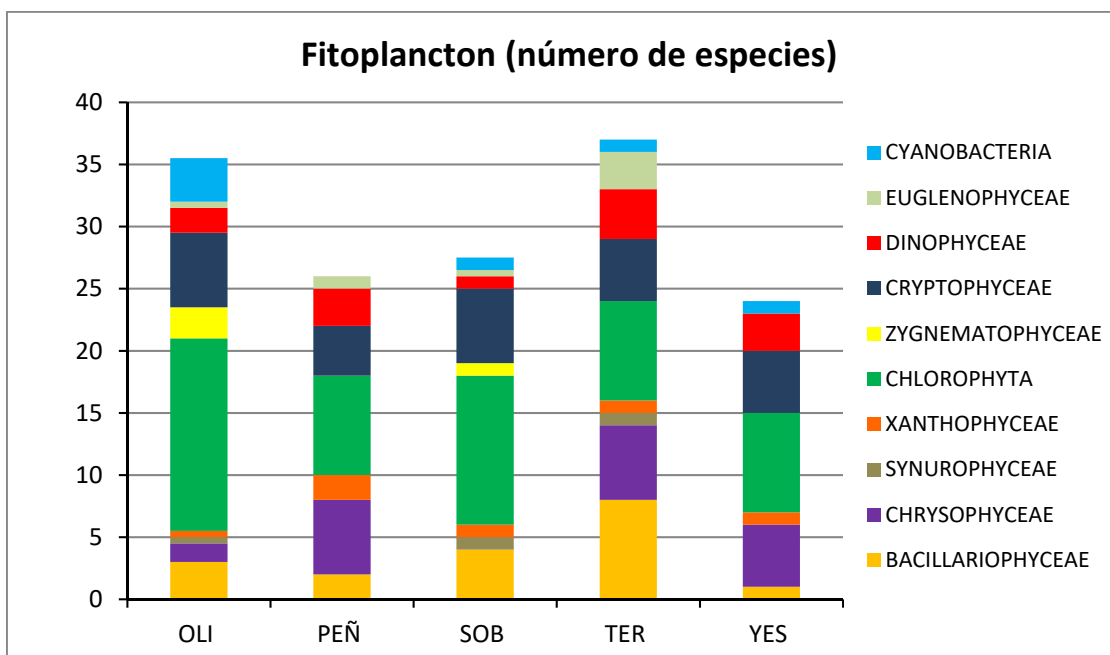


Figura 55. Riqueza de especies para cada grupo fitoplanctónico para los diferentes embalses del tipo 9 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.

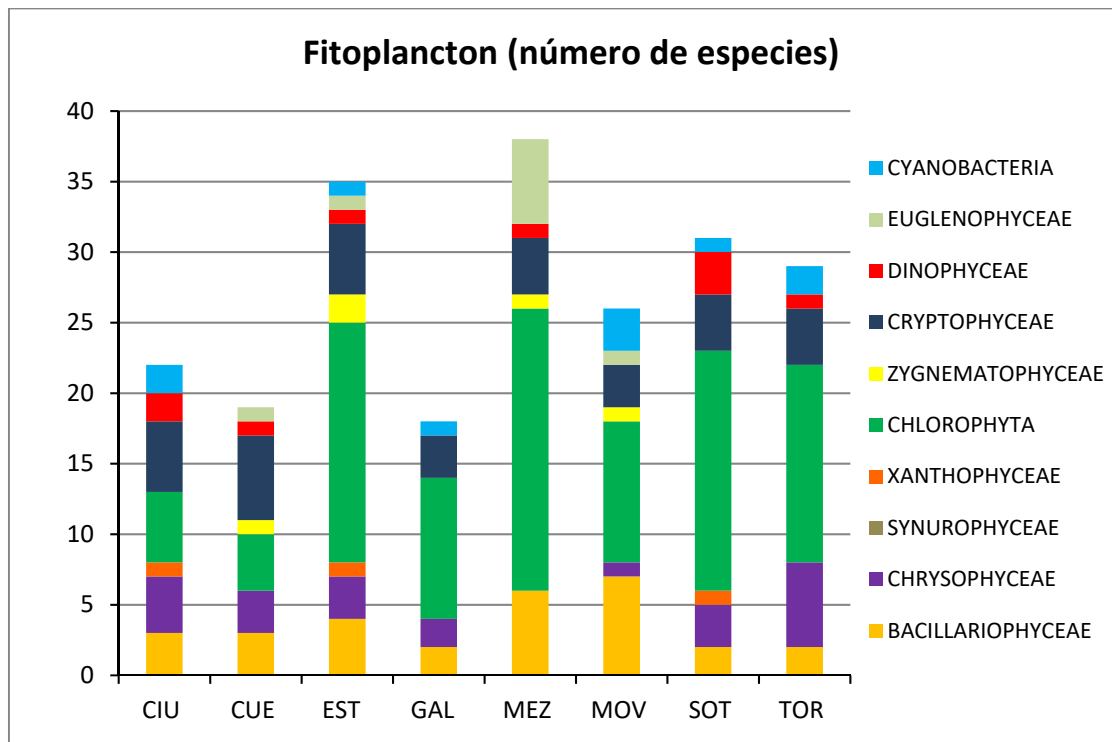


Figura 56. Riqueza de especies para cada grupo fitoplanctónico para los diferentes embalses del tipo 10 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.

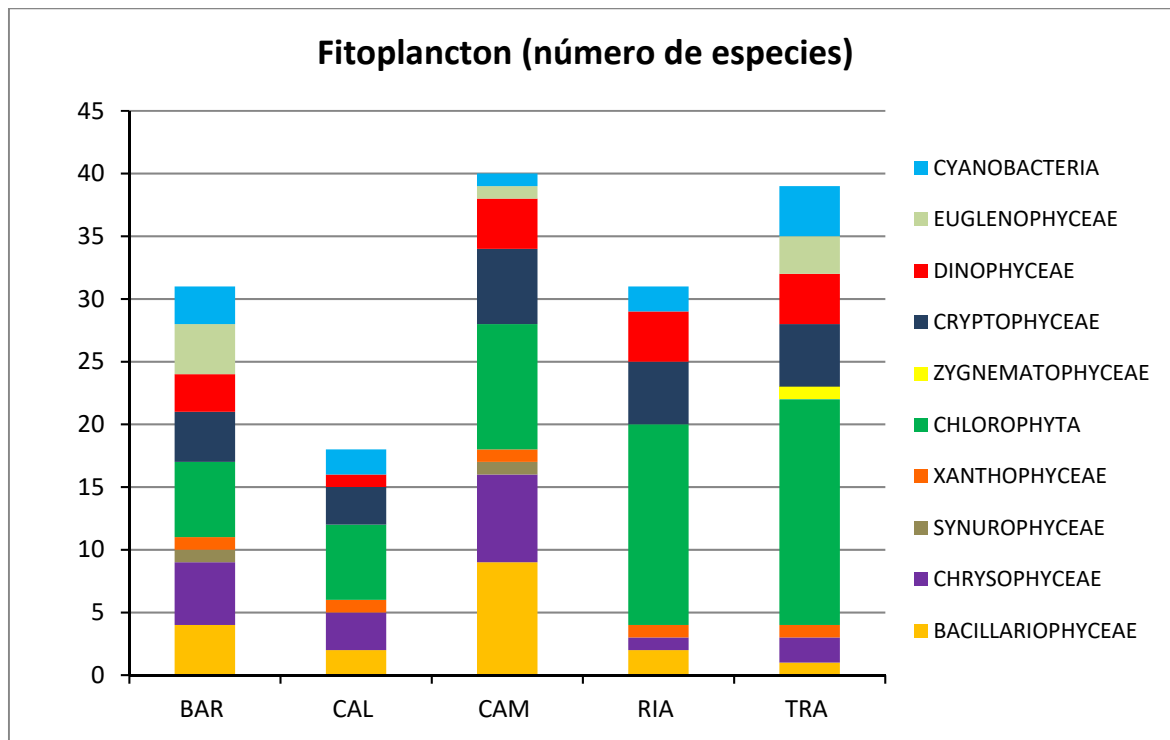


Figura 57. Riqueza de especies para cada grupo fitoplanctónico para los diferentes embalses del tipo 11 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.

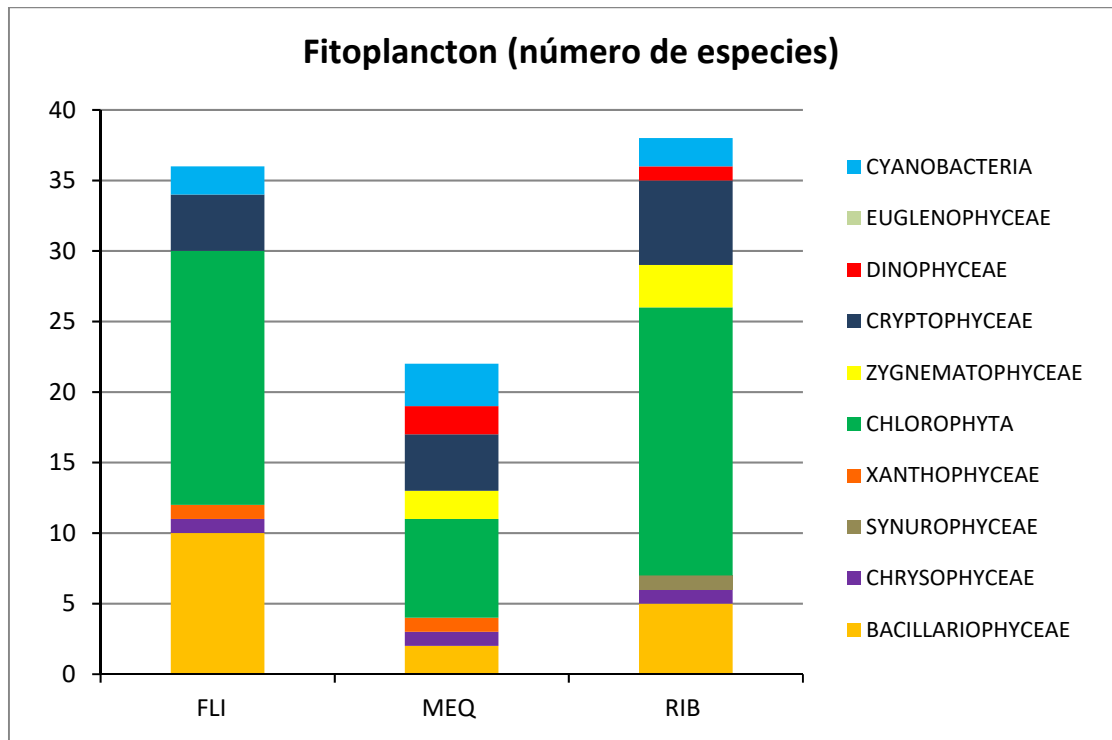


Figura 58. Riqueza de especies para cada grupo fitoplanctónico para los diferentes embalses del tipo 12 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.

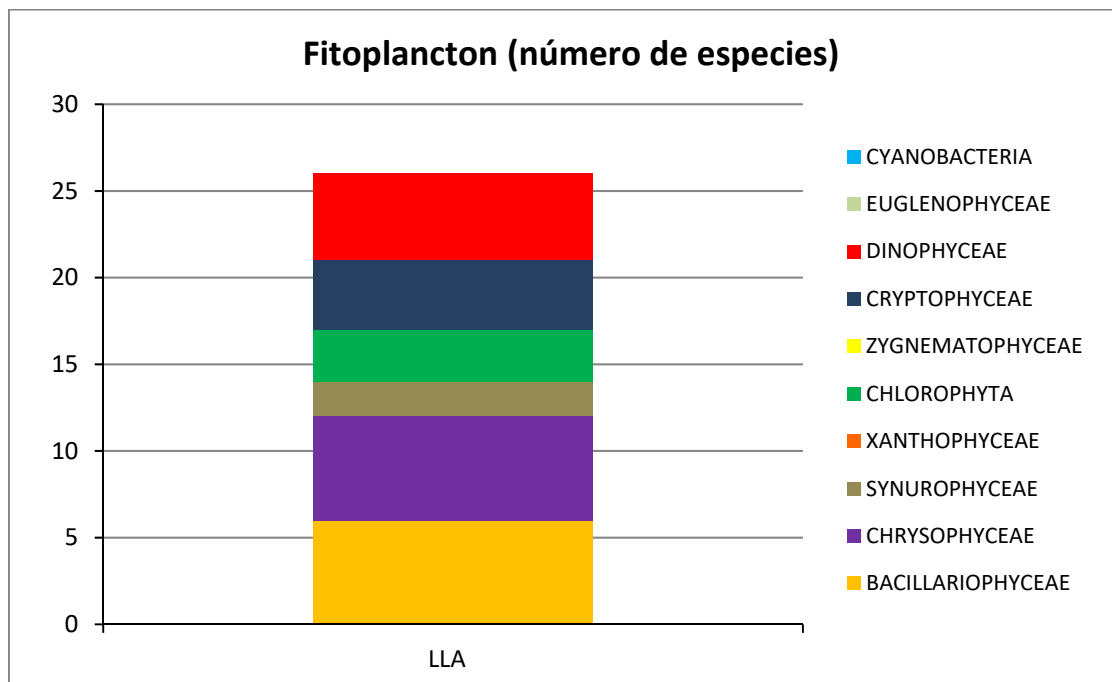


Figura 59. Riqueza de especies para cada grupo fitoplanctónico para el embalse del tipo 13 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.

Los resultados presentados en las figuras anteriores muestran que las Chlorophyceae son en general el grupo con más riqueza en casi todos los embalses, seguido de las Bacillariophyceae. Aunque hay dos embalses donde predominan las Cryptophyceae: Cueva Foradada y Ortigosa. En el embalse de Vadiello y de Llauset las Chrysophyceae han sido el primer grupo con más riqueza, aunque en el embalse de Llauset encontramos con la misma riqueza a las Bacillariophyceae.

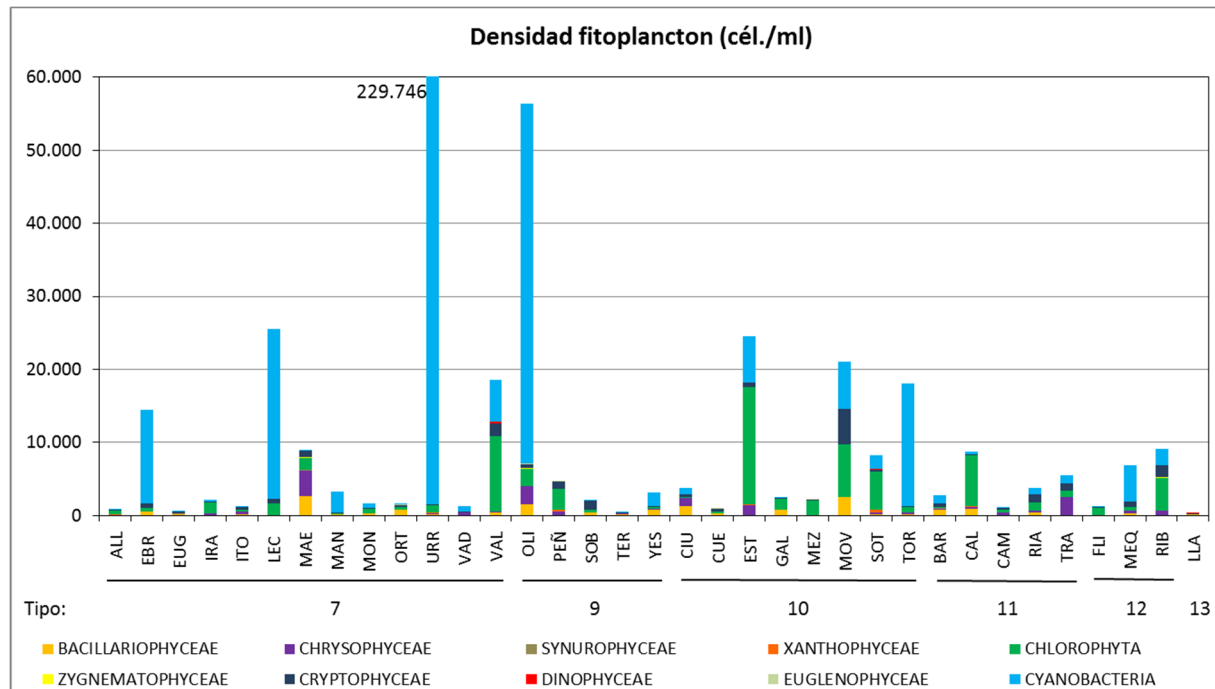


Figura 60. Densidad celular (en células por mililitro) de los grupos de algas fitoplanctónicas en los embalses del ESTUDIO. Abreviaturas de los embalses según su nombre.

En cuanto a la densidad celular (figura 60), en primer lugar, como grupo dominante en los embalses, se sitúan las Cianobacterias (algas verde-azules). Este grupo algal domina en tres de los cinco embalses con las mayores densidades, como son Urrunaga (228.169 cél./mL), Oliana (49.326 cél./mL) y Lechago (23.277 cél./mL). Y también en otros embalses como Ebro (12.716 cél./mL) y Las Torcas (16.755 cél./mL).

Las Chlorophyceae (Clorofíceas o algas verdes) son el segundo grupo con mayor densidad en el fitoplancton. Son las más abundantes en doce embalses, donde mayor densidad se ha registrado es en La Estanca de Alcañiz (16.050 cél./mL), El Val (10.396 cél./mL), Moneva (7.232 cél./mL), Calanda (6.990 cél./mL), La Sotonera (5.189 cél./mL) y Ribarroja (4.550 cél./mL).

El tercer grupo en importancia es Cryptophyceae, destacando su predominancia solo en el embalse de Sobrón con 1.243 cél./mL. En el resto de embalses registra una presencia destacable en los embalses de Moneva con 4.841 cél./mL, Ribarroja 1.637 cél./mL y en Rialb con 1.058 cél./mL.

Destacar la presencia del grupo Bacillariophyceae en muchos embalses, cuarto grupo en dominancia, pero muy cerca del quinto. Domina en Ciurana (1.242 cél./mL), Ortigosa (773 cél./mL) y Terradets (185 cél./mL). Y del grupo Chrysophyceae, que predomina en otros tres embalses: Maidevera (3.530 cél./mL), La Tranquera (1.060 cél./mL) e Itoiz (391 cél./mL).

Si ahora comparamos la densidad de especies entre las muestras de los seis embalses estudiados en dos ocasiones (figura 61), no hay un grupo que domine en todos los embalses y en ambos muestreos. Aunque en los embalses del Ebro y Oliana predominan la cianobacterias en ambos muestreos y en el embalse de Sobrón lo hacen las criptofíceas. En cambio, en los embalses del Ortigosa y El Val sí que se observan diferencias de predominancia entre muestreos. En el embalse de Ortigosa, predominan las clorofceas en el primer muestreo, estas desaparecen y las diatomeas pasan a dominar la comunidad. Mientras que en El Val, en el primer muestreo predominan las clorofceas, sin embargo en el segundo muestreo lo hacen las cianobacterias.

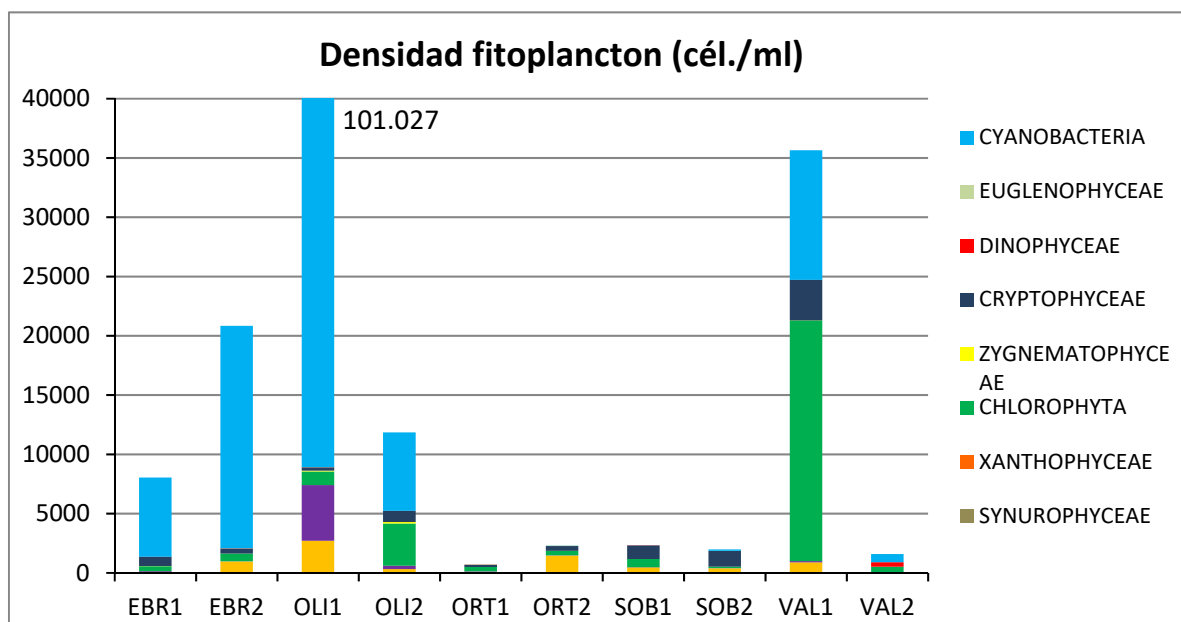


Figura 61. Comparativa de la densidad celular (en células por mililitro) de los grupos de algas fitoplanctónicas en los embalses del ESTUDIO muestreados en dos ocasiones. Abreviaturas de los embalses según su nombre, 1=principio de verano y 2=final de verano.

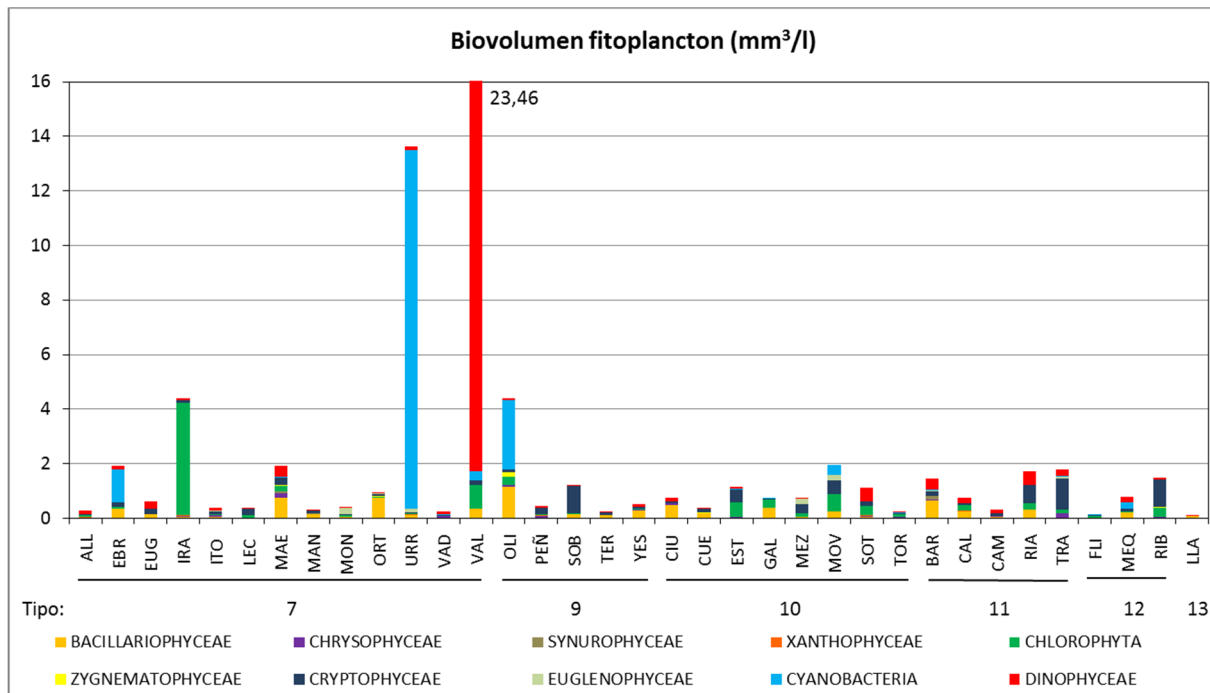


Figura 62. Biovolumen del fitoplancton (en mm³ por litro) de los grupos de algas fitoplanctónicas en los embalses del ESTUDIO de. Abreviaturas de los embalses según su nombre.

Si observamos la representación de los biovolúmenes del fitoplancton (figura 62) son las Bacilarofíceas las que dominan en la mayoría de los embalses, once de ellos, lo que representa un 31 % del total. Los embalses son: Barasona, Calanda, Ciurana, Cueva Foradada, Gallipué, Llauset, Maidevera, Mansilla, Ortigosa, Terradets e Yesa. En este caso, son Maidevera y Ortigosa quienes presentan el valor más elevado de biovolumen dominado por las Bacilarofíceas, 0,761 y 0,756 mm³/L respectivamente.

El segundo grupo dominante, dominando en ocho embalses son las Criptofíceas, seguido por las Clorófitas que dominan en cinco embalses.

El cuarto grupo, dominando también en cinco embalses, son las Dinófitas, algas de poca abundancia, pero grandes, ya que aportan mucho biovolumen para la cantidad que hay. Este grupo cobra relativa importancia en biovolumen en el embalse de El Val (21,76 mm³/mL), el valor más elevado de todo el ESTUDIO.

Las Cianobacterias, muy importantes en cuanto a su densidad, solo son mayoritarias en cuatro embalses. Destacar la dominancia de los euglenófitos (Euglenophyceae) en el embalse de Monteagudo de las Vicarías. Respecto a las crisofíceas (Chrysophyceae), que con la densidad dominaban en tres embalses, con los resultados de biovolumen no predominan en ningún embalse.

Las zignematofíceas (Zygnematophyceae), las xantofíceas (Xanthophyceae) y las Synurophyceae son siempre grupos minoritarios en densidad y biovolumen.

Si ahora comparamos el biovolumen de especies entre las muestras de los seis embalses estudiados en dos ocasiones (figura 63), se observa como en dos embalses no varía el grupo dominante mientras que en los otros tres sí. Los embalses donde solo hay cambios cuantitativos son el embalse de Ortigosa donde predominan las diatomeas en los dos muestreos y el embalse de Sobrón donde predominan las criptofíceas. En los embalses del Ebro y Oliana dominan las cianobacterias en uno de los dos muestreos realizados, pero mientras que en el Ebro predominan en el segundo muestreo y en el primero dominan las criptofíceas, en Oliana dominan en el primer muestreo y en el segundo lo hacen las clorofitas. En el Val dominan en el primer muestreo las clorofitas, pero en el segundo muestreo hay un bloom de dianofitas, concretamente de la especie *Ceratium furcoides*.

Destacar el aumento de las cianobacterias en los embalses del Ebro y Oliana en la muestra de otoño.

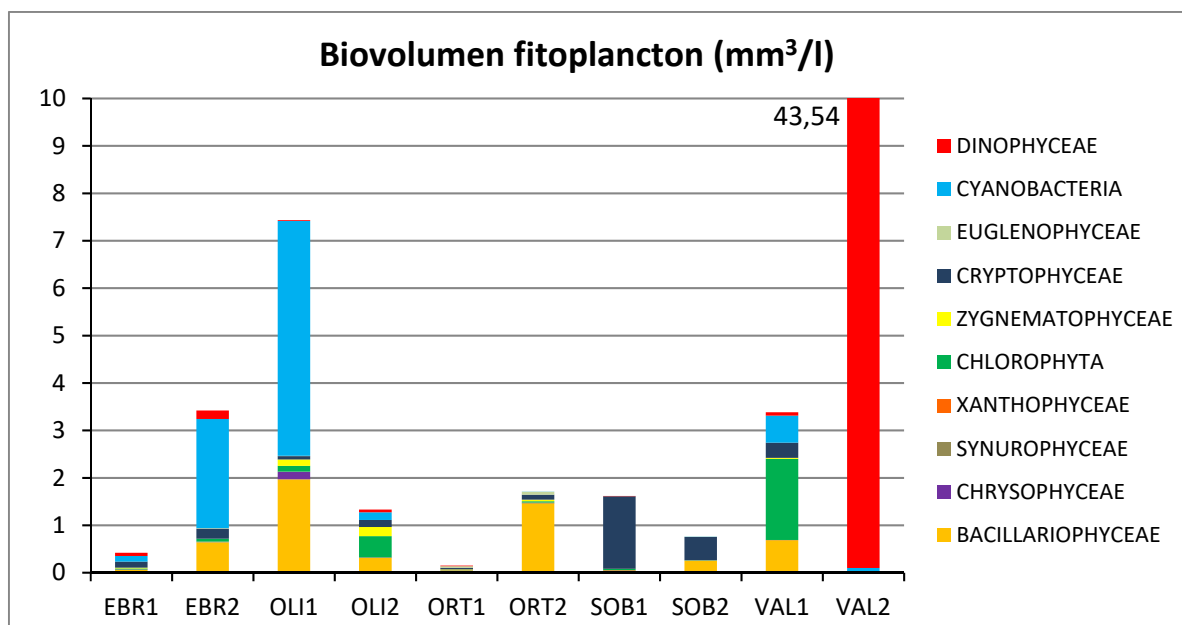


Figura 63. Comparativa del biovolumen (en mm³ por litro) de los grupos de algas fitoplanctónicas en los embalses del ESTUDIO muestreados en dos ocasiones. Abreviaturas de los embalses según su nombre, 1=principio de verano y 2=final de verano.

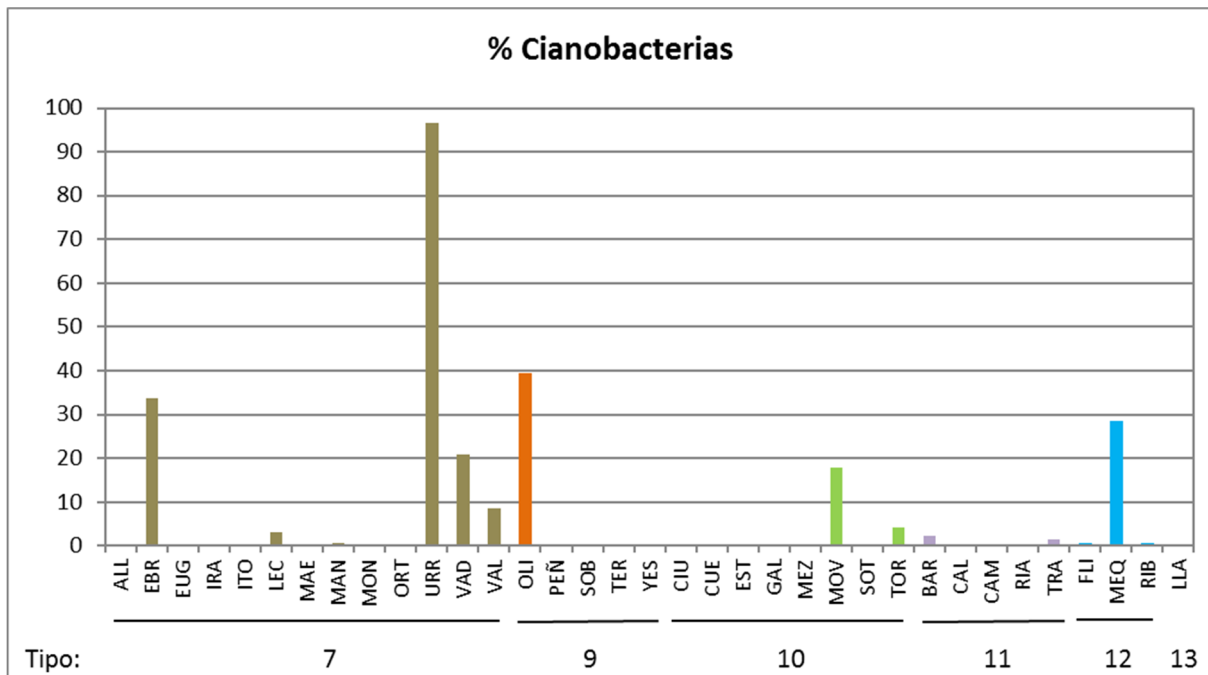


Figura 64. Porcentaje de Cianobacterias respecto a la densidad total del fitoplancton estimado según el Protocolo de análisis y cálculo de métricas de fitoplancton en lagos y embalses (MAGRAMA, 2015), para los diferentes embalses del ESTUDIO. Leyenda de los embalses ordenados según su tipo y después por su nombre.

El grupo Cyanobacteria (Cianobacterias o algas verde-azules) es el de mayor interés para la calidad de las masas de agua, no sólo por su biomasa, sino por la posibilidad de presentar sustancias tóxicas que pueden causar problemas para el uso del agua.

La figura 64 muestra cómo gran parte de los embalses, veinticuatro, un 68,6 %, no tienen algas de este grupo o las tienen en un porcentaje inferior al 1 %, y siete embalses, un 20 %, las tienen en cantidades del 20 % de la densidad total o menores. Pero debemos señalar aquellos que poseen un porcentaje superior al 20 %, que ordenados de mayor a menor porcentaje son: Urrúnaga, Oliana, Ebro y Mequinenza. A pesar de tener un porcentaje elevado, se debe considerar que su biovolumen no es tan elevado como para llegar a niveles preocupantes para la calidad del agua y su biomasa es muy baja respecto a otros grupos de células de mayor tamaño. Consideración especial merece el caso de Urrúnaga, ya que las cianobacterias son el grupo predominante y la especie mayoritaria es *Microcystis aeruginosa*, potencial productora de cianotoxinas. La presencia de cianobacterias, probablemente esté relacionada con el alto nivel de nutrientes en el sistema. La bibliografía general (Oliver & Ganf, 2002; Reynolds, 2006) relaciona la densidad de cianofíceas formadoras de blooms con la eutrofización, aunque se han documentado numerosas excepciones, como ha sucedido en otros años en embalses como Itoiz, quizás más relacionado con la falta de sol que con los nutrientes.

4.3.2. Zooplancton

En las muestras cuantitativas (2 botellas Ruttner x 2,6 L), se registraron 83 especies de zooplancton en un total de 35 embalses, agrupadas en tres grupos taxonómicos principales, el orden Cladóceras (16 especies), la subclase Copépoda (11 taxones) y el *phylum* Rotífera (55 especies). También se contabilizaron las fases larvianas de *Dreissena polymorpha* (Mollusca, Bivalvia).

En las muestras de arrastre de redes verticales, la proporción entre grupos fue parecida, aunque recogiendo un total de 80 especies (ver tabla 11) y la presencia de la especie *Dreissena polymorpha*.

Tabla 11. Proporción entre grupos del zooplancton en la muestra cuantitativa y en la cualitativa mediante red.

	Cuantitativas		Redes	
Cladóceras	16	19,3 %	17	21,3 %
Copépoda	11	13,3 %	10	12,5 %
Rotífera	55	66,3 %	52	65 %
Otros taxones	1	1,2 %	1	1,3 %
Total	83		80	

La comunidad zooplanctónica estudiada en los diferentes cuerpos de agua fue descrita según las siguientes variables:

Densidad (individuos/L, ind./L), biomasa (μg peso seco/litro, $\mu\text{g/L}$), riqueza de especies y diversidad, a partir de las muestras cuantitativas. Seguidamente se resumen los resultados obtenidos por tipologías de embalses.

La **riqueza** de especies (figura 65) se situó en torno a 13 especies por embalse (valores de la media). Las medias de los diferentes tipos fueron muy parecidas, con el tipo 12 presentando el mayor valor con 16,3 especies, y los tipos 10, 11 y 13 presentando el valor más bajo con 12 especies. Valores destacados de riqueza zooplanctónica se dieron en los siguientes embalses: Urrúnaga con 23, Ribarroja con 20 y Sobrón con 19 especies. Se encontraron menos de 10 especies en ocho embalses: Maidevera, Mezalocha, Moneva, La Tranquera y Vadiello con 9, La Peña con 8, Gallipué con 7 y Lechago; con tan solo 5 especies.

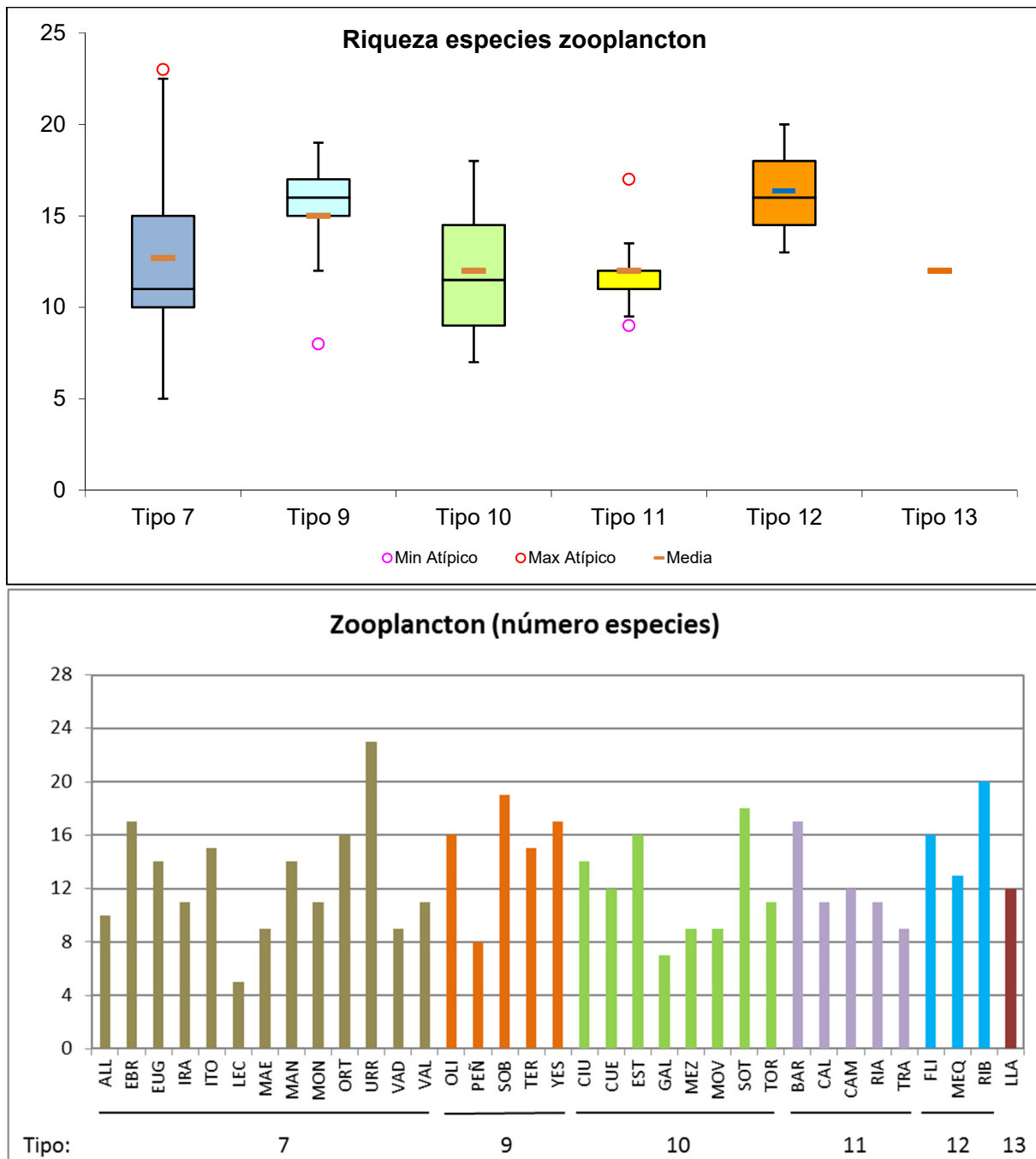


Figura 65. Riqueza de especies de zooplancton para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Tipos: 7: calcáreo / húmedo / cabecera / frío; 9: calcáreo / húmedo / red principal; 10: calcáreo / no húmedo / cabecera; 11: calcáreo / no húmedo / red principal; 12: calcáreo / no húmedo/ eje parte baja; 13: húmedo / alta montaña. La columna coloreada representa el intervalo p25-p75, el segmento interior negro es la mediana, el segmento coloreado es el promedio de los datos; los segmentos verticales representan el rango de los datos (sin contar valores atípicos) y los círculos coloreados son los valores extremos.

La **densidad** de individuos media (figura 66) ha sido de 532,42 ind/L, con valores que han ido desde los 39,81 ind/L en el embalse de Lechago hasta los 2.925 ind/L en La Estanca de Alcañiz, máximo de este ESTUDIO. Por tipos, el promedio más alto con diferencia ha sido para el tipo 10, con dos valores muy superiores al resto, el comentado de La Estanca de Alcañiz y el de La Sotonera. Mientras que el más bajo ha sido para el tipo 13, embalse de alta montaña.

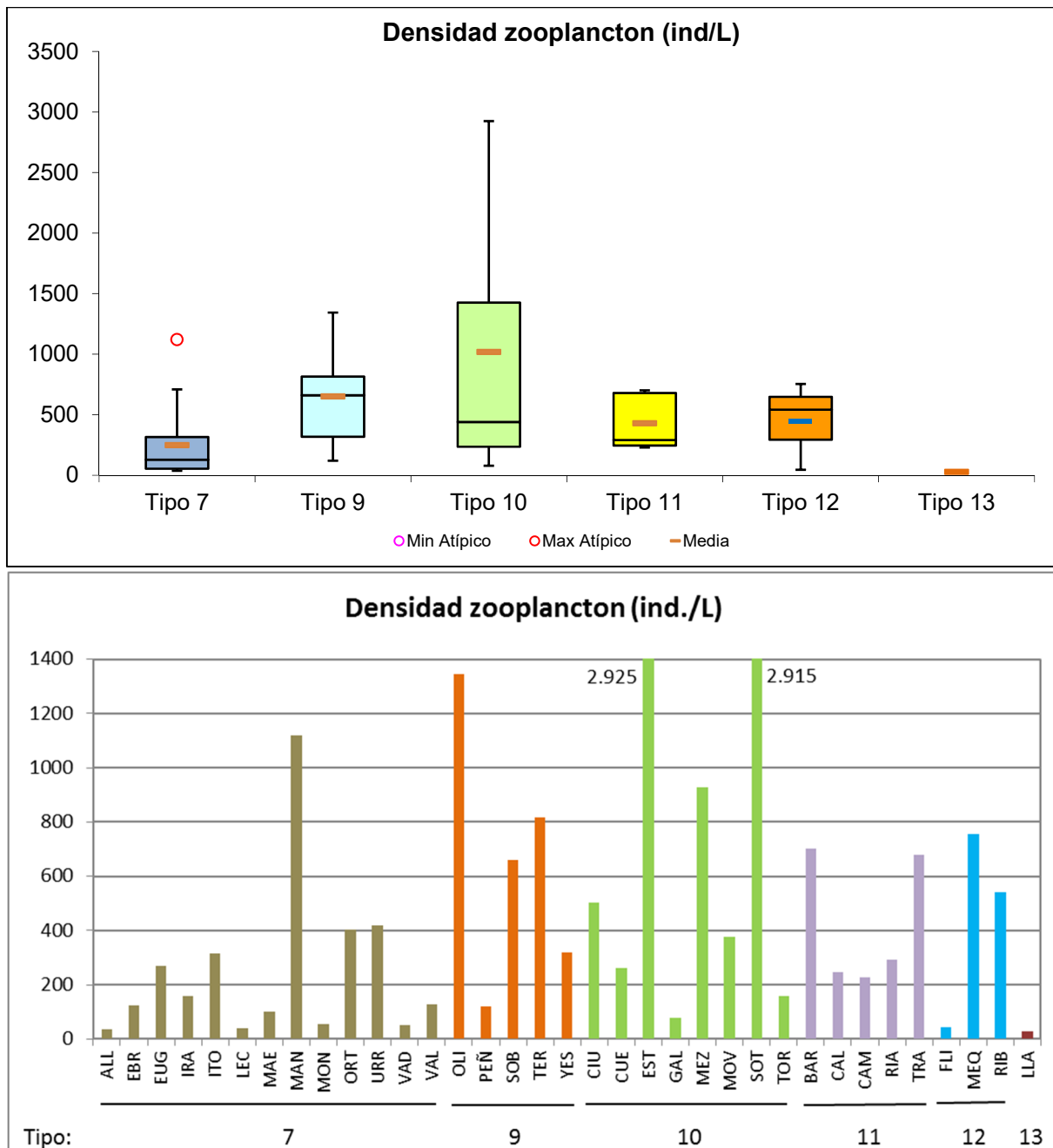


Figura 66. Densidad celular del zooplancton para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 63.

La **biomasa** media (figura 67) sigue la tendencia de la densidad, pero se diferencia en que ahora la media más elevada se dio en el tipo 12, con el máximo absoluto de todo el ESTUDIO del embalse de Mequinenza, con 910 $\mu\text{g/L}$, especialmente debido a la presencia del copépodo *Copidodiaptomus numidicus* con una biomasa de 566,6 $\mu\text{g/L}$. En la parte opuesta, los valores menores han sido para el tipo 1. Por embalses destacar el valor más bajo de todo el ESTUDIO, que precisamente también se ha registrado en un embalse del tipo 12, en el embalse de Flix con tan solo 8 $\mu\text{g/L}$.

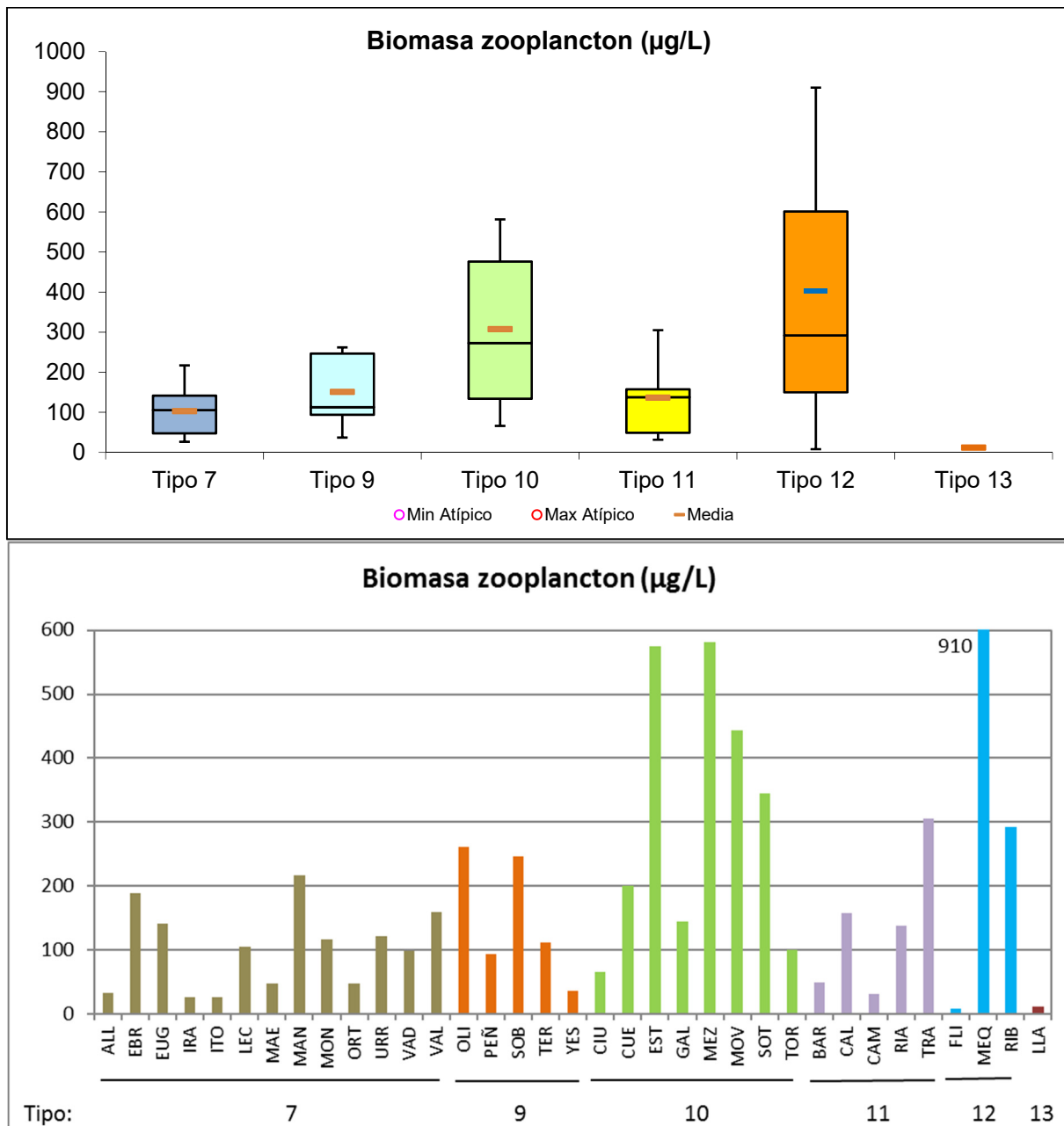


Figura 67. Biomasa del zooplancton para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 63.

La **diversidad** máxima (figura 68) se presenta en el tipo 12 con 3,03 bits, mientras que la mínima se da en el tipo 11 con 1,78 bits. Diez embalses se sitúan por debajo de los valores habituales de diversidad para los ecosistemas acuáticos, entre 2 y 3 bits. El máximo de diversidad se encuentra en Ribarroja, con 3,44 bits. Destacar el valor mínimo del embalse de Barasona (tipo 10) con 0,79 bits, único embalse que no supera el valor de 1 bit, el resto están todos por encima de 1,5 bits.

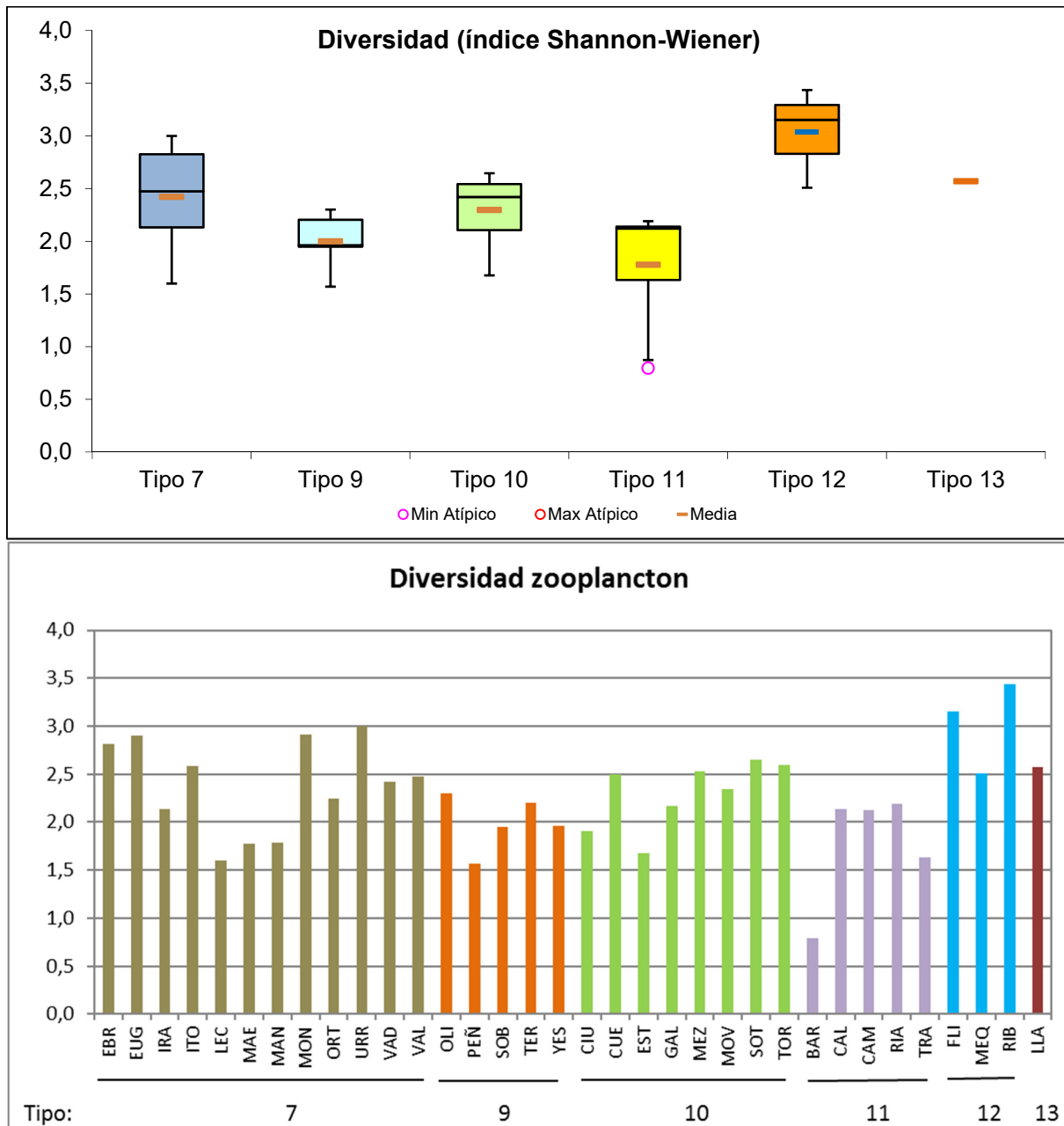


Figura 68. Diversidad del zooplancton según el índice de Shannon-Wiener para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 63.

En las figuras siguientes (figuras 69 a 74) observamos la distribución por tipos de la densidad del zooplancton en los diversos embalses estudiados, indicando los cuatro grupos zooplanctónicos.

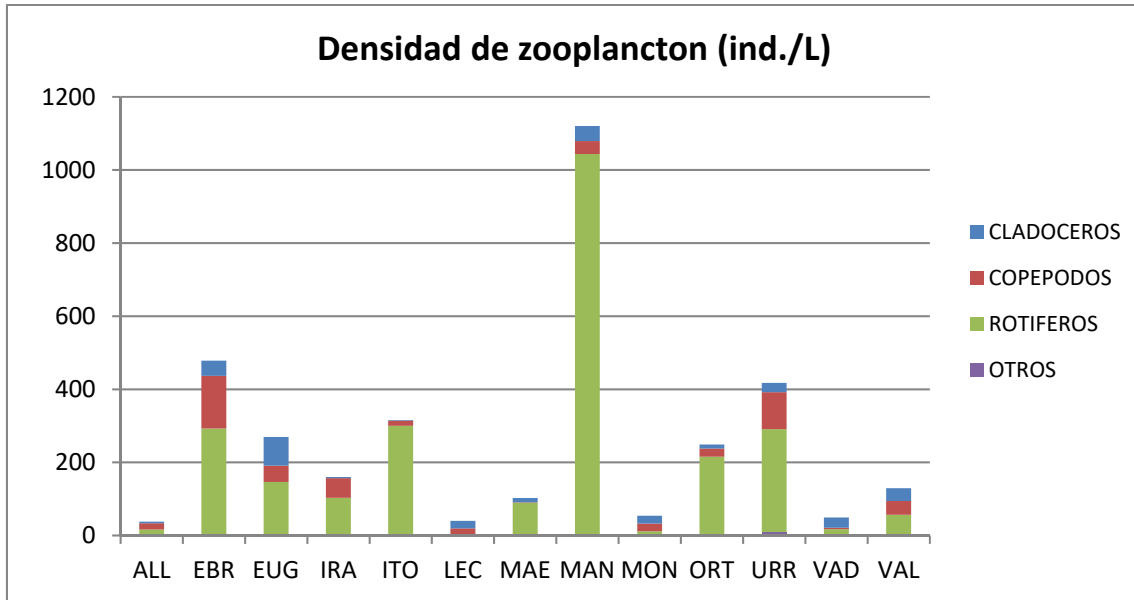


Figura 69. Densidad del zooplancton para cada grupo zooplanctónico en los distintos embalses del tipo 7 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.

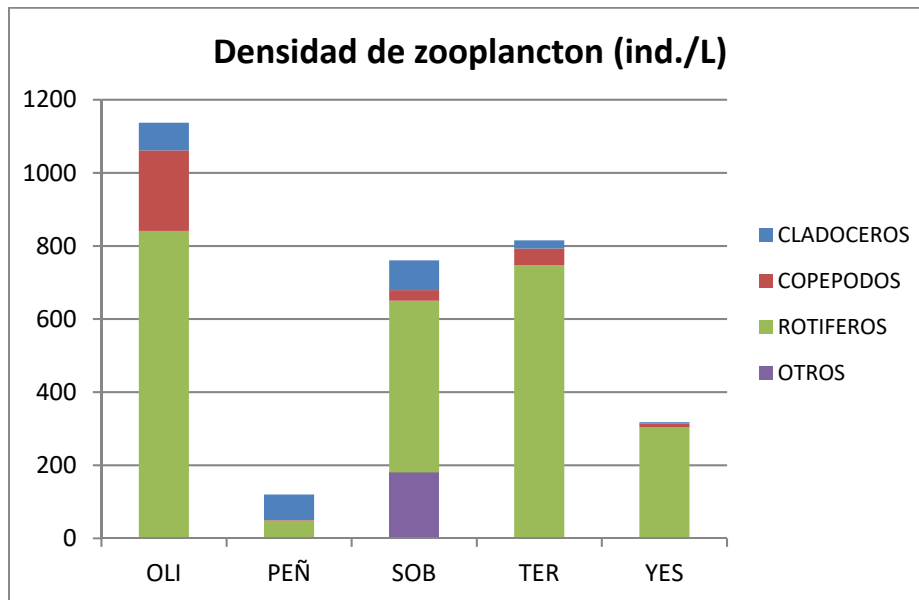


Figura 70. Densidad del zooplancton para cada grupo zooplanctónico en los distintos embalses del tipo 9 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.

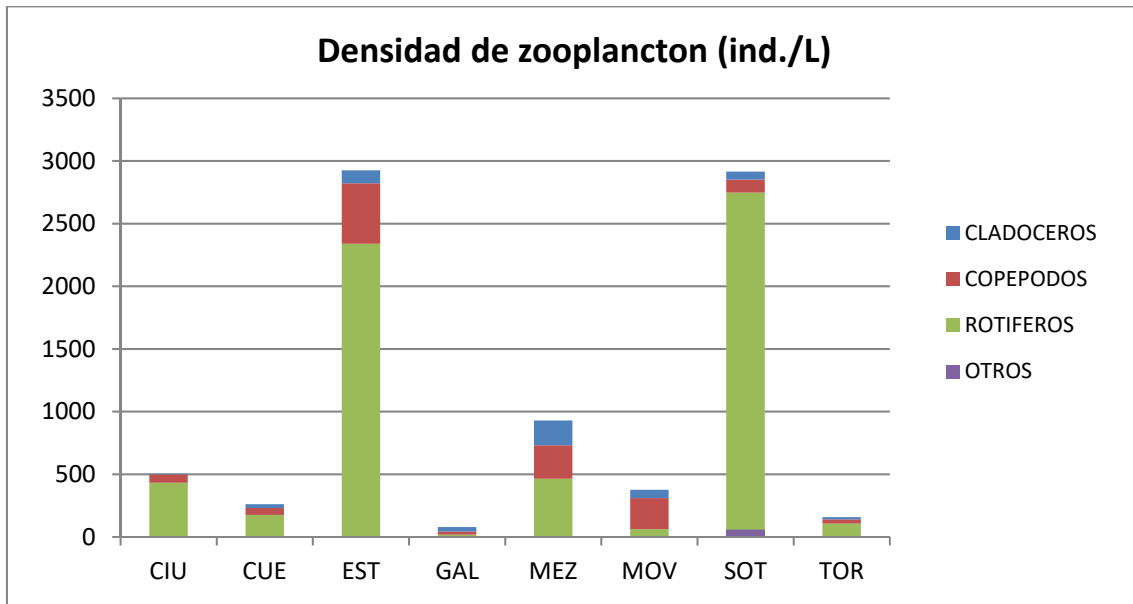


Figura 71. Densidad del zooplancton para cada grupo zooplanctónico en los distintos embalses del tipo 10 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.

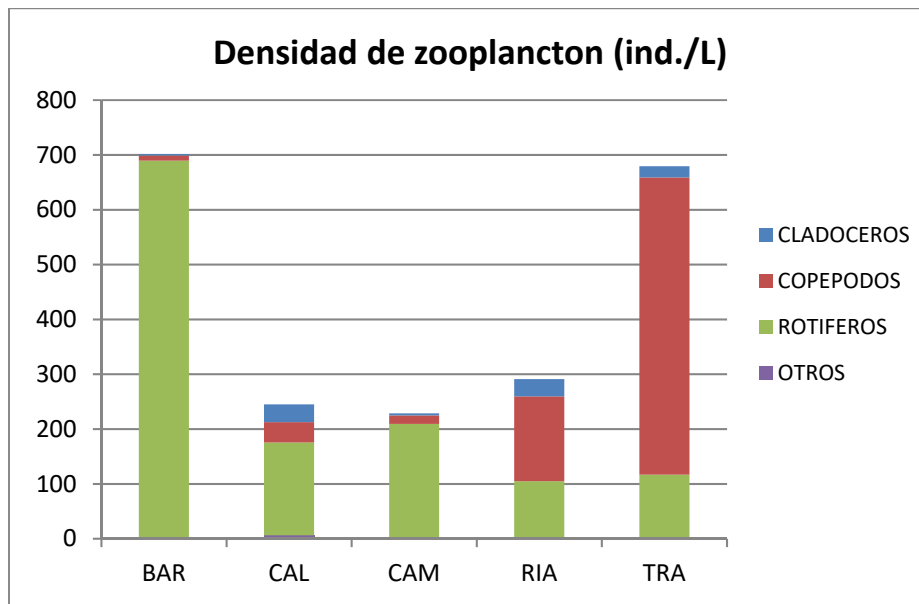


Figura 72. Densidad del zooplancton para cada grupo zooplanctónico en los distintos embalses del tipo 11 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.

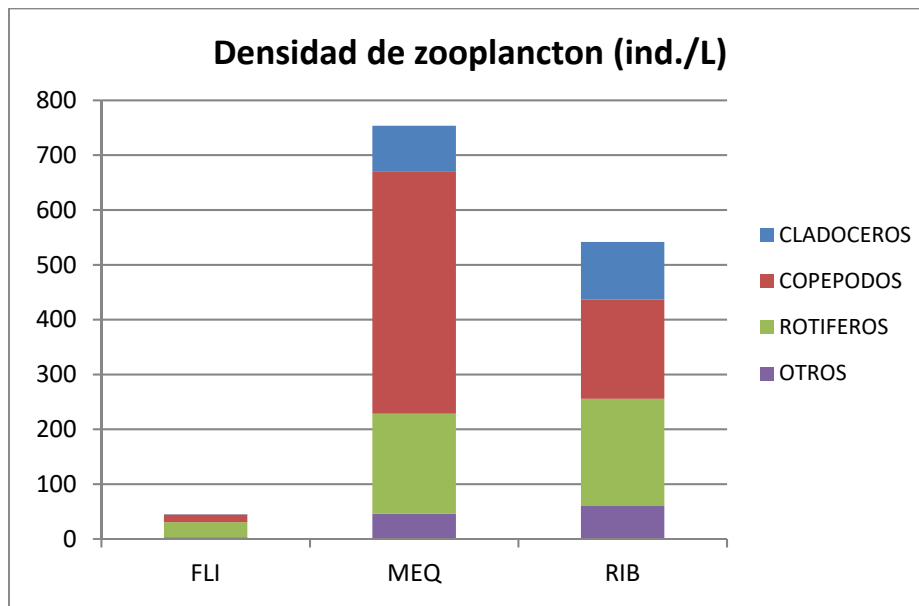


Figura 73. Densidad del zooplancton para cada grupo zooplanctónico en los distintos embalses del tipo 12 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.

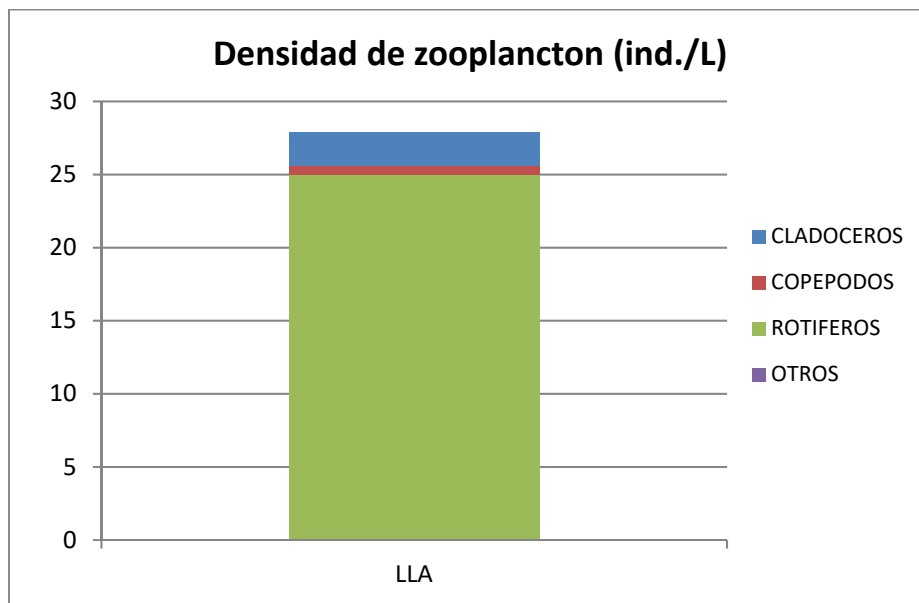


Figura 74. Densidad del zooplancton para cada grupo zooplanctónico para el embalse del tipo 13 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.

Se observa, como suele ser lo habitual, una clara predominancia de los rotíferos, representando la mayor densidad zooplanctónica en la mayoría de los embalses, 25. Las excepciones más llamativa a esta regla general, con predominancia de los copépodos, se da en Mequinzenza, Rialb y La Tranquera, aunque también predominan en los embalses de Alloz y

Moneva. En otros cinco embalses, todos con densidades bajas, predominan los cladóceros, estos embalses son: Gallipuéen, Lechago, Monteagudo de las Vicarías, La Peña y Vadiello.

Si comparamos la distribución de la densidad del zooplancton en los diversos embalses estudiados en los dos muestreos efectuados, indicando los cuatro grupos zooplanctónicos (figura 75), se observa una clara predominancia de los rotíferos en todos los muestreos, ya que solo no predominan en los primeros muestreos de Sobrón, embalse con fuerte presencia de mejillón cebra, y de El Val, en el que dominan los copépodos.

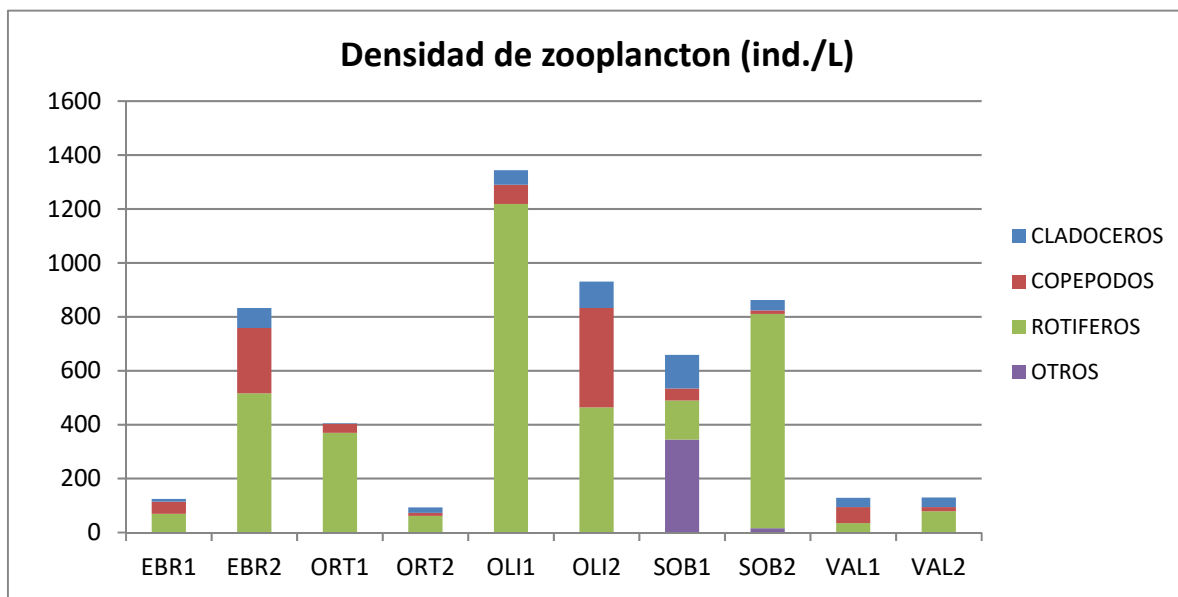


Figura 75. Densidad del zooplancton para cada grupo zooplanctónico en los embalses del ESTUDIO muestreados en dos ocasiones. Abreviaturas de los embalses según su nombre, 1=principio de verano y 2=final de verano.

En 2017 se capturaron larvas de mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*) en siete embalses: Sobrón, Ribarroja, La Sotenera, Mequinenza, Urrúnaga, Calanda y Flix. La densidad de larvas en el embalse de Sobrón durante el primer muestreo fue la más alta (con 344 ind./L y representando un 52 % de la comunidad zooplanctónica). Seguidamente con densidades menores en valores absolutos se presentaron Ribarroja, La Sotenera y Mequinenza con 60, 56 y 48 ind./L respectivamente, lo que representa un 11 % de la comunidad zooplanctónica para Ribarroja, un 2 % para La Sotenera y un 6 % para Mequinenza. Respecto al año 2015, la densidad y el porcentaje en Urrúnaga y en el segundo muestreo de Sobrón ha aumentado, mientras que en el embalse de Calanda solo han aumentado en densidad y en el resto de embalses ha disminuido tanto la densidad como el porcentaje. En las muestras de red los valores porcentuales han sido más altos en general, salvo en Mequinenza, Ribarroja y en el

segundo muestreo de Sobrón, donde han sido mayores a los obtenidos con las muestras cuantitativas.

Destacar que la presencia de mejillón cebra se ve reducida en los muestreos de final de verano, para los embalses en los que se tomaron dos muestras, excepto para el embalse de La Sotonera.

Se ha encontrado larvas en las muestras cuantitativas y en las cualitativas tan solo de los embalses del ESTUDIO en los que el mejillón cebra está presente.

Tabla 12. Abundancia de *Dreissena polymorpha* en los embalses estudiados en 2017.

Embalse	Código	Muestra	<i>D. polymorpha</i> (ind/L)	<i>D. polymorpha</i> (% densidad)	<i>D. polymorpha</i> (% red)
Sobrón	SOB	1	344,62	52,1	14,45
		2	15,38	1,78	5,01
Ribarroja	RIB	1	60,00	11,08	0,00
La Sotonera	SOT	1	58,08	1,99	3,26
Mequinenza	MEQ	1	46,15	6,12	4,89
Urrúnaga	URR	1	9,23	2,21	8,90
Calanda	CAL	1	6,15	2,51	13,65
Flix	FLI	1	3,08	6,84	19,66

4.4. Análisis multivariante

Seguidamente, con el fin de obtener una imagen o marco general de las variables ambientales estudiadas en los embalses y su distribución por tipos de embalses, se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA).

Este método extrae nuevas variables (ejes de variación) obtenidas por combinación lineal de las variables originales introducidas en el análisis, optimizando explícitamente el ajuste de los datos biológicos a las variables ambientales consideradas (Ter Braak & Prentice, 1988). Así, en el PCA, los ejes que explican la respuesta biológica están forzados a ser combinación lineal de las variables ambientales estudiadas (Ter Braak & Smilauer, 1998). Los datos se han transformado previamente para normalizar sus valores según los procedimientos estadísticos habituales, cuando ha sido procedente.

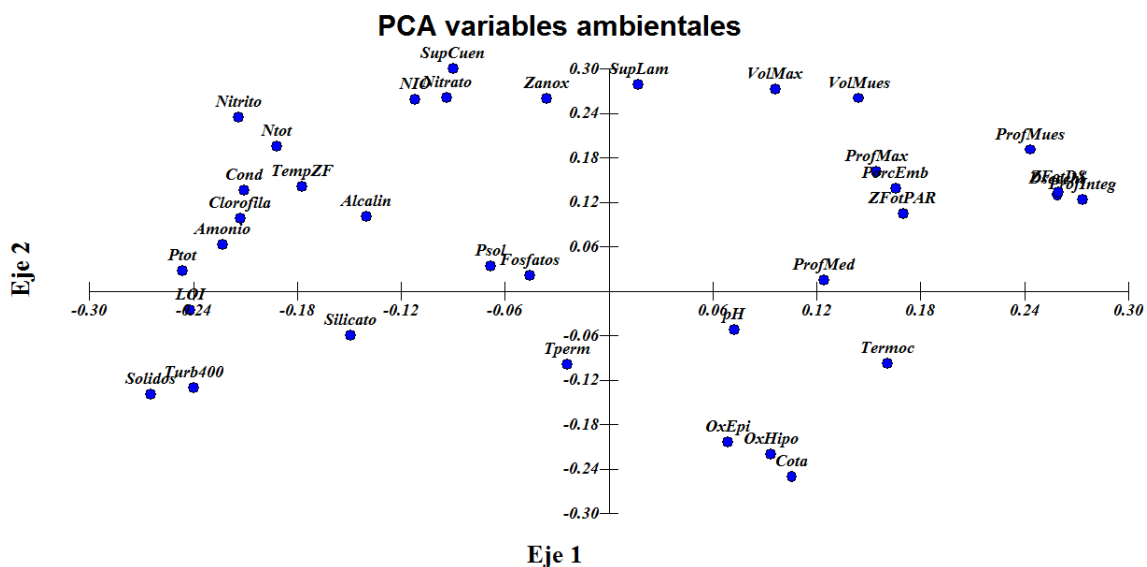


Figura 76. Representación de la posición de las variables estudiadas en los embalses en 2017 frente a los ejes principales 1 y 2 del análisis multivariante PCA.

Los resultados obtenidos muestran que los tres primeros ejes explican un 56,1 de la varianza entre los embalses. El porcentaje de la varianza explicado por el eje 1 es el 30,9 %, el segundo eje explica el 16,8 % y el tercer eje el 9,3 %. En la figura 76 se representa la posición de las variables con respecto a los ejes principales 1 y 2; mientras que la figura 77 hace la representación para los ejes principales 1 y 3.

El eje 1 da mayor peso en la zona positiva a las variables relacionadas con la transparencia, y a características morfológicas de los embalses, frente a una mayor concentración de

nutrientes y embalses más turbios, tramos de orden superior que reciben la carga de nutrientes de aguas arriba de la cuenca.

En el eje 2 tienen mayor peso en la zona negativa las variables relacionadas con la oxigenación, mientras que en la parte positiva tienen más peso las variables relacionadas con la anoxia y compuestos de nitrógeno inorgánico oxidado como el nitrato.

El eje 3 separa en la zona positiva las variables relacionadas con la eutrofización, y la concentración de fósforo biodisponible; frente a la zona negativa donde tienen peso las variables morfológicas que señalan los embalses de mayor tamaño.

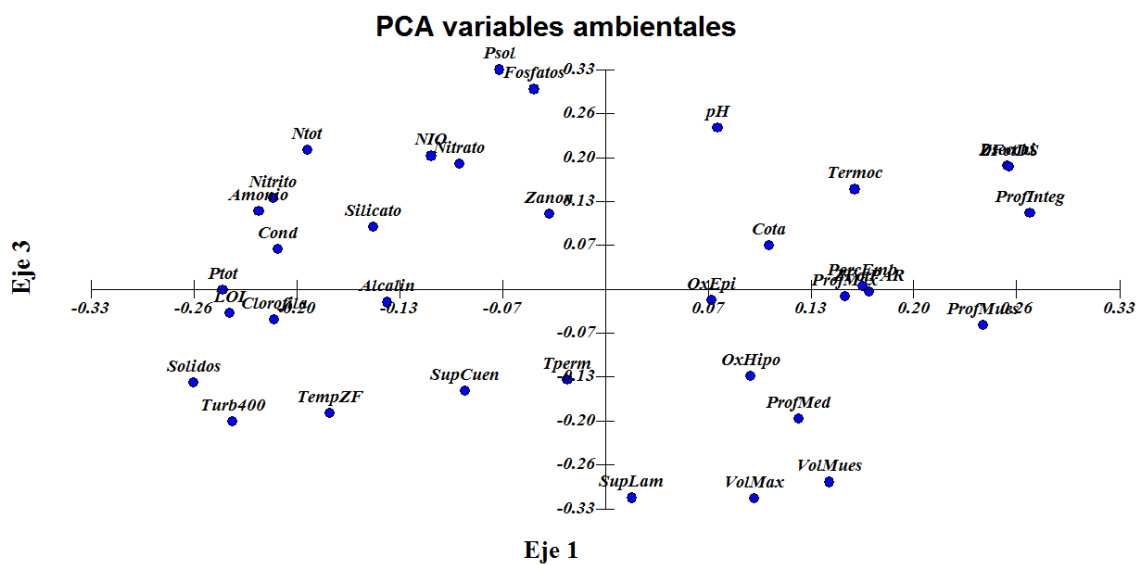


Figura 77. Representación de la posición de las variables estudiadas en los embalses en 2017 frente a los ejes principales 1 y 3 del análisis multivariante PCA.

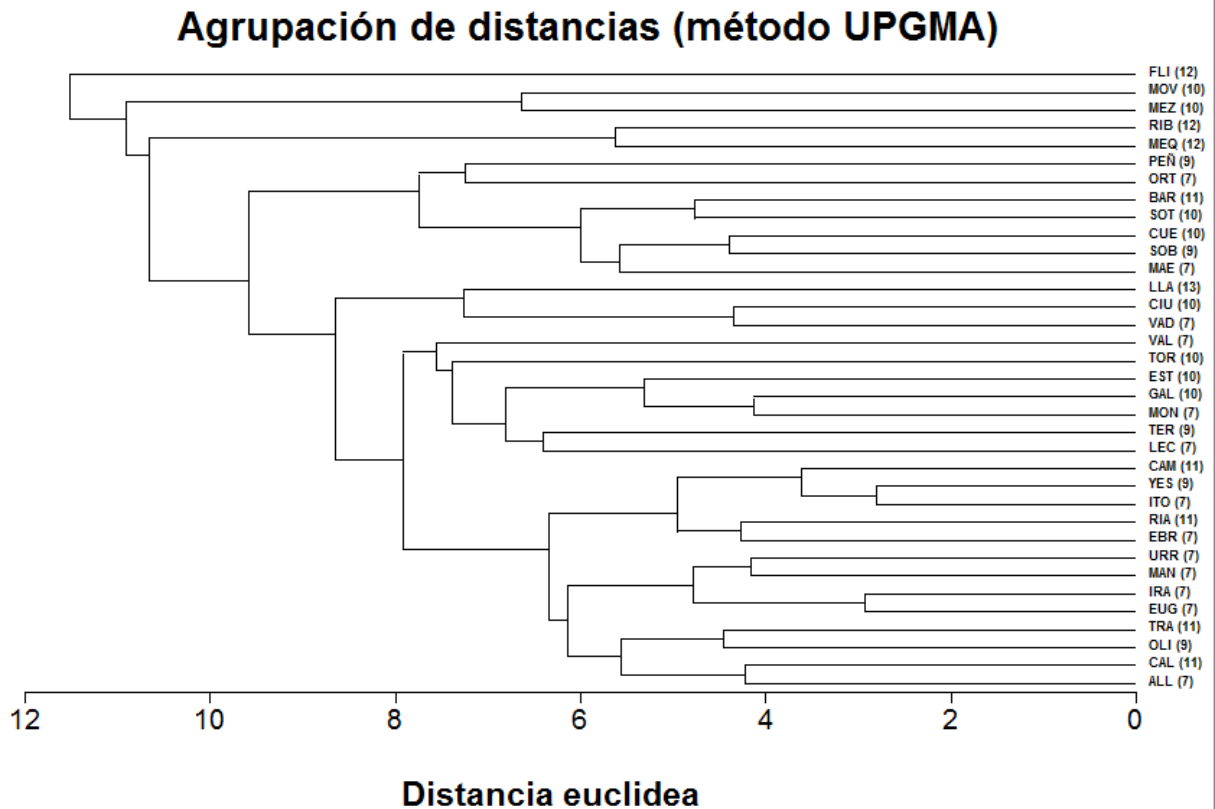
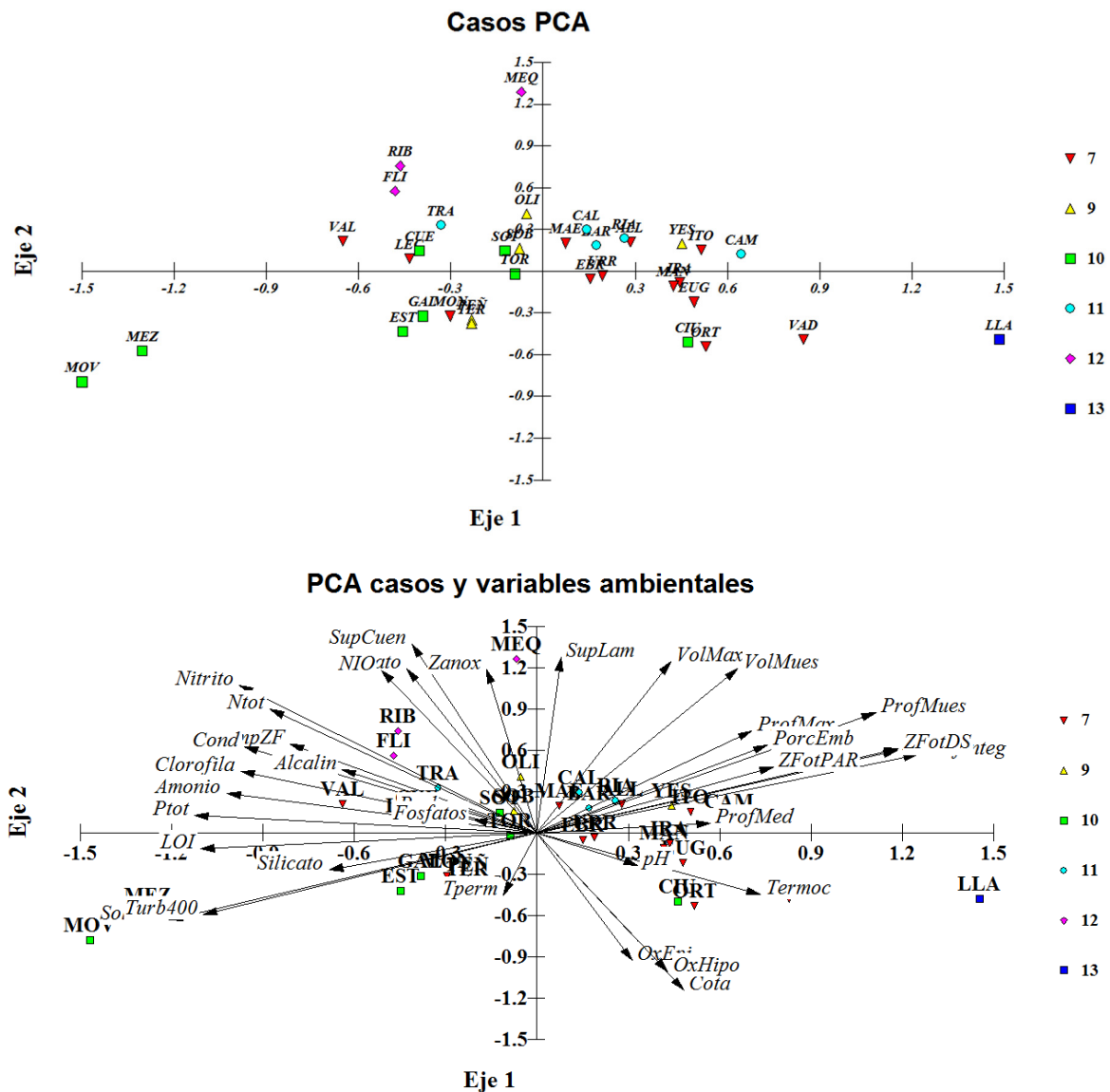


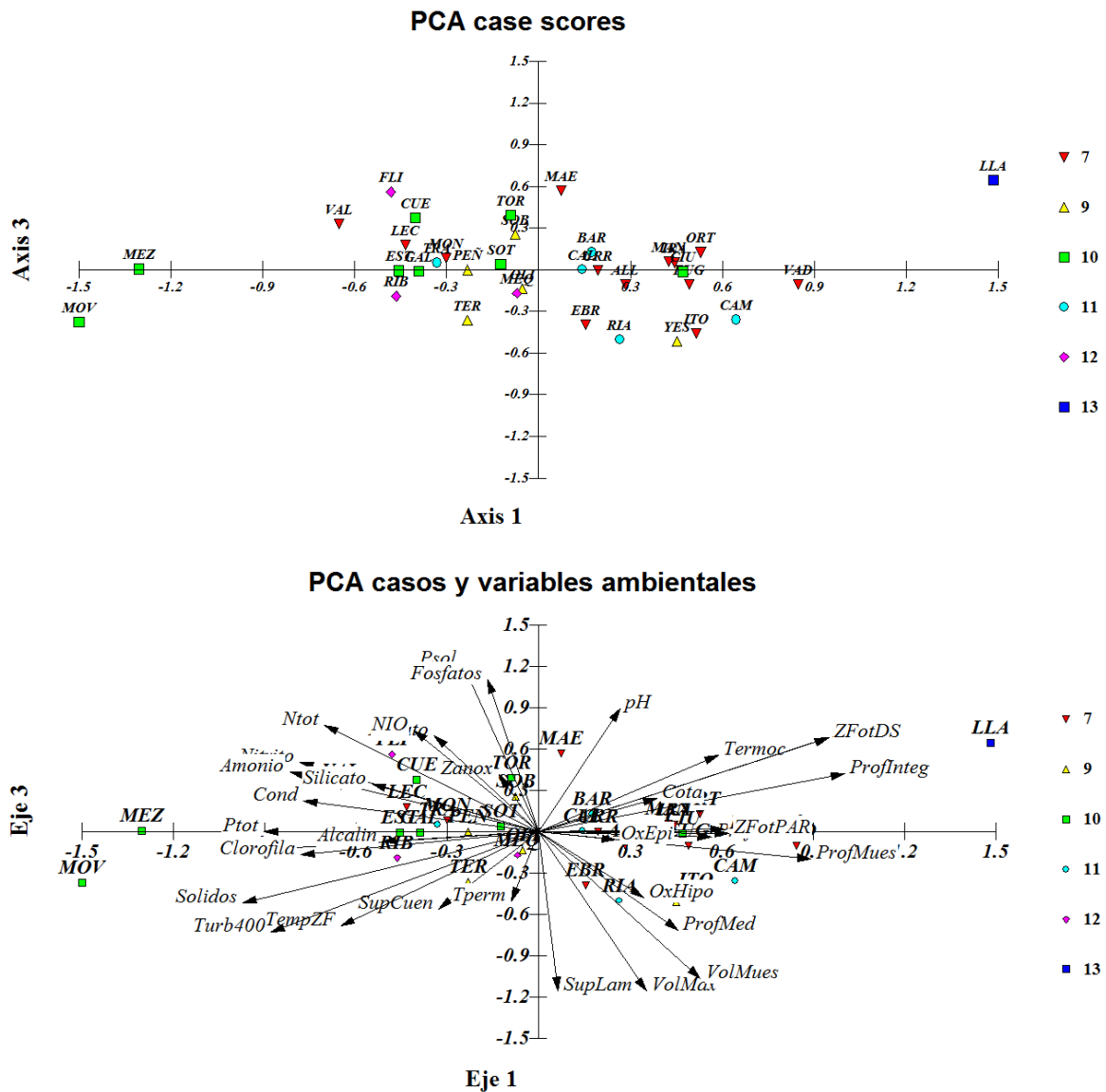
Figura 78. Agrupación de las distancias euclídeas entre los embalses según las variables estudiadas en ellos en 2017 en base al análisis multivariante PCA.

La agrupación de los embalses en un análisis Cluster (figura 78) en primer lugar diferencia los embalses por su tipología, puesto que mayoritariamente tenemos que los embalses de tipo 12 son los que mas se alejan de los de tipo 7. De modo que, a grandes rasgos y sin tener en cuenta algunas excepciones, se ha establecido un gradiente de agrupación en función de la combinación de variables como la presencia de nutrientes, tramos de orden superior más mineralizados que reciben la carga de nutrientes de aguas arriba de la cuenca, y por otro lado embalses de cabecera con menor aporte de nutrientes y menos mineralizados.



Vector scaling: 4.68

Figura 79. Representación, en la gráfica superior, de la posición de los embalses estudiados en 2017 en el espacio definido por los ejes 1 y 2 del análisis multivariante PCA de las variables consideradas. En la gráfica inferior se ha posicionado además el momento de cada una de las variables representado por el vector que señala en su extremo su posición en los ejes.



Vector scaling: 3.68

Figura 80. Representación, en la parte superior, de la posición de los embalses estudiados en 2017 en el espacio definidos por los ejes 1 y 3 del análisis multivariante PCA de las variables consideradas. En la parte inferior se ha posicionado además el momento de cada una de las variables representado por el vector que señala en su extremo su posición en los ejes.

Las figuras 79 y 80 nos muestran la posición de los embalses en el espacio definido por los ejes 1, 2 y 3 de las componentes principales. A la vez que se representa cada embalse con su abreviatura y su color según la tipología a la que pertenece, se han señalado los vectores que marcan la posición en el espacio de las variables estudiadas en análisis de componentes principales.

Los resultados ponen de manifiesto en la zona positiva del eje 1 los embalses más transparentes y con una mayor zona fótica, mientras en la zona positiva están los más



cargados en nutrientes, más mineralizados y turbios. El eje 2 separa los embalses principalmente en función de la presencia de una zona anóxica en el embalse y la concentración de nitrógeno. Por otra parte, el eje 3 sitúa en la parte positiva aquellos embalses pequeños, con una mala oxigenación y con una fuerte carga de fósforo soluble y en la zona negativa a los embalses de mayor tamaño.



5. ESTADO TRÓFICO

5.1. Introducción

Existen diversas definiciones e interpretaciones de los procesos de eutrofización. Una de las más sencillas es la aportada por Margalef (1976) quien se refiere al término eutrofización como la *fertilización excesiva de las aguas naturales, que van aumentando su producción de materia orgánica, con una considerable pérdida de calidad del agua*. Según la definición adoptada por la OCDE (1982), es un *enriquecimiento de las aguas en sustancias nutritivas que conduce, generalmente, a modificaciones sintomáticas tales como aumento de la producción de algas y otras plantas acuáticas, degradación de la pesca y deterioro de la calidad del agua, así como de todos sus usos en general*.

Padisak (2004) describe la eutrofización como el enriquecimiento del agua con nutrientes, principalmente fósforo y nitrógeno, que conduce al aumento del crecimiento vegetal, produciendo blooms algales, desarrollo de macrófitos flotantes o sumergidos, o incremento de las poblaciones algales del bentos. Con la descomposición de este material sobreviene el agotamiento del oxígeno, que conduce a problemas secundarios como mortandad de peces, liberación de gases corrosivos y otras sustancias tóxicas o indeseables. Todos estos factores amenazan seriamente cualquier uso del agua del sistema (Vollenweider, 1989).

La acción del hombre que se manifiesta a través de los vertidos de aguas residuales urbanas y de establecimientos industriales y ganaderos, así como a través de la contaminación difusa producida por el desarrollo de la agricultura intensiva, ha propiciado en los últimos decenios una eutrofización cultural, con una notable aceleración del proceso natural de eutrofización, en la que el fósforo suele ser el elemento por controlar dado su frecuente carácter de elemento limitante.

En realidad, tal y como señala Reynolds (1998), el espectro trófico no debe ser entendido en una sola dimensión o achacado a un solo factor, sino como un compendio de factores interrelacionados que co-varían en respuesta a las demandas de la productividad sobre la totalidad de los recursos.

5.2. Aspectos metodológicos

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

parámetros y establecer la catalogación trófica final en función de aquellos que, en cada caso, responden a la eutrofización de las aguas.

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

a) Concentración de nutrientes. Fósforo total (P)

La concentración de fósforo total en el epilimnion del embalse es un parámetro decisivo en la eutrofización ya que suele ser el factor limitante en el crecimiento y reproducción de las poblaciones algales o producción primaria. Hay varios índices que contemplan su concentración media anual para la catalogación trófica de una masa de agua embalsada:

- **EPA** con tres categorías tróficas y límites de 10 y 20 µg P/L.
- **LEE, JONES & RAST**, con cinco categorías tróficas y límites de 8, 12, 28 y 40 µg P/L.
- **MARGALEF**, con dos categorías tróficas y límite de 15 µg P/L.
- **OCDE**, con cinco categorías tróficas y límites de 4, 10, 35 y 100 µg P/L.

De entre estos índices, se ha adoptado en el presente ESTUDIO, el utilizado por la OCDE (tabla 13), ya que es el que mejor refleja el grado trófico real en los casos estudiados y además es el de más amplio uso a nivel mundial y en particular en la UE, España y la CHE. Ortiz-Casas y Peña (1984) ya mostraron que los criterios de la OCDE, que relacionan la carga de nutrientes con las respuestas de eutrofización, eran válidos para los embalses españoles.

Tabla 13. Niveles de calidad según la concentración de fósforo total.

Estado Trófico	Ultraoligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hipereutrófico
Concentración de P (µg P/L)	0-4	4-10	10-35	35-100	>100

b) Fitoplancton (Clorofila a, densidad algal)

A diferencia del anterior, el fitoplancton es un indicador de respuesta trófica y, por lo tanto, integra todas las variables causales, de modo que está influido por otros condicionantes ambientales además de estarlo por los niveles de nutrientes. Se utilizan dos parámetros como estimadores de la biomasa algal en los índices: concentración de clorofila a en la ZF (µg/L) y densidad celular (nº células/ml).

Los índices contrastados fueron los siguientes:

- **EPA** con tres categorías tróficas y límites de 3 y 20 µg/L para la clorofila (máximo anual) y de 2,000 y 5,000 para la densidad celular.

- **LEE, JONES & RAST**, con cinco categorías tróficas y límites de 2,1 / 3 / 6,7 / 10 µg/L de clorofila (media anual).
- **OCDE**, con cinco categorías tróficas y límites de 1 / 2,5 / 8 y 25 µg/L para la media anual de clorofila-a y de 2,5 / 8 / 25 y 75 µg/L para el máximo anual.
- **MARGALEF**, con dos categorías tróficas y límite de 5 µg/L para la clorofila (media anual) y 5,000 cel/ml para la densidad celular.
- **CHE 2006**, con límites de 5000, 15000, 25000 y 50000 cel/ml.
- **MARGALEF 1983**, (adaptación), con límites de 100, 1000, 10000 y 100000 cel/ml.

Al contar en este ESTUDIO mayoritariamente con sólo una campaña de muestreo en la mayoría de embalses, y por tanto no contar con una serie temporal que nos permitiera la detección del máximo anual, se utilizaron las clases de calidad relativas a la media anual (tabla 14). La utilización de los límites de calidad relativos a la media anual de clorofila se basó en el hecho de que los muestreos fueron realizados durante la estación de verano. Según la bibliografía limnológica general, el verano coincidiría con un descenso de la producción primaria motivado por el agotamiento de nutrientes tras el pico de producción típico de finales de primavera (Russel-Hunter 1970). Por ello, la utilización de los límites o rangos relativos al máximo anual resultaría inadecuada.

En cuanto a la densidad algal fitoplanctónica, la aplicación de los límites de clase del estudio de la CHE (2007, 2008, 2009) no resultó adecuada, obteniendo una proporción de MAS en muy buen estado-potencial o mal estado-potencial (ultra-oligotrofia o hipertrofia) demasiado elevadas y estando las clases intermedias muy poco representadas. Por ello, basamos nuestros límites de estado trófico en la escala logarítmica basada en Margalef (1983), ya utilizada para incluir más clases de estado trófico en otros estudios (tabla 14). Estos resultados se ajustaban de forma más aproximada a los obtenidos mediante otras métricas estándar de la OCDE como las de P total o clorofila. En el presente ESTUDIO, los índices elegidos son los siguientes:

Tabla 14. Niveles de calidad según la clorofila a y la densidad algal del fitoplancton.

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



Embalse de Llauset, con la mínima concentración de clorofila a (0,68 µg/L) en 2017



Embalse de El Val, con la máxima concentración de clorofila a (26,24 µg/L) en 2017

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

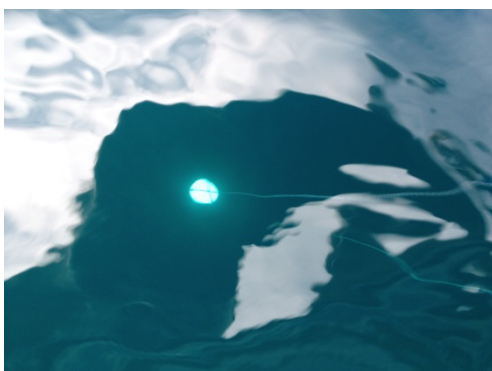
Por su parte, la transparencia, medida como profundidad de visibilidad del disco de Secchi (media y mínimo anual en m), está también íntimamente relacionada con la biomasa algal, aunque más indirectamente, ya que otros factores como la turbidez debida a sólidos en suspensión, o los fenómenos de dispersión de la luz que se producen en aguas carbonatadas, afectan a este parámetro. Los siguientes valores han sido propuestos en diversas fuentes como indicadores del estado trófico:

- **LEE, JONES & RAST**, con cinco categorías tróficas y límites de 1,8 / 2,4 / 3,8 y 4,6.
- **MARGALEF**, con dos categorías tróficas y límite de 3.
- **OCDE**, con cinco categorías tróficas y límites de 1,5 / 3 / 6 y 12 m de medida del disco para la media anual y de 0,7 / 1,5 / 3 y 6 m de medida para el mínimo anual.

Se utilizaron las clases de calidad relativas al mínimo anual de transparencia según criterios OCDE. Se utilizaron en este caso los rangos relativos al mínimo anual (tabla 15) debido a varios factores: por un lado, la transparencia en embalses es generalmente menor que en lagos; por otro lado, en verano se producen resuspensiones de sedimentos como consecuencia de los desembalses para regadío, por último, la mayoría de embalses muestreados son de aguas carbonatadas, con lo que la profundidad de Secchi subestimaría también la transparencia.

Tabla 15. Niveles de calidad según la transparencia.

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



Embalse de Llauset con la mayor transparencia (15,0 m) y embalse de Moneva con la menor (0,3 m) en 2017

5.3. Catalogación trófica final

Se han considerado la totalidad de los índices expuestos, que se especifican en la tabla 16, estableciéndose el estado trófico global de los embalses estudiados según la metodología descrita a continuación, utilizando el valor promedio de los dos muestreos en su caso.

Tabla 16. Resumen de los parámetros indicadores de estado trófico.

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

Sobre la base de esta propuesta, en la tabla 17 se incluye la catalogación de las diferentes masas de agua por parámetro. Así, para cada uno de los embalses, se asignó un valor numérico (de 1 a 5) según cada clase de estado trófico.

Tabla 17. Valor numérico asignado a cada clase de estado trófico.

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

La valoración del estado trófico global final se calculó mediante la media de los valores anteriores, re-escalada a cinco rangos de estado trófico (es decir, el intervalo 1-5, de 4 unidades, dividido en 5 rangos de 0,8 unidades de amplitud). En la tabla 18 se incluye también la catalogación de las diferentes masas de agua según la valoración de este estado trófico final.

La figura 81 muestra (en los códigos de colores de la DMA) los estados tróficos estimados con cada una de las variables consideradas, así como de la combinación de todas ellas en el estado trófico final.

En la figura 82 se muestra la localización geográfica de los embalses clasificados por su estado trófico global o final, y en la tabla 18 el diagnóstico del estado trófico en 2017.

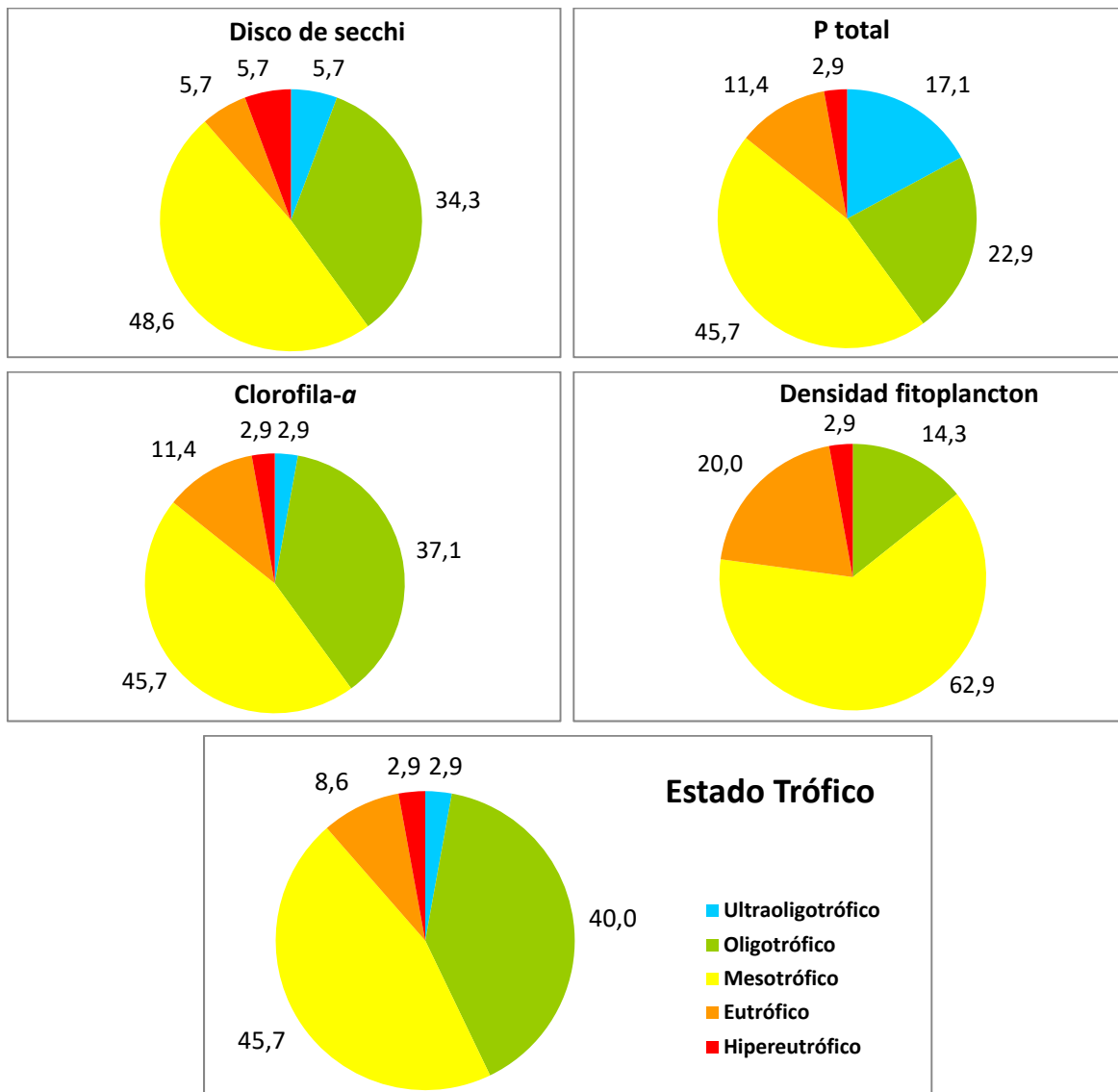
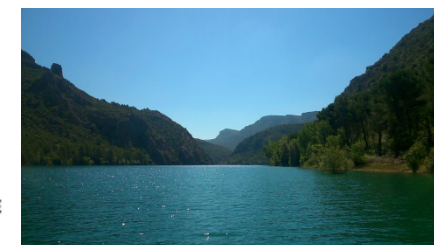
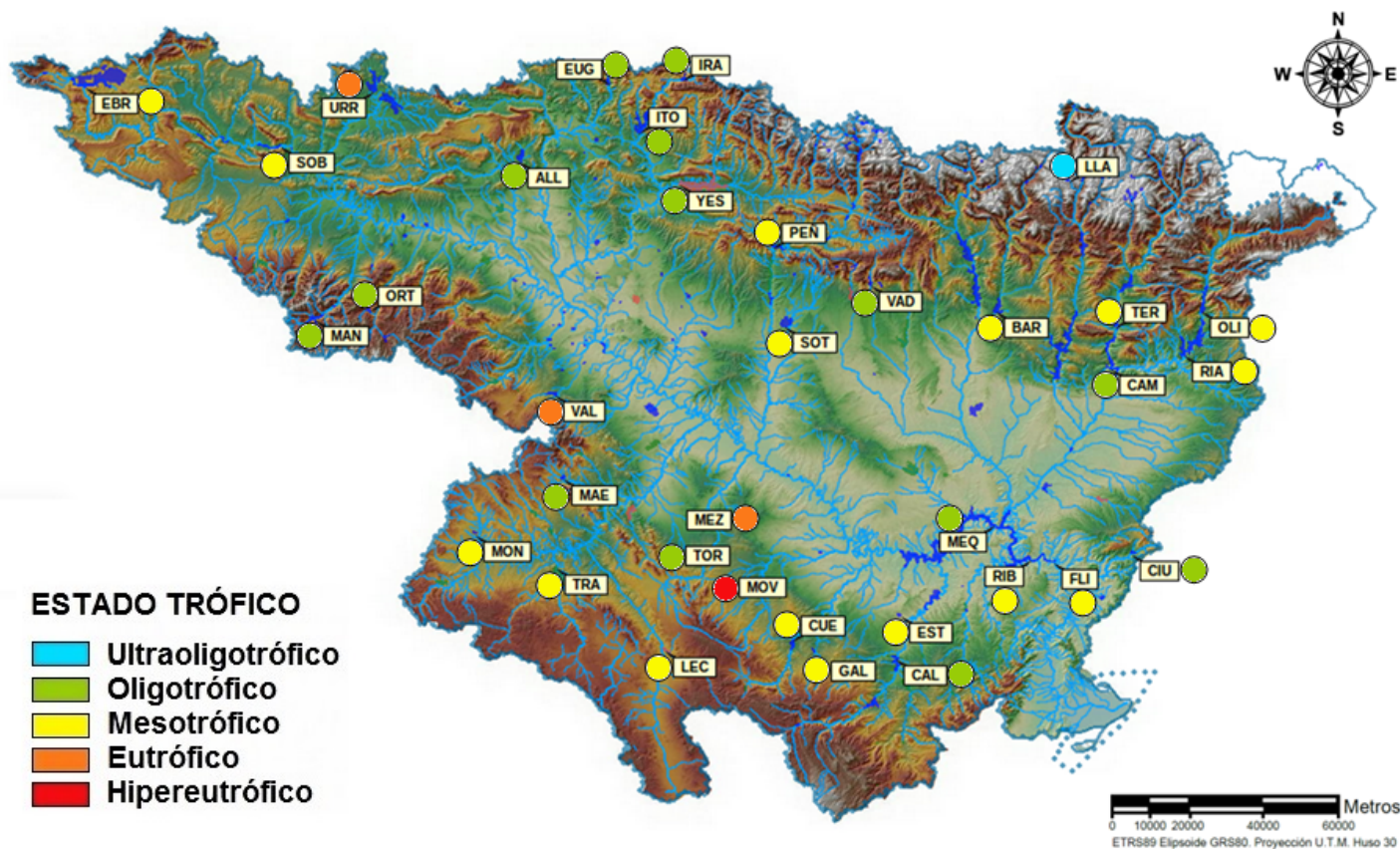


Figura 81. Clasificación trófica de los embalses mediante las diferentes variables y el estado trófico global final.

La variable más restrictiva a la hora de clasificar el estado trófico fue la densidad de fitoplancton, ya que clasificó un 20,6 % de embalses como eutróficos, ninguno como ultraoligotrófico y más de un 60 % como mesotróficos, mientras que el resto de variables clasificó aproximadamente el mismo número de embalses como mesotróficos, un 45 %. La variable que más embalses determinó como eutróficos fue el DS con solo un 5,7 %, es decir, dos embalses. En cambio, el P total fue la variable que más embalses determinó como ultraoligotróficos, seis embalses, un 17,1 %. La catalogación trófica final resultó un compromiso entre métricas. Las clases mayoritarias fueron mesotrófico y oligotrófico, con el 45,7 % y 40 % respectivamente, con las clases ultraoligotrófico y hipereutrófico con uno. Un 8,6 %, 3 embalses, se clasificaron como eutrófico.



Camarasa (oligotrófico)



Urrúnaga (eutrófico)



Moneva (hipereutrófico)

Figura 82. Clasificación de los embalses según su Estado Trófico en 2017.

Tabla 18. Diagnóstico del estado trófico en 2017 (² valor promedio en el caso de embalses con dos muestreos).

Embalse	Código MAS	P total	Disco Secchi	Clorofila a	Densidad fito	ESTADO TRÓFICO
Ebro ²	1	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Mesotrófico
Urrunaga	2	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Hipereutrófico	Eutrófico
Irabia	4	Oligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Oligotrófico
Eugui	6	Oligotrófico	Oligotrófico	Oligotrófico	Oligotrófico	Oligotrófico
Sobrón ²	22	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico
Alloz	27	Ultraoligotrófico	Mesotrófico	Oligotrófico	Oligotrófico	Oligotrófico
Yesa	37	Ultraoligotrófico	Mesotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Oligotrófico
La Peña	44	Mesotrófico	Eutrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico
Vadiello	51	Ultraoligotrófico	Oligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Oligotrófico
Oliana ²	53	Mesotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Eutrófico	Mesotrófico
Barasona	56	Oligotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico
Terradets	59	Mesotrófico	Eutrófico	Oligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico
Mansilla	61	Mesotrófico	Oligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Oligotrófico
Sotonera	62	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico
Rialb	63	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico
Camarasa	65	Oligotrófico	Oligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Oligotrófico
El Val ²	68	Eutrófico	Mesotrófico	Hipereutrófico	Eutrófico	Eutrófico
Mequinenza	70	Mesotrófico	Ultraoligotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Oligotrófico
Mezalocha	71	Eutrófico	Hipereutrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Eutrófico
Ciurana	73	Oligotrófico	Oligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Oligotrófico
Flix	74	Eutrófico	Oligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico
Las Torcas	75	Ultraoligotrófico	Oligotrófico	Oligotrófico	Eutrófico	Oligotrófico
La Tranquera	76	Mesotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Mesotrófico	Mesotrófico
Moneva	77	Hipereutrófico	Hipereutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Hipereutrófico
Cueva Foradada	80	Eutrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico
Calanda	82	Oligotrófico	Oligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Oligotrófico
Itoiz	86	Ultraoligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Oligotrófico



Embalse	Código MAS	P total	Disco Secchi	Clorofila a	Densidad fito	ESTADO TRÓFICO
Lechago	87	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Mesotrófico
Gallipuéen	913	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico
Ortigosa ²	916	Oligotrófico	Oligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Oligotrófico
Ribarroja	949	Mesotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Mesotrófico	Mesotrófico
La Estanca	1022	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Mesotrófico
Llauset	1053	Ultraoligotrófico	Ultraoligotrófico	Ultraoligotrófico	Oligotrófico	Ultraoligotrófico
Monteagudo de las Vicarías	1681	Mesotrófico	Mesotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico
Maidevera	RIO823	Oligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Oligotrófico



6. POTENCIAL ECOLÓGICO

6.1. Consideraciones previas

Tradicionalmente, la evaluación de la calidad en lagos y embalses se ha centrado en parámetros fisicoquímicos (nutrientes, perfiles de oxígeno, etc.) y en la biomasa de fitoplancton expresada en términos de clorofila *a*, para los cuales existen numerosos esquemas de clasificación (ej. OCDE, 1982; Carlson, 1977). Sólo recientemente y siguiendo los nuevos requerimientos de la DMA para evaluar el estado-potencial ecológico, los países europeos han incluido algunos otros elementos de calidad en sus programas de control rutinario, como el fitoplancton, los macrófitos, el fitobentos, los invertebrados o los peces.

Una vez completados los trabajos de caracterización biológica (fitoplancton y zooplancton), fisicoquímica e hidromorfológica y la definición del grado trófico de embalses, queda por definir cómo se combinan los diferentes resultados para definir el potencial ecológico de las masas estudiadas, dado que se trata de masas muy modificadas (embalses).

El *potencial ecológico* pretende ser un reflejo de la calidad global del embalse, definido como masa de agua muy modificada, asociado con su estructura y funcionamiento, y tiene que sintetizar y aglutinar los distintos elementos de calidad biológicos y fisicoquímicos.

Actualmente, se han diseñado diferentes metodologías y protocolos para cumplir estos objetivos, con resultados más o menos exitosos, a partir de una adecuada combinación de resultados tan dispares como los que aportan los índices biológicos –por un lado- y los índices hidromorfológicos y fisicoquímicos –por otro-. En esencia, según la DMA se deben seguir las siguientes fases:

- En primer lugar, el primer paso para definir el potencial ecológico de una masa de agua muy modificada es establecer la categoría de la masa (río, lago, de transición o costera) que más se asemeja a su estado actual. Los embalses en cursos fluviales se identifican así como masas de agua por lo general asimilables a lagos.
- A continuación, clasificar la masa de agua, agrupándola en alguna de las categorías o tipologías. Esta primera fase ya se completó en el capítulo 3 del presente ESTUDIO, tomando como referencia la clasificación de masas de agua muy modificadas y artificiales asimilables a lagos, propuesta originalmente por el CEDEX e incluida en la Orden ARM/2656/2008 por la que se aprueba la *Instrucción de Planificación Hidrológica*, y su modificación posterior de mayo de 2011, la Orden ARM/1195/2011.

➤ Seguidamente, se trata de establecer los elementos de calidad, los máximos potenciales ecológicos (MPE) propios del tipo y los rangos de cada indicador de calidad en 5 clases de potencial ecológico (máximo, bueno, moderado, deficiente y malo). A este respecto, si bien la DMA no requiere el establecimiento del límite entre las clases bueno y máximo, el *Documento Guía nº 13 de la Comisión Europea sobre la Clasificación del Estado y Potencial Ecológico* recomienda su utilización en informes y mapas, al menos a título explicativo. Se consideran también los indicadores utilizados normalmente para conocer el grado trófico de los embalses, ya que integran un número significativo de parámetros que definen el estado de la masa de agua. Se adoptaron los indicadores de estado trófico generales utilizados en el capítulo 5 del ESTUDIO, más otros como el biovolumen de fitoplancton, algunos índices del fitoplancton y una métrica del zooplancton.

➤ Definir el potencial ecológico como una expresión integrada de las diferencias entre los elementos de calidad biológicos recabados, frente a los valores que, para estos mismos elementos de calidad, se han definido para las condiciones de máximo potencial ecológico. Como hemos señalado, por falta de información sobre condiciones de máximo potencial ecológico para la mayoría de indicadores y tipos de embalses, se adoptaron los límites de estado trófico generales definidos en el capítulo 5 del ESTUDIO, más otros indicadores como el fitoplancton y el zooplancton y sus límites de calidad, generales para todos los tipos de embalses. Llamaremos a esta propuesta de clasificación “propuesta experimental”.

➤ En cumplimiento de la nueva normativa de planificación hidrológica (RD 817/2015), estableceremos el potencial ecológico de los embalses mediante el uso de las condiciones de máximo potencial. Se procede según lo determinado en el Real Decreto 817/2015, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental, de Septiembre de 2015, donde se especifican los valores de referencia y los límites entre los estados bueno/moderado, moderado/deficiente y deficiente/malo (así como los ratios de calidad ecológica o RCE) para cuatro parámetros del fitoplancton: concentración de clorofila, biovolumen, índice de grupos algales o índice de Catalán (IGA) y porcentaje de cianobacterias. Llamaremos a esta segunda propuesta de clasificación “propuesta normativa”.

6.2. Elementos y parámetros para la determinación del potencial ecológico

En la “propuesta experimental”, se ha partido de los elementos de calidad establecidos en estudios previos realizados por la CHE (2007, 2008, 2009), y que fueron justificados de forma amplia para el caso de los embalses en esta cuenca. Junto a estos indicadores, se han

aplicado otras métricas que han sido utilizadas en estudios previos realizados por diferentes organismos de gestión y/o investigación, algunas de las cuales fueron ya probadas en los estudios de potencial ecológico de embalses de 2006 y 2007 (CHE, 2007 2008). Otras métricas son de nueva utilización y empezaron a utilizarse en el estudio del potencial ecológico de los embalses del Ebro de 2009.

Así, dentro del indicador fitoplancton, además de la concentración de clorofila, la densidad celular y el biovolumen algal, se han probado otros índices de composición taxonómica y/o funcional como son el *Assemblage Index (Q)* (Padisak *et al.* 2006), el *Índice Trófico (TI)*, Ptacnik *et al.*, 2009) o *Índice trófico de fitoplancton (PTI)*, Salmaso *et al.*, 2006). Respecto al índice biótico, basado en el concepto de especies indicadoras, se ha utilizado el *PRTI*, probado en los estudios de 2009 a 2015 y diseñado específicamente para el estudio de los embalses de la cuenca del Ebro. Se han rechazado las métricas relativas a la comunidad de cianobacterias (porcentaje de cianobacterias y abundancia de cianobacterias potencialmente tóxicas) ya que fueron descartadas en 2009 por su falta de correlación con las métricas de estado trófico. Por la misma razón han sido descartados para este estudio los índices *I_{PL}* y *MedPTI*. Por otro lado, el índice de grupos algales (*IGA*), ha sido descartado porque los resultados de años anteriores (CHE, 2007; 2008; 2009) a nivel de clases de calidad no resultaron coherentes con las clasificaciones del estado trófico, al menos utilizando los límites de clase propuestos originalmente.

Por otra parte, se ha incluido un parámetro relacionado con las especies de zooplancton, un índice biótico basado en el concepto de especie indicadora, el *ZRTI*, testado en los estudios de 2009 a 2015, y diseñado específicamente para el estudio de los embalses de la cuenca del Ebro. Y se han rechazado otros parámetros utilizados en los estudios de 2006 y 2007, ya que tenían resultados poco concluyentes, y eso impidió su utilización en la clasificación del potencial ecológico (CHE, 2007; 2008). Se trata de la relación entre el número de cladóceros de gran tamaño frente al total de cladóceros (*R_{cl}*) y la relación o cociente entre la biomasa de zooplancton y la biomasa de fitoplancton expresada como concentración de Clorofila *a* (*R_{zoo-chla}*). Estas métricas se propusieron y validaron en el proyecto europeo *ECOFRAME* para lagos someros europeos (Moss *et al.*, 2003), por lo que su adecuación o modificación a sistemas leníticos más profundos sería necesaria en un futuro (CHE 2007; 2008). Otra métrica que ya se propuso en el estudio de embalses de 2007 (CHE 2008) fue un índice biótico denominado *wetland zooplankton index (WZI)*, Loughheed & Chow-Fraser, 2002), desarrollado en EEUU para la evaluación de la calidad en humedales (lagunas, ríos, lagos, etc). Utiliza

valores de tolerancia y óptimos para diferentes géneros y especies de zooplancton. El hecho de ser un índice que funciona con un nivel taxonómico genérico (en su mayor parte) y que es aplicable a diversos hábitats, determina su aplicabilidad en otras zonas geográficas y en sistemas como los embalses estudiados. Además, el *WZI* es una métrica con cinco clases de calidad delimitadas, por lo que su adecuación al ámbito de la DMA resulta inmediata. No obstante, tampoco esta métrica dio resultados satisfactorios, ya que hacía descender mucho la calidad o potencial final, lo que también impidió su utilización en la clasificación del potencial (CHE, 2008). Finalmente, el uso del índice *riTLI*, fue descartado por no presentar correlaciones significativas con el *TLI*.

En la tabla 19 se presentan los indicadores de calidad, así como los elementos y parámetros de cada uno seleccionados para la determinación del potencial ecológico (PE) en los embalses muestreados en el año 2017.

En las siguientes secciones se describen y justifican los parámetros elegidos como métricas para la evaluación del PE.

Tabla 19. Parámetros candidatos para la determinación del potencial ecológico.

INDICADOR	ELEMENTOS	PARÁMETROS CANDIDATOS
Biológico: propuesta normativa	Composición, abundancia y biomasa del FITOPLANCTON	Biovolumen algal
		Biomasa algal: Clorofila <i>a</i>
		<i>Índice de Catalán (IGA)</i>
		<i>Porcentaje de cianobacterias</i>
Biológico: propuesta experimental	Composición, abundancia y biomasa del FITOPLANCTON	Densidad algal
		Biomasa algal: Clorofila <i>a</i>
		Biovolumen algal
		<i>Phytoplankton Assemblage Index (Q)</i>
		<i>Phytoplankton Trophic Index (PTI)</i>
		<i>Trophic Index (TI)</i>
	<i>Phytoplankton Reservoir Trophic Index (PRTI)</i>	
Composición, abundancia y biomasa del ZOOPLANCTON	<i>Zooplankton Reservoir Trophic Index (ZRTI)</i>	
Fisicoquímico	Concentración de nutrientes	P total ($\mu\text{g P/L}$)
	Condiciones de oxigenación	Concentración hipolimnética o media
	Transparencia	Profundidad Disco de Secchi

6.2.1. Indicadores biológicos.

A continuación, se describen cada una de las métricas seleccionadas para la evaluación del potencial ecológico, así como los límites de clases de calidad o potencial ecológico establecidos para cada una de ellas.

6.2.1.1 Aproximación experimental

1) Densidad algal

Para su valoración, en principio se utilizaron dos referencias: EPA, 1976 y Margalef 1983. La primera establece el límite inferior -oligotrofia- en 2000 cél./ml y la segunda establece en 5000 cél./ml el umbral que separa la eutrofia moderada de la avanzada. Se ha considerado que esta última referencia -5000 cél./ml- es indicativa de que, a lo largo de un año, no se producen proliferaciones algales significativas y se mantiene, por tanto, un óptimo estado de la calidad del agua. El estado del agua empeora por este concepto cuando se superan las 15000 cél./ml; límite entre la mesotrofia y eutrofia establecido por la EPA (Weber, 1976).

La aplicación de los límites de clase resultantes, ya aplicados en el trabajo por la CHE de 2006 (CHE, 2007) no resultó muy realista, como ya se ha indicado en el capítulo de estado trófico, obteniendo una proporción de MAS en muy buen estado o mal estado (ultra-oligotrofia o hipertrofia) demasiado elevadas. Por ello, basamos nuestros límites de estado en una escala logarítmica, partiendo de 1000 y llegando a las 100000 cél./ml, límites basados en Margalef (1983) y ya utilizados con algunas modificaciones para incluir más clases de estado trófico en otros estudios. Estos resultados se ajustaban mejor a los obtenidos mediante métricas estándar (OCDE). Los rangos finales establecidos en su valoración se presentan en la tabla 20.

Tabla 20. Clases de potencial ecológico según la densidad algal del fitoplancton.

Clase de potencial	Bueno o superior	Moderado	Deficiente	Malo
Densidad algal (cél./ml)	<1.000	1.000-10.000	10.000-100.000	>100.000
Valoración de cada clase	2	3	4	5

2) Biovolumen algal

El biovolumen es una medida mucho más precisa de la biomasa algal, por tener en cuenta el tamaño o volumen celular de cada especie, además del número de células. Se aplicaron los

criterios definidos por Willen (2000), quedando la clasificación del potencial ecológico de acuerdo al biovolumen de fitoplancton como se indica en la tabla 21.

Tabla 21. Clases de potencial ecológico según el biovolumen algal del fitoplancton.

Clase de potencial ecológico	Bueno o superior	Moderado	Deficiente	Malo
Biovolumen algal (mm ³ /L)	< 0,5	0,5-2	2-8	>8
Valoración de cada clase	2	3	4	5

3) Concentración de clorofila *a*

Del conjunto de pigmentos fotosintetizadores de las microalgas de agua dulce, la clorofila *a* se emplea como un indicador básico de biomasa fitoplanctónica. Todos los grupos de microalgas contienen clorofila *a* como pigmento principal, pudiendo llegar a representar entre el 1 y el 2 % del peso seco total.

Este parámetro se incluye aquí por su estrecha relación con la estructura y composición de la comunidad fitoplanctónica y por ser un indicador de eutrofia de uso muy extendido. Para la evaluación del potencial ecológico en embalses de acuerdo con la concentración de clorofila *a*, se han considerado los rangos establecidos por el sistema de clasificación trófica de la OCDE para medias anuales de clorofila (ver apartado 5.1 para una justificación de este criterio) para la media de la columna de agua integrando la capa fótica (tabla 22).

Tabla 22. Clases de potencial ecológico según la concentración de clorofila *a*.

Clase de potencial ecológico	Bueno o superior	Moderado	Deficiente	Malo
Rango Clorofila <i>a</i> (µg/L)	0 - 2,5	2,5-8	8,0-25	>25
Valoración de cada clase	2	3	4	5

4) Índice biótico de Padisak: *Phytoplankton Assemblage Index (Q)*

El cálculo de este índice se basa en la biomasa relativa de diferentes grupos funcionales o codones ($p_i = n_i/N$, donde n_i es la biomasa del codón i y N es la biomasa total). Estos grupos funcionales fueron originalmente definidos por Reynolds *et al.* (2002) y matizados y completados por Padisak *et al.* (2009). A cada uno de estos codones le corresponde un coeficiente o factor F_i según su grado de tolerancia al enriquecimiento del sistema (que varía según los tipos de lagos). En este estudio se asignaron los valores del tipo 1 de Padisak *et al.* (2006) debido a que era el que más se asemejaba al conjunto de nuestros embalses. Los valores de F_i se indican en el cuadro siguiente:

CODÓN	F_i	CODÓN	F_i
A	5	N	5
B	3	P	5
C	5	Q	0
D	2	S1	0
E	2	T	5
F	5	W1	0
G	1	W2	0

CODÓN	F_i	CODÓN	F_i
H1	1	X1	4
J	1	X2	3,5
K	2	X3	4
Lo	5	Xph	3,5
M	0	Y	2
MP	5	Z	5

El índice Q tomaría la forma:

$$Q = \sum_{i=1}^n p_i F$$

El índice toma valores de 2 a 5, siendo las clases de potencial las definidas en la tabla 23.

Tabla 23. Clases de potencial ecológico según el índice *Assemblage Index Q*.

Clase de potencial ecológico	Bueno o superior	Moderado	Deficiente	Malo
<i>Assemblage Index (Q)</i>	> 3	2-3	1-2	< 1
Valoración de cada clase	2	3	4	5

5) Índice trófico de fitoplancton (*PTI*, Salmaso *et al.* 2006)

El *PTI*, del inglés *Phytoplankton Trophic Index*, es un índice biótico basado en fitoplancton, para la evaluación del estado trófico en lagos profundos subalpinos (Salmaso *et al.*, 2006). Se basa en el biovolumen relativo de 39 taxa predominantes. Para el cálculo de este índice, a cada taxón (especie, o género en muchos casos) se le asigna un “valor trófico” o *trophic weight* (w_i) de 1 a 5 calculado en base a un gradiente trófico establecido mediante métodos multivariantes (CCA).

El índice *PTI* se calcula según la expresión matemática:

$$PTI = \frac{\sum w_i \cdot b_i}{\sum b_i}$$

Siendo: b_i el biovolumen de la especie i y w_i el valor trófico de la especie.

En total, 65 especies de fitoplancton pudieron ser asignadas a los taxones indicadores del *PTI*, para el cálculo del índice.

En cuanto al *PTI*, se han considerado los rangos de calidad establecidos en la tabla 24, resultantes de hacer cuatro clases equitativas del rango 2 - 5.

Tabla 24. Clases de potencial ecológico según el índice *PTI*.

Clase de potencial ecológico	Bueno o superior	Moderado	Deficiente	Malo
Rango <i>PTI</i>	> 3,4	2,6-3,4	1,8-2,6	<1,8
Valoración de cada clase	2	3	4	5

6) Índice Trófico (*TI*, Ptacnik et al. 2009)

Del inglés, *Trophic Index*, se trata de un índice biótico basado en el fitoplancton, diseñado para la evaluación del estado ecológico en lagos nórdicos (Ptacnik et al., 2009). Se basa en el biovolumen relativo de 277 taxones. Para el cálculo de este índice, a cada taxón (normalmente especie, género en algunos casos) se le asigna un máximo de estado trófico w_i calculado a partir de las concentraciones de P total (transformadas logarítmicamente, \ln -PT) en las muestras en que aparece el taxón (método del *weighted averaging –media ponderada-*). El índice se calcula como la suma ponderada (con la raíz cuadrada de los porcentajes de biovolumen de cada especie como factor de ponderación) de los óptimos de los taxones:

$$TI = \sum w_i \cdot b_i$$

Siendo: b_i la raíz cuadrada del biovolumen relativo de la especie i y w_i el óptimo trófico de la especie. En total, 79 especies de fitoplancton pudieron ser asignadas a los taxones indicadores del *TI*, para el cálculo del índice.

El índice *TI* es una variable que presenta un rango de 1,33 a 4,99, con lo que las clases de potencial ecológico se calcularon dividiendo este rango en cuatro clases de calidad equitativas. Los rangos de calidad se muestran en la tabla 25.

Tabla 25. Clases de potencial ecológico según el índice *TI*.

Clase de potencial ecológico	Bueno o superior	Moderado	Deficiente	Malo
Rango <i>TI</i>	< 2,79	2,79-3,52	3,52-4,25	>4,25
Valoración de cada clase	2	3	4	5

7) Índice Trófico Fitoplanctónico de Embalses (*PRTI*)

El índice *PRTI*, del inglés *Phytoplankton Reservoir Trophic Index*, es un índice biótico basado en fitoplancton, diseñado específicamente para la evaluación del estado ecológico en los embalses de la cuenca del Ebro. Este año se ha utilizado la metodología original del trabajo *Phytoplankton communities in reservoirs of the Ebro river basin as ecological status indicators* (Mellado e. al., 2010, julio) recalculada en el trabajo *Phytoplankton Reservoir Trophic Index (PRTI): Nueva herramienta para estudios de calidad ecológica* (Montagud et al., 2017, septiembre). Ponencia presentada en las Jornadas sobre Calidad Ecológica y Estado de Conservación de las Aguas Continentales en Pamplona, España.

Se basa en la abundancia relativa de los 165 taxones algales utilizados en el análisis de correspondencias canónicas (CCA), realizado originalmente con los datos de 2007 a 2009. Numerosos estudios han utilizado técnicas multivariantes para derivar métricas de calidad, como por ejemplo, Attayde y Bozelli (1998). Con la nueva metodología de cálculo de la densidad fitoplanctónica (MAGRAMA, 2015), este cálculo del *PRTI* se ha revisado para 2017 con los datos de 2015 y 2016.

Para el cálculo de este índice, a cada taxón (normalmente especie, género en algunos casos) se le asigna un valor de tolerancia a la eutrofia t_i , que oscila de 1 (tolerancia mínima) a 15 (tolerancia máxima), calculado a partir de su posición relativa en el gradiente de estado trófico definido por el primer eje de ordenación. El índice se calcula como la suma ponderada (con la densidad relativa de cada especie d_i como factor de ponderación) de los valores de tolerancia de las especies presentes en cada embalse:

$$PRTI = \sum d_i \cdot t_i$$

Siendo: d_i la densidad relativa de la especie i y t_i el valor de tolerancia de la especie.

El índice *PRTI* presenta un rango de variación de 1 a 15, calculándose las clases de potencial ecológico mediante una división equitativa de este rango en cuatro clases de calidad equitativas. Los rangos de calidad se muestran en la tabla 26.

Tabla 26. Clases de potencial ecológico según el índice *PRTI*.

Clase de potencial ecológico	Bueno o superior	Moderado	Deficiente	Malo
Rango <i>PRTI</i>	< 6,6	6,6-9,4	9,4-12,2	>12,2
Valoración de cada clase	2	3	4	5

El funcionamiento del índice *PRTI* fue validado mediante su aplicación a los datos de embalses del Ebro de 2015 y 2016, observándose coeficientes de regresión lineal significativos con métricas de estado trófico como el *TSI* de Carlson (Carlson, 1977; R^2 ajustada = 0,818; $n=64$, $p < 0,00001$).

8) Índice Trófico Zooplanctónico de Embalses (*ZRTI*)

El índice *ZRTI* (del inglés *Zooplankton Reservoir Trophic Index*) es un índice biótico basado en la comunidad de zooplancton, diseñado específicamente para la evaluación del estado ecológico en los embalses de la cuenca del Ebro siguiendo la misma idea de cálculo del índice *PRTI* antes expuesto.

Se basa en la abundancia relativa de las 126 especies de la comunidad de zooplancton utilizadas en el CCA, realizado originalmente con los datos de 2007 a 2009. Para el cálculo de este índice, a cada taxón (usualmente especies, algunas veces géneros) se le asigna un valor de tolerancia a la eutrofia t_i , que oscila de 1 (tolerancia mínima) a 15 (tolerancia máxima), calculado a partir de su posición relativa en el gradiente de estado trófico definido por el primer eje de ordenación. El índice se calcula, al igual que su homólogo de fitoplancton *PRTI*, como la suma ponderada (con la densidad relativa de cada especie d_i como factor de ponderación) de los valores de tolerancia de las especies presentes en cada embalse:

$$ZRTI = \sum d_i \cdot t_i$$

Siendo: d_i la densidad relativa de la especie i y t_i el valor de tolerancia de la especie. El índice *ZRTI* presenta un rango de variación de 1 a 15, calculándose las clases de potencial ecológico mediante una división equitativa de este rango en cuatro clases de calidad equitativas (tabla 27).

Tabla 27. Clases de potencial ecológico según el índice *ZRTI*.

Clase de potencial ecológico	Buena o superior	Moderado	Deficiente	Malo
Rango <i>ZRTI</i>	< 6,6	6,6-9,4	9,4-12,2	>12,2
Valoración de cada clase	2	3	4	5

El funcionamiento del índice *ZRTI*, al igual que se hizo con su homólogo de fitoplancton, fue recalculado y validado mediante su aplicación a los datos de embalses del Ebro de 2015 y 2016, observándose coeficientes de regresión lineal significativos con métricas de estado trófico como el *TSI* de Carlson (R^2 ajustada = 0,19; $p = 0,0005$).

6.2.1.2 Aproximación normativa

Para la evaluación del Máximo Potencial Ecológico de las masas de agua artificiales y muy modificadas mediante el elemento de calidad fitoplancton, se deberán utilizar los valores de cambio de clases establecidos en forma de Ratio de Calidad Ecológico, según se indica en el anexo II, apartado c del Real Decreto 817/2015, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental. Para ello, se debe seguir el procedimiento descrito a continuación para el cálculo del RCE de cada uno de los cuatro parámetros utilizados:

- Cálculo de Ratio de Calidad Ecológico (RCE)

Cálculo para clorofila *a*:

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

Cálculo para biovolumen:

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

Cálculo para el Índice de Grupos Algales (IGA):

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

Cálculo para el porcentaje de cianobacterias indicadoras:

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

1) Biovolumen algal

El biovolumen es una medida mucho más precisa de la biomasa algal, por tener en cuenta el tamaño o volumen celular de cada especie, además del número de células. La clasificación del potencial ecológico de acuerdo al biovolumen de fitoplancton se indica en la tabla 28.

Tabla 28. Clases de potencial ecológico según el RCE del biovolumen algal del fitoplancton.

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

2) Concentración de clorofila a

Del conjunto de pigmentos fotosintetizadores de las microalgas de agua dulce, la clorofila a se emplea como un indicador básico de biomasa fitoplanctónica. Todos los grupos de microalgas contienen clorofila a como pigmento principal, pudiendo llegar a representar entre el 1 y el 2 % del peso seco total. La clasificación del potencial ecológico de acuerdo con la concentración de clorofila a se indica en la tabla 29.

Tabla 29. Clases de potencial ecológico según el RCE de la concentración de clorofila a.

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

3) Índice de grupos algales (IGA)

Se ha aplicado un índice basado en el biovolumen relativo de diferentes grupos algales del fitoplancton, denominado *IGA*, y que viene siendo utilizado por la *Agència Catalana del Aigua* para la clasificación del estado ecológico de los lagos de montaña y cársticos de Cataluña (ACA 2003a).

El índice *IGA* se expresa:

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

Siendo,

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

En cuanto al *IGA*, se han considerado los rangos de calidad establecidos en la tabla 30.

Tabla 30. Clases de potencial ecológico según el RCE del Índice de Grupos Algales (IGA).

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

4) Porcentaje de cianobacterias indicadoras

El aumento de la densidad relativa de cianobacterias se ha relacionado en numerosas ocasiones con procesos de eutrofización, aunque también se documentan numerosas excepciones a esta relación.

Para el cálculo del porcentaje de cianobacterias indicadoras se ha utilizado el procedimiento descrito en el Protocolo de análisis y cálculo de métricas de fitoplancton en lagos y embalses (MAGRAMA, 2015). Aplicando para el cálculo la siguiente fórmula:

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

Donde:

BVOL _{CIA}	Biovolumen de cianobacterias totales
BVOL _{CHR}	Biovolumen de Chroococcales
BVOL _{MIC}	Biovolumen de <i>Microcystis</i>
BVOL _{WOR}	Biovolumen de <i>Woronichinia</i>
BVOL _{TOT}	Biovolumen total de fitoplancton

El Real Decreto 817/2015 incluye entre las métricas a considerar para el establecimiento del potencial ecológico en embalses, la densidad relativa de cianobacterias en la comunidad fitoplanctónica. Los valores de cambio de clases se establecen como se muestran en la tabla 31.

Tabla 31. Clases de potencial ecológico según la densidad relativa de cianobacterias.

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

6.2.2. El Indicador Físicoquímico: elementos de calidad

1) Transparencia

La transparencia es un elemento válido para evaluar el grado trófico del embalse; tiene alta relación con la productividad biológica; y además tiene rangos establecidos fiables y de utilidad para el establecimiento de los límites de clase del potencial ecológico. Se ha evaluado a través de la profundidad de visión del disco de Secchi (DS), considerando su valor para la obtención de las distintas clases de potencial (tabla 32). Al igual que en el caso de la clorofila *a* se han aplicado los criterios de la normativa vigente del RD 817/2015, en este caso para el mínimo anual de transparencia. Las razones de la elección de estos rangos fueron expuestas en el apartado 5.1.

Tabla 32. Clases de potencial ecológico según la profundidad de visión del Disco de Secchi.

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



Embalse de Llauset, con el máximo valor de disco de Secchi en 2017 (15 m)

2) Condiciones de oxigenación

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

Se ha evaluado estimando la reserva media de oxígeno hipolimnético en el periodo de muestreo, correspondiente al periodo de estratificación. En el caso de embalses no estratificados se consideró la media de oxígeno en toda la columna de agua. Las clases consideradas han sido las correspondientes a la concentración de oxígeno en la columna de agua; parámetro vital para la vida piscícola, regulada a través del R.D. 927/1988 -transposición de la Directiva 78/659/CEE- y Orden de 16 de diciembre de 1988 sobre los métodos y frecuencia de muestreo para la protección de la vida piscícola. En la tabla 33 se resumen los límites establecidos.

Tabla 33. Clases de potencial ecológico según la concentración de oxígeno disuelto en el hipolimnion o en toda la columna de agua, cuando el embalse no está estratificado.

Clase de potencial ecológico	Muy Bueno	Bueno	Moderado
Concentración hipolimnética (mg/L O ₂)	> 6	6 - 4	< 4
Valoración de cada clase	1	2	3



Embalse de Lechago, con la mínima concentración de oxígeno hipolimnético en 2017 (0,62 mg O₂/L)

3) Concentración de nutrientes

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

Se ha empleado el resultado obtenido en la muestra integrada, considerando los criterios de la OCDE especificados en la tabla 34 (OCDE, 1982) adaptado a los intervalos de calidad del RD 817/2015.

Tabla 34. Clases de potencial ecológico según la concentración de fósforo total.

Clase de potencial ecológico	Muy Bueno	Bueno	Moderado
Concentración de PT ($\mu\text{g P/L}$)	< 10	10 - 35	> 35
Valoración de cada clase	1	2	3



Embalse de Las Torcas, donde se obtuvo la mínima concentración de P total en 2017 (1,88 $\mu\text{g P/L}$)

6.3. Metodologías de cálculo del Potencial ecológico:

a) APROXIMACIÓN EXPERIMENTAL

Para establecer el potencial ecológico se ha aplicado una metodología adaptando diferentes protocolos actualmente en uso (ACA, 2003b; ACA, 2006; CHE, 2006, 2007, 2008; CIS Working Group 2A, 2003). Se trata básicamente de la misma técnica seguida en el estudio de embalses de 2008 (CHE, 2009 a 2015), en el cual ya se justificaba la no utilización de la metodología basada en los potenciales ecológicos máximos (*IPE_{ref}* o *IPE_{Emp}*). Como ya aparece en los informes de potencial ecológico de embalses de 2006, 2007 y 2008 (CHE, 2007 a 2015), la utilización de los *IPE_{Emp}* (máximos *IPE* alcanzados experimentalmente dentro de cada grupo de embalses) implicaría una mejora sustancial de la calidad evaluada, debido a los bajos *IPE* que deben ser tomados como “de referencia” en tipos poco representados en el ESTUDIO, o en aquellos otros donde es probable que no se haya contado con embalses cuyas condiciones fueran equiparables al máximo potencial ecológico. Así, encontramos más rigurosa la aplicación de rangos generales ya establecidos en la bibliografía y en la legislación (es decir, el método seguido hasta evaluar el *IPE*), mientras no se disponga de condiciones de máximo potencial para cada uno de los tipos.

En esencia, se han seguido las siguientes fases para definir el potencial ecológico:

1. Los indicadores de calidad, así como los elementos y parámetros candidatos para la determinación del potencial ecológico en los embalses muestreados en el año 2017, son los reflejados en la tabla 36 en las páginas siguientes. Los valores de los indicadores se asignarán a las cuatro clases de calidad (dependiendo de los límites establecidos para cada uno de ellos) de tal manera que finalmente tengamos un valor del 5 (malo) al 2 (bueno o superior) para cada indicador.

2. El valor de cada elemento se obtiene directamente a partir de una sola variable o parámetro, en el caso de los fisicoquímicos, o realizando la media del valor de calidad asignado a dos o más parámetros en el caso de los biológicos, y re-escalando dicha media a cuatro rangos de calidad (fitoplancton y zooplancton, figura 83).

3. La valoración del indicador biológico se obtendría asignando la calificación del elemento de menor puntuación (fitoplancton o zooplancton) o peor calidad, según la metodología *one out, all out*.

La valoración del indicador fisicoquímico se obtiene realizando la media de las puntuaciones obtenidas para los tres elementos descritos anteriormente. Si la media de los tres elementos

es igual o superior a 4,2, se considera que se cumplen las condiciones fisicoquímicas propias de la categoría Muy bueno. Si se alcanzan o superan los 3,4 puntos, se considera que las condiciones fisicoquímicas tienen la categoría de Bueno. Si no se alcanzan los 3,4 puntos, se considera que las condiciones fisicoquímicas tienen la categoría de Moderado.

Un ejemplo práctico del protocolo de cálculo se muestra en las tablas 35 y 36.

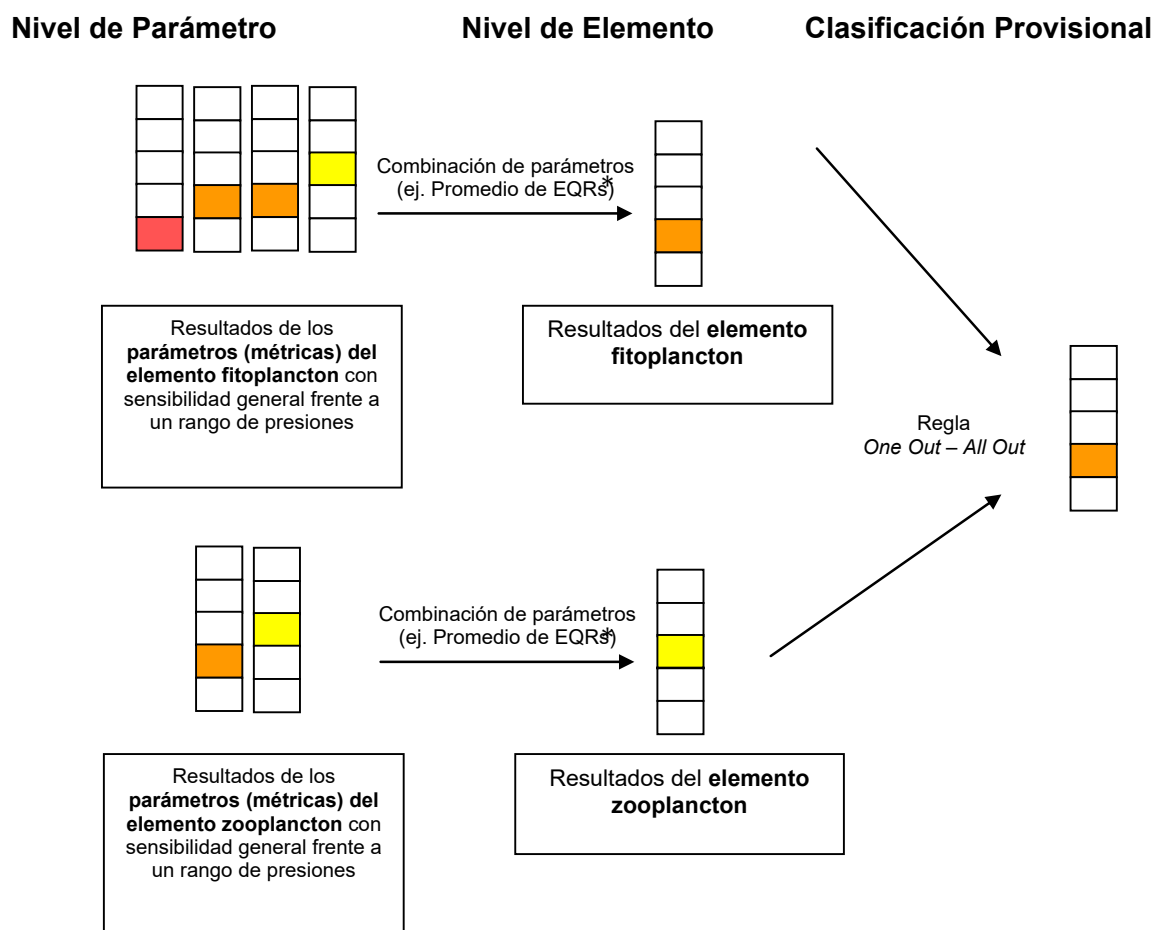


Figura 83. Aproximación experimental. Diagrama de clasificación del potencial ecológico provisional de acuerdo con la combinación de métricas y elementos biológicos. Una vez obtenida la clasificación provisional, esta se verá modificada o no atendiendo a los resultados del indicador fisicoquímico. *EQR: siglas de Índice de Calidad Ecológica.

Tabla 35. Parámetros y límites de clase para los diferentes indicadores considerados.

Indicador	Elementos	Parámetros	Bueno o superior	Moderado	Deficiente	Malo
Biológico	Composición, abundancia y biomasa de FITOPLANCTON	Densidad algal (cel/ml)	< 1000	1000 – 10000	10000 – 100000	>100000
		Clorofila a (µg/L)	0 – 2,5	2,5 – 8	8,0 – 25	>25
		Biovolumen algal (mm ³ /L)	< 0,5	0,5 – 2	2 – 8	>8
		<i>Phytoplankton Assemblage Index (Q)</i>	> 3	3 - 2	2 - 1	<1
		<i>Phytoplankton Trophic Index (PTI)</i>	> 3,4	2,6-3,4	1,8-2,6	<1,8
		<i>Trophic Index (TI)</i>	< 2,79	2,79-3,52	3,52-4,25	>4,25
		<i>Phytoplankton Reservoir Trophic Index (PRTI)</i>	< 6,6	6,6-9,4	9,4-12,2	>12,2
	Composición, abundancia y biomasa de ZOOPLANCTON	<i>Zooplankton Reservoir Trophic Index (ZRTI)</i>	< 6,6	6,6-9,4	9,4-12,2	>12,2
Valoración del parámetro			2	3	4	5
Físicoquímico	Transparencia	Profundidad Disco de Secchi (m)	> 3	1,5 – 3	0,7 – 1,5	
	Condiciones de oxigenación	Concentración hipolimnética O ₂ (mg/L O ₂)	> 6	6 – 4	4 – 2	
	Concentración de nutrientes	Concentración de PT: media anual (µg P/L)	0 – 10	10 – 35	35 – 100	
Valoración del parámetro			1	2	3	

Tabla 36. Ejemplo teórico de aplicación de la metodología.

Indicador	Elementos	Parámetros	Valor Observado	Valor Parámetro	Valor Elemento	Valor del Indicador	PE
Biológico	FITOPLANCTON	Densidad algal (cel/ml)	945	2	2,86 (media)	3 (máximo)	3 (Moderado)
		Biomasa algal, Clorofila a (µg/L)	9,3	4			
		Biovolumen algal (mm ³ /L)	0,66	3			
		<i>Phytoplankton Assemblage Index (Q)</i>	1,8	4			
		<i>Phytoplankton Trophic Index (PTI)</i>	3,5	2			
		<i>Trophic Index (TI)</i>	2,51	2			
	<i>Phytoplankton Reservoir Trophic Index (PRTI)</i>	8,0	3				
ZOOPLANCTON	<i>Zooplankton Reservoir Trophic Index (ZRTI)</i>	8,0	3	3			
Físico-Químico	Transparencia	Disco de Secchi	3,4	2	2	2 (máximo)	
	Condiciones de oxigenación	Concentración hipolimnética O ₂	4,2	2	2		
	Concentración de nutrientes	Concentración de P	23	2	2		

4. Una vez valorados ambos indicadores, y en consonancia con la propuesta metodológica del Grupo de Trabajo 2A de la UE (CIS Working Group 2A, 2003), se procede a la evaluación del potencial ecológico mediante el esquema de toma de decisiones, esquematizado en la figura 85.

5. El índice de potencial ecológico (IPE) del embalse, será de esta forma el valor más alto de los obtenidos para los indicadores biológicos, modificado después de aplicar los criterios de condiciones fisicoquímicas. El *IPE* será un número del 2 al 5, siendo 5 la clase peor y 2 la mejor.

En este esquema conceptual (figura 84), cuando los indicadores biológicos ofrecen un valor por debajo de bueno, la clasificación final del potencial ecológico viene dada directamente por éstos. Sin embargo, cuando el potencial ecológico se estima (mediante indicadores biológicos) como bueno o superior, las condiciones fisicoquímicas entran en juego, pudiendo bajar la clasificación del potencial a los niveles inferiores, a la vista del resultado obtenido para el indicador fisicoquímico.

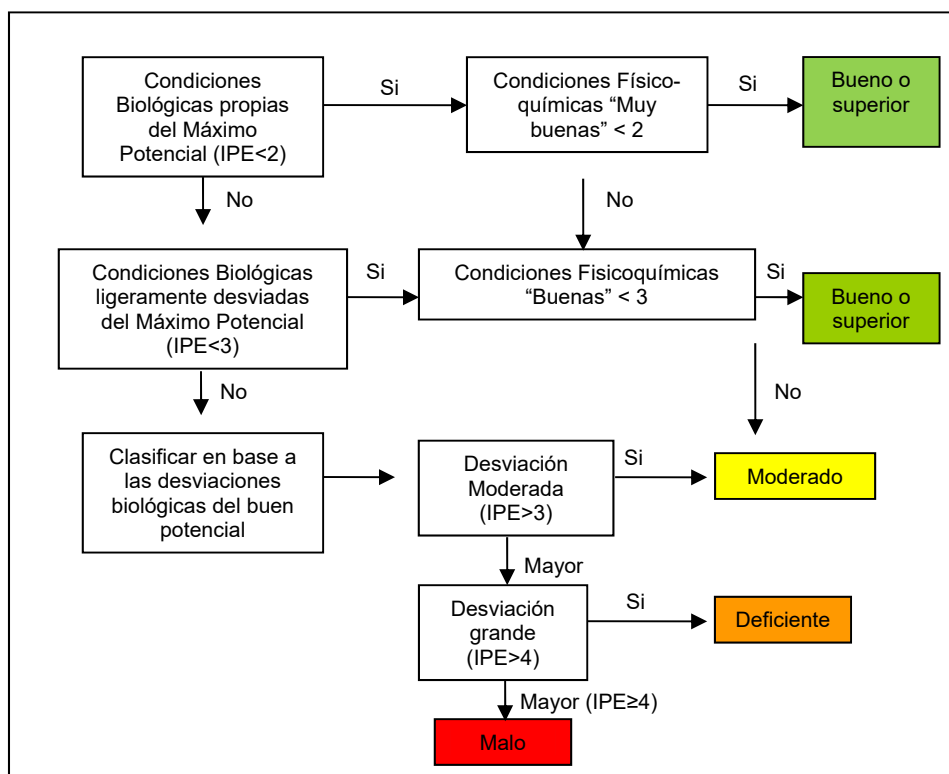


Figura 84. Diagrama de clasificación del potencial ecológico final de acuerdo con las recomendaciones de la UE (CIS Working Group 2A, 2003) y los nuevos límites adaptados a lo establecido en el RD 817/2015. IPE: Índice de Potencial Ecológico.



La combinación de los dos indicadores, fisicoquímico y biológico, para la obtención del potencial ecológico final sigue el esquema de decisiones indicado en la tabla 37:

Tabla 37. Combinación de los indicadores para el cálculo del Potencial Ecológico.

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

b) APROXIMACIÓN NORMATIVA

En aplicación del Real Decreto 817/2015, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental, se incluirá en el presente ESTUDIO una segunda aproximación al potencial ecológico. Esta aproximación, a la que se denomina *normativa*, se basa en las condiciones de máximo potencial ecológico y los límites BS/M (Bueno o superior/Moderado), M/D (Moderado/Deficiente) y D/M (Deficiente/Malo) establecidos para cuatro métricas de fitoplancton en los diversos tipos de embalses en el Protocolo de análisis y cálculo de métricas de fitoplancton en lagos y embalses (MAGRAMA, 2015). Se discutirán los pros y contras de esta clasificación y su congruencia o no con la aproximación experimental propuesta. Los valores de “referencia” (en realidad deberían haberse denominado *de máximo potencial ecológico*, ya que se trata de masas muy modificadas) y los límites de clases se especifican en la tabla 39.

La forma de proceder en la clasificación del potencial ecológico de un embalse dado, en esta aproximación normativa, una vez calculados los valores RCE para cada parámetro, se basa en los siguientes pasos:

1- Transformación de RCE a escalas numéricas equivalentes

Es necesario llevar a cabo la transformación de los valores de RCE obtenidos, a una escala numérica equivalente para los cuatro indicadores de acuerdo con el siguiente procedimiento.

Las ecuaciones para llevar a cabo esta transformación varían en función del tipo de masa de agua y son las que se indican a continuación, para los tipos presentes en el actual ESTUDIO:

Tipos 1, 2 y 3

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

Tipos 7, 8, 9, 10 y 11

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

Tipos 6 y 12

Clorofila a	
RCE > 0,195	$RCE_{trans} = 0,497 \times RCE + 0,503$
RCE ≤ 0,195	$RCE_{trans} = 3,075 \times RCE$
Biovolumen	
RCE > 0,175	$RCE_{trans} = 0,4851 \times RCE + 0,5149$
RCE ≤ 0,175	$RCE_{trans} = 3,419 \times RCE$
% Cianobacterias	
RCE > 0,686	$RCE_{trans} = 1,2726 \times RCE - 0,2726$
RCE ≤ 0,686	$RCE_{trans} = 0,875 \times RCE$
Índice de Grupos Algales (IGA)	
RCE > 0,929	$RCE_{trans} = 5,6325 \times RCE - 4,6325$
RCE ≤ 0,929	$RCE_{trans} = 0,6459 \times RCE$

Tipo 13

Clorofila a	
RCE > 0,304	$RCE_{trans} = 0,575 \times RCE + 0,425$
RCE ≤ 0,304	$RCE_{trans} = 1,9714 \times RCE$
Biovolumen	
RCE > 0,261	$RCE_{trans} = 0,541 \times RCE + 0,459$
RCE ≤ 0,261	$RCE_{trans} = 2,3023 \times RCE$
% Cianobacterias	
RCE > 0,931	$RCE_{trans} = 5,7971 \times RCE - 4,7971$
RCE ≤ 0,931	$RCE_{trans} = 0,6445 \times RCE$
Índice de Grupos Algales (IGA)	
RCE > 0,979	$RCE_{trans} = 18,995 \times RCE - 17,995$
RCE ≤ 0,979	$RCE_{trans} = 0,6129 \times RCE$



2- Combinación de RCE transformados para la clasificación del estado ecológico

Para la combinación de los distintos indicadores representativos del elemento de calidad fitoplancton se hallará la media de los RCE transformados correspondientes a los parámetros “abundancia-biomasa” y “composición”.

La combinación de los RCE transformados se llevará a cabo primero para los indicadores de clorofila y biovolumen, ambos representativos de la abundancia. La combinación se hará mediante las medias de los RCE transformados.

Posteriormente se llevará a cabo la combinación de los indicadores representativos de la composición: porcentaje de cianobacterias y el IGA. La combinación se hará mediante las medias de los RCE transformados.

Finalmente, para la combinación de los indicadores de composición y abundancia-biomasa se hará la media aritmética.

3- Clasificación

El valor final de la combinación de los RCE transformados se clasificará de acuerdo a la siguiente escala de la tabla 38:

Tabla 38. Ratios de calidad según el índice de potencial ecológico normativo RCET.

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

Tabla 39. Valores de referencia propios del tipo (VR_t) y límites de cambio de clase de potencial ecológico (B⁺/M, Bueno o superior-Moderado; M/D, Moderado-Deficiente; D/M, Deficiente-Malo) de los indicadores de los elementos de calidad de embalses (RD 817/2015). Se han incluido sólo los tipos de embalses presentes en el ESTUDIO.

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

6.4. Potencial Ecológico: Resultados

6.4.1 Indicadores Biológicos y Fisicoquímicos

La selección de métricas o parámetros biológicos a utilizar en el cálculo final del potencial ecológico se basó en los estudios previos a éste, eliminando así las métricas no correlacionadas significativamente con un índice de estado trófico, el *TSI* de Carlson. La correlación del *TLI* de Burns *et al.* (1999) con el *TSI* de Carlson resultó altamente significativa, por lo que escogimos este índice como indicador del estado trófico debido a la inclusión en el mismo de otra variable indicadora como es el N total (CHE, 2009).

a) Biológicos

Los resultados para cada una de las métricas se muestran dentro de los apartados de las dos propuestas para la determinación del potencial ecológico (apartados 6.4.2 y 6.4.3).

b) Fisicoquímicos

Los resultados obtenidos para cada una de las métricas o parámetros fisicoquímicos se pueden observar en la figura 85.

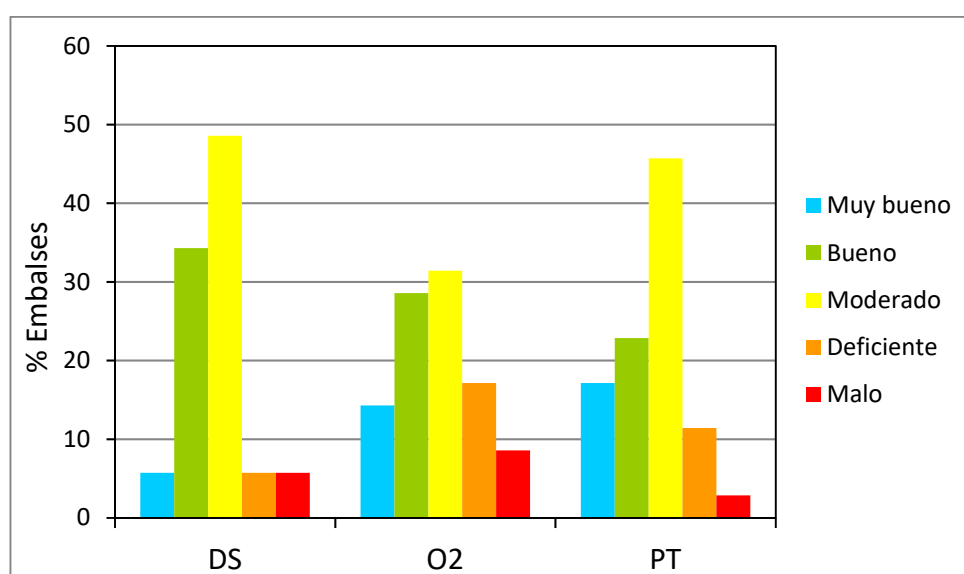


Figura 85. Evaluación de la calidad en embalses mediante los parámetros fisicoquímicos.

En todos los parámetros encontramos las cinco clases de calidad representadas, predominando en en todos ellos los embalses con buena o moderada calidad. El oxígeno es el parámetro que clasifica el mayor número de embalses con deficiente o mala calidad, en total son 9 que suponen el 25,7 %. Mientras que el PT es el que mayor número de embalses

clasifica en muy buena calidad, hasta 7 embalses. En cuanto a embalses clasificados como buenos o moderados, es el DS quien clasifica mayor número de embalses en estos estados, clasificando un 34 % de embalses como buenos y un 48 % como moderados.

Finalmente, como resultado de la combinación de parámetros, se estimó el valor global del elemento fisicoquímico según la metodología planteada (figura 86), donde se observa que con la combinación de parámetros disminuye la cantidad de embalses clasificados como buenos o muy buenos. Si de media para cada parámetro, se clasificaban un 40 % de embalses como buenos o muy buenos, en el indicador fisicoquímico este porcentaje se reduce al 20 %.

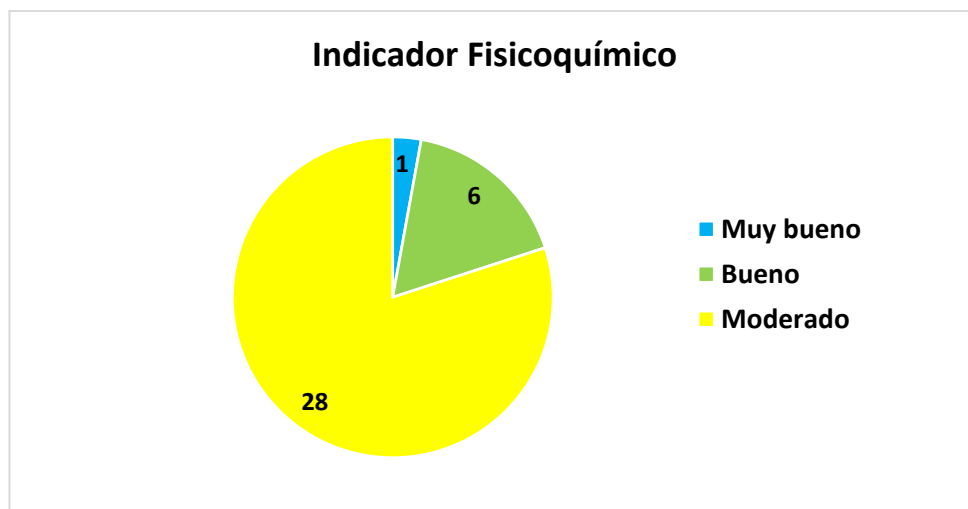


Figura 86. Evaluación de la calidad mediante el indicador fisicoquímico. Las tres clases establecidas son: Muy bueno, Bueno y Moderado. (Se incluye el número de embalses clasificados en cada categoría en 2017).

En la tabla 40 se recoge, para cada embalse, la calidad otorgada por cada variable fisicoquímica y su combinación final que muestra el indicador fisicoquímico de cada embalse.

Tabla 40. Valor del indicador fisicoquímico a partir de la calidad otorgada por las variables consideradas.

² En embalses muestreados en dos ocasiones se considera el valor promedio.

EMBALSE	CÓDIGO	DISCO DE SECCHI	OXÍGENO	P TOT	IND_FQ
Ebro ²	1	Moderado	Bueno	Moderado	Moderado
Urrunaga	2	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado
Irabia	4	Bueno	Moderado	Bueno	Moderado
Eugui	6	Bueno	Deficiente	Bueno	Moderado
Sobrón ²	22	Moderado	Deficiente	Moderado	Moderado
Alloz	27	Moderado	Moderado	Muy bueno	Moderado
Yesa	37	Moderado	Bueno	Muy bueno	Moderado
La Peña	44	Deficiente	Bueno	Moderado	Moderado
Vadiello	51	Bueno	Bueno	Muy bueno	Bueno
Oliana ²	53	Moderado	Deficiente	Moderado	Moderado
Barasona	56	Moderado	Bueno	Bueno	Moderado
Terradets	59	Deficiente	Bueno	Moderado	Moderado
Mansilla	61	Bueno	Bueno	Moderado	Moderado
Sotonera	62	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado
Rialb	63	Moderado	Deficiente	Moderado	Moderado
Camarasa	65	Bueno	Muy bueno	Bueno	Bueno
El Val ²	68	Moderado	Deficiente	Deficiente	Moderado
Mequinzenza	70	Muy bueno	Malo	Moderado	Moderado
Mezalocha	71	Malo	Muy bueno	Deficiente	Moderado
Ciurana	73	Bueno	Muy bueno	Bueno	Bueno
Flix	74	Bueno	Deficiente	Deficiente	Moderado
Las Torcas	75	Bueno	Muy bueno	Muy bueno	Bueno
La Tranquera	76	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado
Moneva	77	Malo	Moderado	Malo	Moderado
Cueva Foradada	80	Moderado	Malo	Deficiente	Moderado
Calanda	82	Bueno	Moderado	Bueno	Moderado
Itoiz	86	Bueno	Bueno	Muy bueno	Bueno
Lechago	87	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado
Gallipué	913	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado
Ortigosa ²	916	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Ribarroja	949	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado
La Estanca	1022	Moderado	Bueno	Moderado	Moderado
Llauset	1053	Muy bueno	Muy bueno	Muy bueno	Muy bueno
Monteagudo de las Vicarías	1681	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado
Maidevera	RIO823	Bueno	Malo	Bueno	Moderado

6.4.2 Potencial Ecológico final (aproximación experimental)

Los resultados obtenidos (en términos de clases de calidad) para cada una de las 7 métricas del fitoplancton se pueden observar en la figura 87.

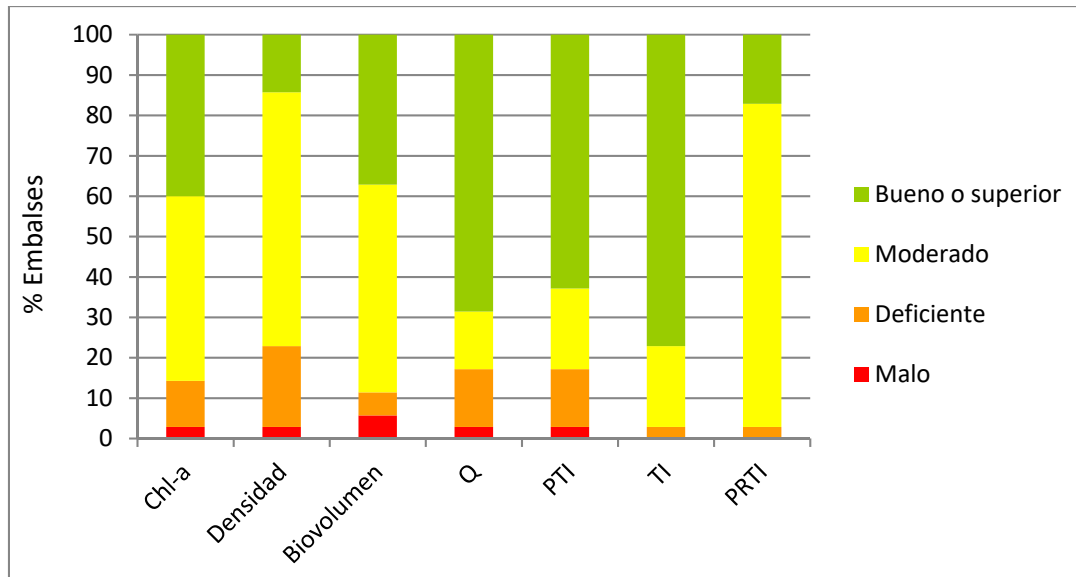


Figura 87. Evaluación de la calidad mediante los parámetros del fitoplancton.

Se puede observar cierta disparidad en los resultados obtenidos mediante las métricas del fitoplancton, aunque en general se observa predominancia de las clases de potencial Moderado y Bueno o superior. Los índices calculados, conceden predominancia a la clase Bueno o superior, excepto el PRTI y los parámetros aplicados de forma directa, donde predominan las clases de inferior calidad, es decir, son más restrictivos.

En cuanto al PRTI y el TI, son los únicos que no tienen todas las clases representadas, clasificando solo un embalse como deficiente. Estos parámetros clasifican al mismo número de embalses en las clases bueno o superior y moderado, aunque de forma inversa, ya que mientras el TI clasifica casi el 80 % como buenos o superior, el PRTI los clasifica como moderados.

Finalmente, la densidad del fitoplancton se presenta como la variable más restrictiva, debido a que es la que más embalses clasifica como deficientes o malos, 8 en total.

En cuanto a la variable del zooplancton, el índice de zooplancton ZRTI, los resultados obtenidos para cada potencial ecológico en porcentajes se pueden observar en la figura 88.

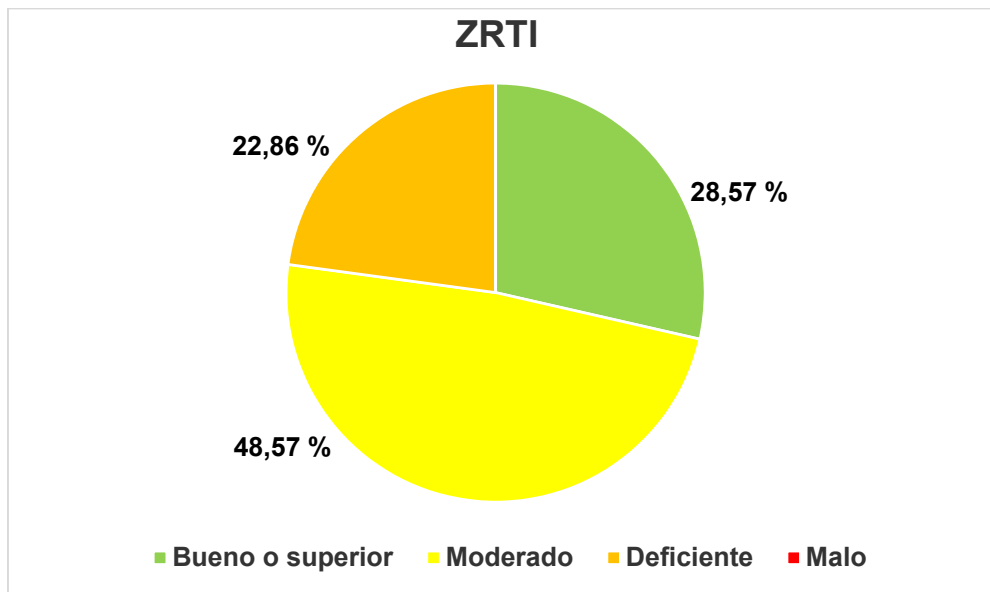


Figura 88. Evaluación de calidad mediante el parámetro de zooplancton ZRTI.

El índice de zooplancton ZRTI, clasifica el 28 % de los embalses con una calidad buena o superior, un 48 % como moderados y un 22 %, como deficientes. Por lo tanto, la mayoría de embalses aparecen como moderados. Resultado parecido al potencial ecológico resultante de la combinación de todos los parámetros, aunque hay un aumento de los embalses deficientes en detrimento de los clasificados como moderados y bueno o superior por el ZRTI, lo que indica que el zooplancton no ha sido mayormente el elemento más restrictivo.

Una vez obtenidos los dos tipos de indicadores, y siguiendo la metodología expuesta en la figura 81, se procedió a la estima del índice de potencial ecológico o *IPE*.

La figura 89 muestra la proporción final de las clases de potencial ecológico, confrontando las proporciones dadas por el indicador biológico con las dadas por el índice de potencial ecológico final en los embalses estudiados en 2017, evaluada en el presente ESTUDIO.

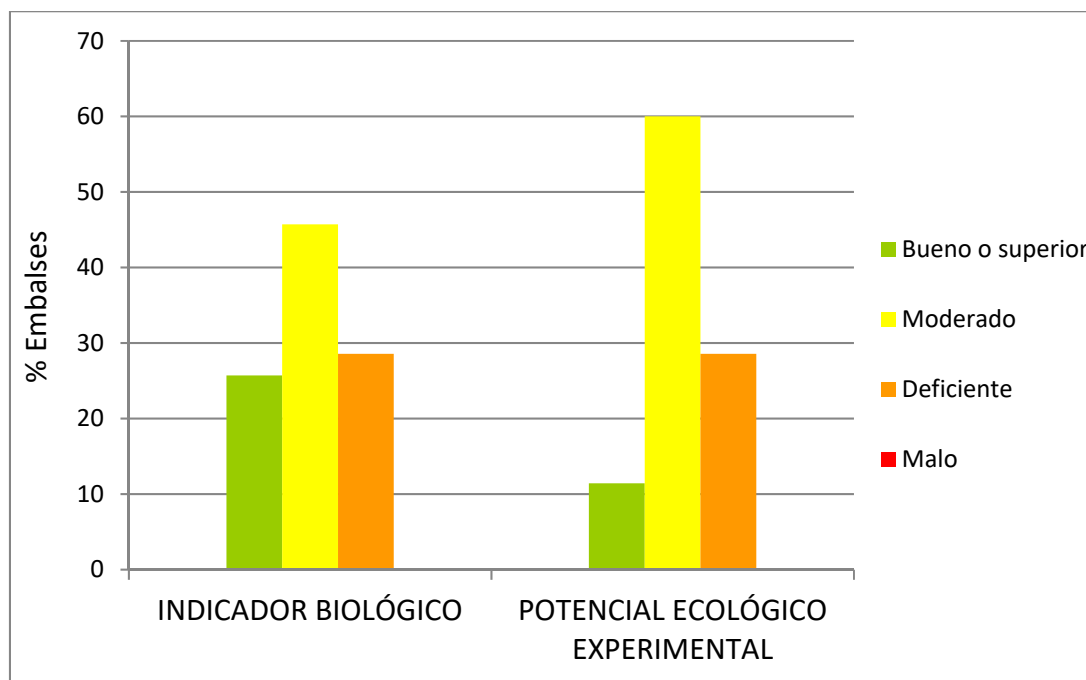


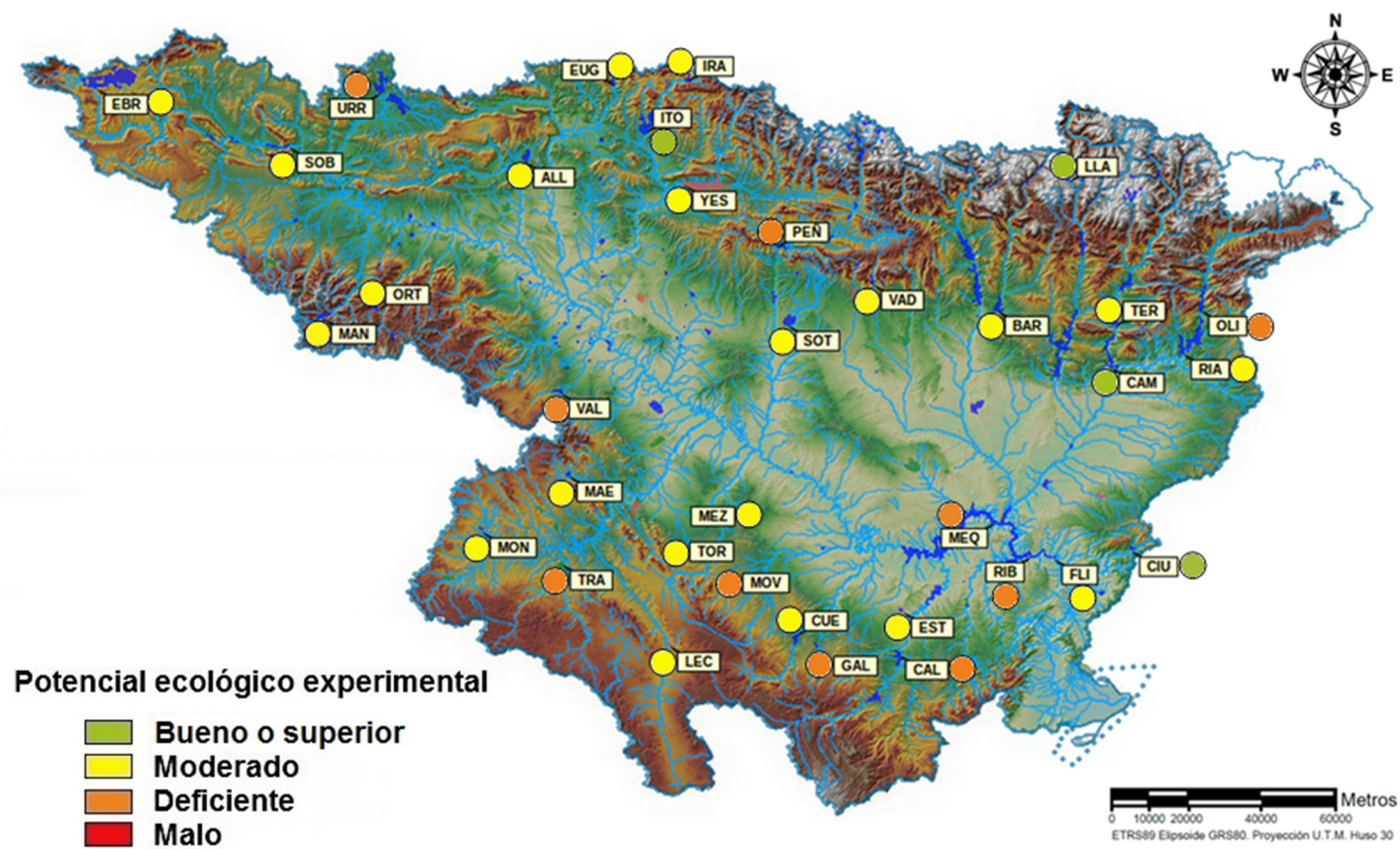
Figura 89. Proporción de clases de potencial ecológico evaluadas mediante el indicador biológico y mediante el *IPE*, tras aplicar los umbrales del indicador fisicoquímico, según el esquema de la figura 85.

En cinco embalses calificados como de potencial biológico Bueno o superior, el indicador fisicoquímico (inferior al umbral que suponemos asegura el funcionamiento del ecosistema) hizo cambiar el potencial ecológico a moderado.

La tabla 41 recoge la información más relevante obtenida para cada uno de los embalses evaluados: nombre del embalse, código (COD), la tipología del embalse (TIPO), el resultado de la evaluación biológica final (PE-BIO), el de la evaluación fisicoquímica (IND-FQ), el índice de potencial ecológico (*IPE_BIO*) evaluado para las masas de agua siguiendo la metodología empleada, así como la evaluación final de potencial ecológico según esta aproximación experimental (*PEexp*). Asimismo, en la figura 90 se muestra el mapa de potencial ecológico de los embalses estudiados.

Tabla 41. Establecimiento del potencial ecológico (aproximación experimental) (Clases: Bueno o superior, Moderado, Deficiente, Malo). ²En embalses con dos muestras se indica el valor promedio.

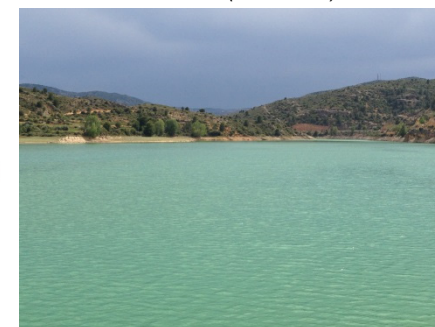
EMBALSE	MAS	TIPO	IPE_BIO	PE-BIO	IND_FQ	PEexp
Ebro ²	1	7	3,00	Moderado	Moderado	Moderado
Urrunaga	2	7	4,00	Deficiente	Moderado	Deficiente
Irabia	4	7	3,00	Moderado	Moderado	Moderado
Eugui	6	7	3,00	Moderado	Moderado	Moderado
Sobron ²	22	9	3,00	Moderado	Moderado	Moderado
Alloz	27	7	3,00	Moderado	Moderado	Moderado
Yesa	37	9	2,43	Bueno o sup	Moderado	Moderado
La Peña	44	9	4,00	Deficiente	Moderado	Deficiente
Vadiello	51	7	3,00	Moderado	Bueno	Moderado
Oliana ²	53	9	3,43	Deficiente	Moderado	Deficiente
Barasona	56	11	2,43	Bueno o sup	Moderado	Moderado
Terradets	59	9	2,14	Bueno o sup	Moderado	Moderado
Mansilla	61	7	2,29	Bueno o sup	Moderado	Moderado
Sotonera	62	10	3,00	Moderado	Moderado	Moderado
Rialb	63	11	3,00	Moderado	Moderado	Moderado
Camarsa	65	11	2,29	Bueno o sup	Bueno	Bueno o sup
El Val ²	68	7	4,00	Deficiente	Moderado	Deficiente
Mequinzenza	70	12	4,00	Deficiente	Moderado	Deficiente
Mezalocha	71	10	3,14	Moderado	Moderado	Moderado
Ciurana	73	10	2,43	Bueno o sup	Bueno	Bueno o sup
Flix	74	12	3,00	Moderado	Moderado	Moderado
Las Torcas	75	10	3,00	Moderado	Bueno	Moderado
La Tranquera	76	11	4,00	Deficiente	Moderado	Deficiente
Moneva	77	10	4,00	Deficiente	Moderado	Deficiente
Cueva Foradada	80	10	3,00	Moderado	Moderado	Moderado
Calanda	82	11	4,00	Deficiente	Moderado	Deficiente
Itoiz	86	7	2,43	Bueno o sup	Bueno	Bueno o sup
Lechago	87	7	3,00	Moderado	Moderado	Moderado
Gallipué	913	10	4,00	Deficiente	Moderado	Deficiente
Ortigosa ²	916	7	3,00	Moderado	Bueno	Moderado
Ribarroja	949	12	4,00	Deficiente	Moderado	Deficiente
La Estanca	1022	10	3,00	Moderado	Moderado	Moderado
Llauset	1053	13	2,00	Bueno o sup	Muy bueno	Bueno o sup
Monteagudo de las Vicarías	1681	7	3,00	Moderado	Moderado	Moderado
Maidevera	RIO823	7	2,57	Bueno o sup	Moderado	Moderado



Itoiz (bueno o superior)



Terradets (moderado)



Gallipúen (deficiente)

Figura 90. Mapa de clasificación del Potencial Ecológico (*PEExp*) de los embalses en 2017.

Para concluir se analizan las tendencias de potencial ecológico por tipos de embalse. Se obtuvieron los siguientes resultados, representados gráficamente en la figura 91.

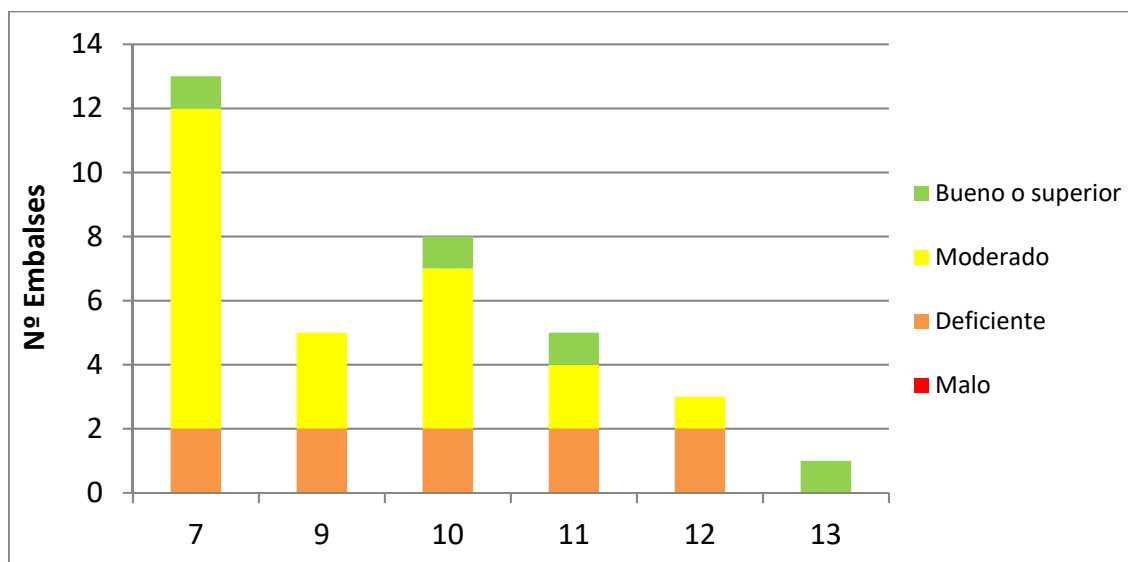


Figura 91. Clasificación del potencial ecológico de los embalses según el *PEexp* por tipos de embalse.

Los embalses de Tipo 7, calcáreos, en zonas húmedas y frías de cabecera, presentaron mayoritariamente un potencial moderado, en diez de los trece embalses, seguido de deficiente con dos y bueno o superior con un embalse.

En los cinco embalses del Tipo 9, calcáreo de zonas húmedas, pertenecientes a ríos de la red principal, ningún embalse alcanza el potencial ecológico bueno o superior, tres se clasifican como moderados, y dos como deficientes.

El Tipo 10, calcáreo de zonas no húmedas, pertenecientes a ríos de cabecera y tramos altos, clasifica cinco de los ocho embalses como moderados, dos embalses como deficientes y otro como bueno o superior.

En el Tipo 11, calcáreo de zonas no húmedas, pertenecientes a ríos de la red principal, clasifica dos embalses como moderados, otros dos como deficientes y uno como bueno o superior.

En el Tipo 12, de los tres embalses dos se clasifican como deficientes y el otro como moderado.

En cuanto al embalse del Tipos 13, este se ha clasificado en estado ecológico bueno o superior.

6.4.3 Potencial Ecológico final (aproximación normativa)

La aplicación de la metodología de las condiciones de referencia en base a los datos publicados en el Real Decreto 817/2015, dio como resultado la clasificación de los embalses estudiados que se expone en la tabla 42. El potencial ecológico final tiene en cuenta el indicador fisicoquímico del embalse, modificándose éste según la misma metodología descrita para la aproximación experimental.

Tabla 42. Resultado de la aplicación de las condiciones de referencia al potencial ecológico según la “aproximación normativa”. Se incluyen las evaluaciones de potencial de las cuatro métricas del fitoplancton y el resultado de la evaluación biológica final (PE-BIO), el de la evaluación fisicoquímica (IND-FQ) y en la última columna aparece el potencial ecológico final o *PE_{norm}*. ² En embalses con dos muestreos se ha considerado el valor promedio.

EMBALSE	MAS	PE-Chla	PE-Biovol	PE-IGA	PE-%Ciano	PE_BIO	IND_FQ	PE _{norm}
Ebro ²	1	Bueno o sup.	Bueno o sup	Deficiente	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado
Urrunaga	2	Bueno o sup.	Malo	Malo	Malo	Deficiente	Moderado	Deficiente
Irabia	4	Bueno o sup.	Moderado	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno o sup	Moderado	Moderado
Eugui	6	Bueno o sup.	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno o sup	Moderado	Moderado
Sobrón ²	22	Bueno o sup.	Bueno o sup	Moderado	Bueno o sup	Bueno o sup	Moderado	Moderado
Alloz	27	Bueno o sup.	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno o sup	Moderado	Moderado
Yesa	37	Bueno o sup.	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno o sup	Moderado	Moderado
La Peña	44	Bueno o sup.	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno o sup	Moderado	Moderado
Vadiello	51	Bueno o sup.	Bueno o sup	Moderado	Moderado	Bueno o sup	Bueno	Bueno o sup
Oliana ²	53	Moderado	Moderado	Deficiente	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado
Barasona	56	Bueno o sup.	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno o sup	Moderado	Moderado
Terradets	59	Bueno o sup.	Bueno o sup	Moderado	Bueno o sup	Bueno o sup	Moderado	Moderado
Mansilla	61	Bueno o sup.	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno o sup	Moderado	Moderado
Sotonera	62	Bueno o sup.	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno o sup	Moderado	Moderado
Rialb	63	Bueno o sup.	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno o sup	Moderado	Moderado
Camarasa	65	Bueno o sup.	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno	Bueno o sup
El Val ²	68	Malo	Malo	Bueno o sup	Bueno o sup	Moderado	Moderado	Moderado
Mequinenza	70	Bueno o sup.	Bueno o sup	Bueno o sup	Moderado	Bueno o sup	Moderado	Moderado
Mezalocha	71	Bueno o sup.	Bueno o sup	Moderado	Bueno o sup	Bueno o sup	Moderado	Moderado
Ciurana	73	Bueno o sup.	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno	Bueno o sup
Flix	74	Bueno o sup.	Bueno o sup	Moderado	Bueno o sup	Bueno o sup	Moderado	Moderado
Las Torcas	75	Bueno o sup.	Bueno o sup	Moderado	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno	Bueno o sup
La Tranquera	76	Moderado	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno o sup	Moderado	Moderado
Moneva	77	Deficiente	Bueno o sup	Deficiente	Bueno o sup	Moderado	Moderado	Moderado
Cueva Foradada	80	Bueno o sup.	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno o sup	Moderado	Moderado
Calanda	82	Bueno o sup.	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno o sup	Moderado	Moderado
Itoiz	86	Bueno o sup.	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno	Bueno o sup
Lechago	87	Bueno o sup.	Bueno o sup	Moderado	Bueno o sup	Bueno o sup	Moderado	Moderado
Gallipué	913	Bueno o sup.	Bueno o sup	Moderado	Bueno o sup	Bueno o sup	Moderado	Moderado
Ortigosa ²	916	Bueno o sup.	Bueno o sup	Deficiente	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno	Bueno o sup
Ribarroja	949	Bueno o sup.	Bueno o sup	Moderado	Bueno o sup	Bueno o sup	Moderado	Moderado
La Estanca	1022	Bueno o sup.	Bueno o sup	Moderado	Bueno o sup	Bueno o sup	Moderado	Moderado
Llauset	1053	Bueno o sup.	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno o sup	Muy bueno	Bueno o sup
Monteagudo de las Vicarías *	1681	Bueno o sup.	Bueno o sup	-	Bueno o sup	Bueno o sup	Moderado	Moderado
Maidevera	RIO823	Bueno o sup.	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno o sup	Bueno o sup	Moderado	Moderado

* El IGA no computa puesto que el biovolumen de los grupos utilizados no supera el 70 % del total.

En el siguiente gráfico (figura 92) se resumen los resultados ofrecidos por cada una de las métricas utilizadas en el cálculo del potencial ecológico según esta aproximación normativa.

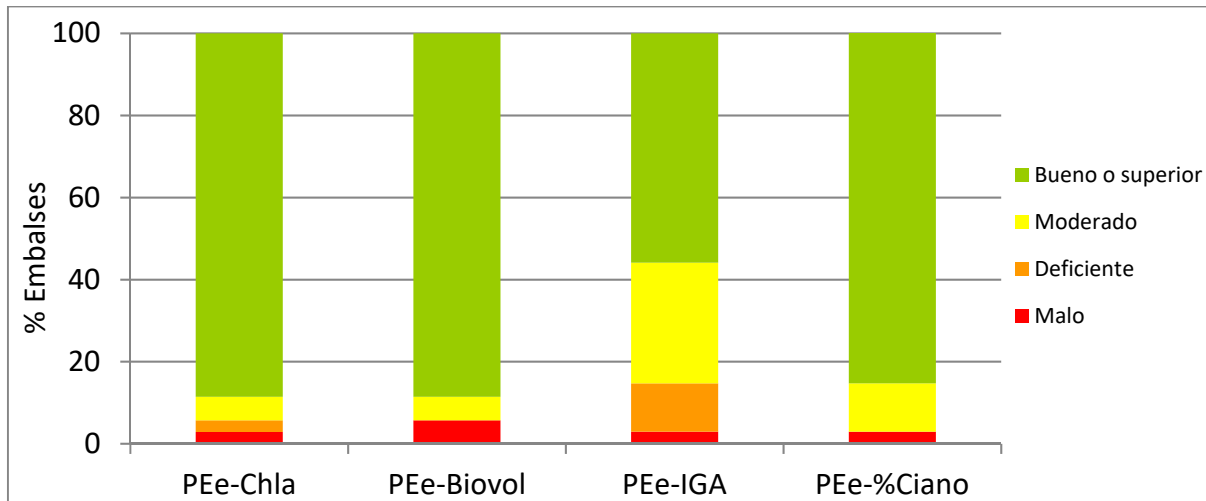


Figura 92. Clasificación del potencial ecológico según los parámetros de la aproximación normativa.

Las variables biovolumen, concentración de clorofila *a* y porcentaje de cianobacterias han sido las menos restrictivas, con entre un 88 y 89 % de los embalses clasificados en estado bueno o superior. El IGA es el más restrictivo y clasifica un 44 % de los embalses con un potencial inferior a bueno. Todas las variables clasifican un embalse como malo, aunque no el mismo, solo el biovolumen clasifica a los dos como malos (Urrúnaga y El Val). Solo la concentración de clorofila *a* y el IGA clasifican embalses como deficientes, uno y cuatro respectivamente.

Estos resultados se deben a la modificación del procedimiento para la transformación del RCE a una escala numérica equivalente para los cuatro indicadores biológicos, lo que condiciona al alza la clasificación del indicador biológico final. No obstante, al combinar los dos indicadores, fisicoquímico y biológico, el potencial ecológico final no resultaría tan sobreestimado.

Asimismo, en la siguiente figura (figura 93) se muestran los resultados finales de potencial ecológico *PE_{norm}* derivados de estas cuatro métricas, combinadas según la metodología expuesta anteriormente (sección 6.3.b.), en comparación con aquellos obtenidos previamente mediante la aproximación experimental, *PE_{exp}* (según la metodología expuesta en la sección 6.3.a.). Ambos resultados han sido “corregidos” o modificados teniendo en cuenta el indicador fisicoquímico del embalse. Como se puede apreciar, la aproximación normativa da como resultado clasificaciones de mayor potencial ecológico que la experimental, con más embalses clasificados en potencial Bueno o superior, cuatro frente a siete. Aunque la proporción de

embalses clasificados como moderados es muy similar para las dos metodologías, la aproximación experimental clasifica muchos más embalses como deficientes, diez frente a uno.

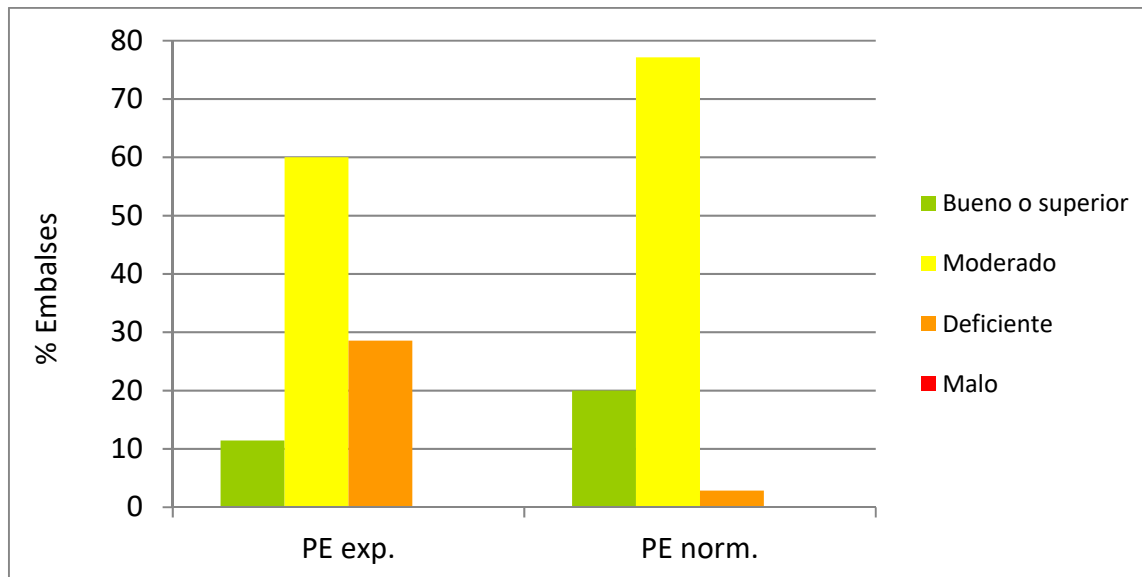
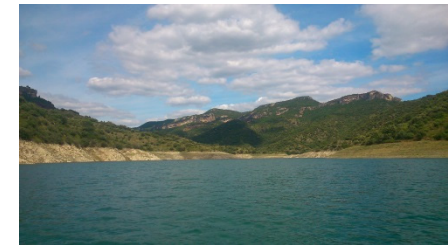
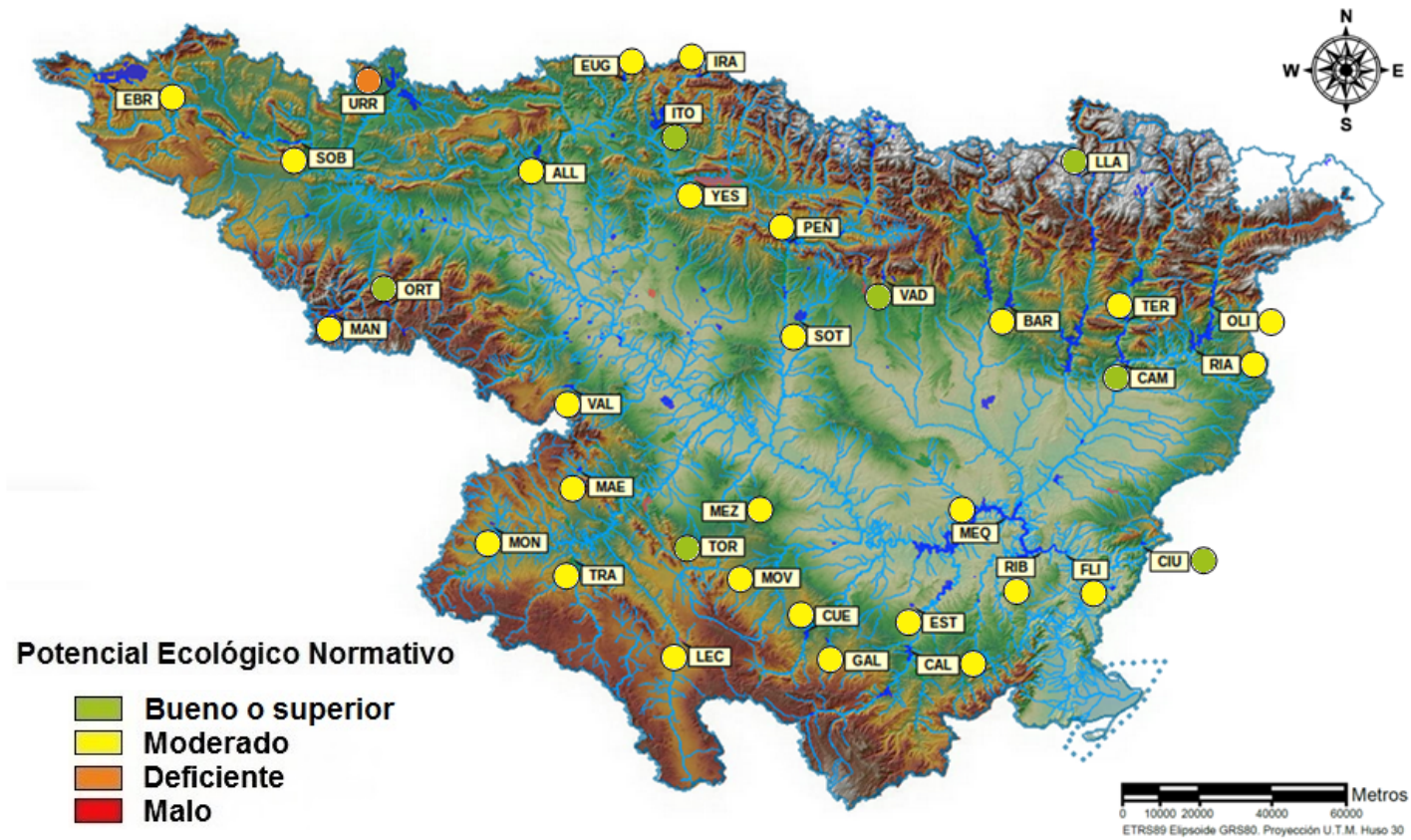


Figura 93. Clasificación del potencial ecológico final según la aproximación normativa PE_{norm} y la aproximación experimental, PE_{exp} . (Para ver las metodologías de cálculo, ir a la sección 6.3 a y b).

La figura 94 muestra el mapa de potencial ecológico de los embalses muestreados en 2017 clasificados conforme al Real Decreto 817/2015, esto es, según la aproximación normativa o PE_{norm} . y la figura 95 muestra el mapa que refleja para los embalses muestreados el Estado Trófico y los Potenciales Ecológicos calculados (PE_{exp} y PE_{norm}) de modo que sirva como comparación de los resultados.

A partir de esta comparación se puede observar que existe relación entre el estado trófico y el potencial ecológico normativo y experimental, ya que excepto en casos puntuales no hay más de un salto de clase de diferencia entre los resultados para un mismo embalse.

Solo existe una diferencia entre el PE_{norm} . y el Estado Trófico que supere un salto de clase, en el embalse de Moneva. Mientras que con el PE_{exp} . se dan diferencias de dos clases por debajo respecto al Estado Trófico en dos masas: Calanda y Mequinenza. No existe ninguna diferencia de más de una clase entre el PE_{exp} . y el PE_{norm} .



Ciurana (bueno o superior)



Mansilla (moderado)



Urrúnaga (deficiente)

Figura 94. Mapa de clasificación del Potencial Ecológico (*PE_{norm}*) de los embalses en 2017.

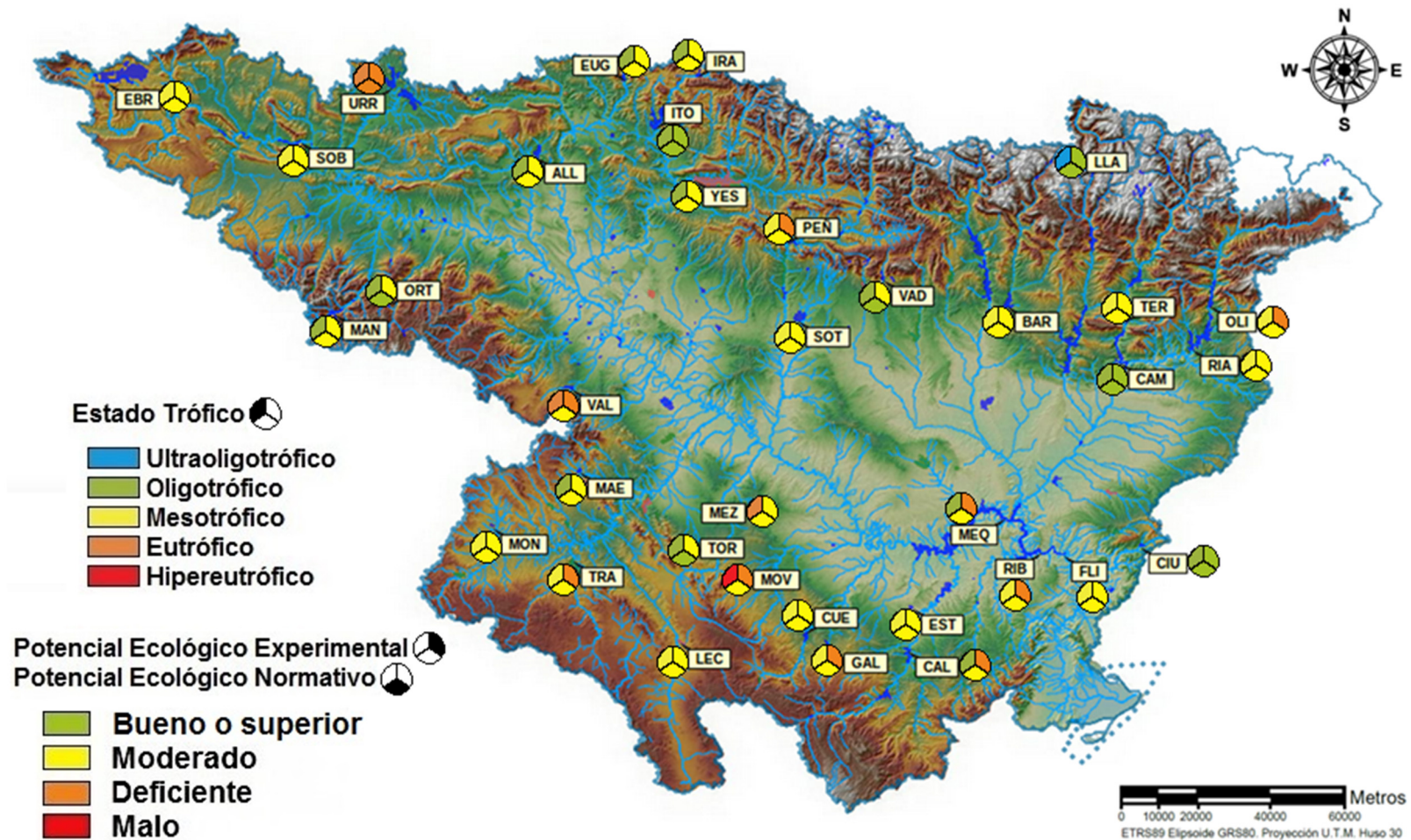


Figura 95. Mapa de clasificación del Estado Trófico y del Potencial Ecológico (*PEexp* y *PEnorm*) de los embalses en 2017.

6. RESUMEN – CONCLUSIONES

Clasificación

- Los 35 embalses se han clasificado en 6 categorías (según el esquema nacional de clasificación de la orden de planificación hidrológica) atendiendo a razones del régimen de mezcla, geología, climatología, área de la cuenca de aportación y altitud.
- El nº y porcentaje de embalses por tipos es:

Tipo 7	Tipo 10	Tipo 9	Tipo 11	Tipo 12	Tipo 13
13	5	8	5	3	1
37,1 %	14,3 %	22,9 %	14,3 %	8,6 %	2,9 %

Las categorías que agrupan a un mayor número de embalses son la 7 y la 10.

Características hidromorfológicas

- Las masas de agua son de capacidad variable, con volúmenes inferiores a 10 hm³ en un 17,1 % de los casos. El mismo porcentaje de embalses, un 17,6, presentan volúmenes entre 10 y 30 hm³, entre 70 y 150 hm³ y entre 300 y 1600 hm³. Los embalses con un volumen entre 30 y 70 hm³ representan un 14,7 % del total de embalses y un 11,8 % de embalses presenta volúmenes entre 150 y 300 hm³. El mayor embalse de toda la cuenca es el embalse de Mequinzenza, con 1534 hm³ de capacidad máxima.
- Las masas de agua son de superficie muy variable, con un rango que oscila entre las 44 ha del embalse de Gallipué, hasta las 6.478 ha del embalse de Mequinzenza. La distribución de esta variable en el conjunto de embalses estudiados se representa en la figura 5. Como se puede observar, la gran mayoría de embalses superan las 100 ha, solo un 17,1 % (6 embalses) no lo hace.
- Las masas de agua son de profundidad muy variable, con un rango de 9,5 a 107 m, valores registrados para los embalses de Terradets y La Estanca de Alcañiz con 9,5 m e Itoiz con 107 m. La distribución de esta variable en el conjunto de embalses estudiados se representa en la figura 6. Se pueden observar dos grupos de embalses, separados por la profundidad de 60 m superada por 12 embalses.
- Los embalses estudiados durante 2017 reciben aportaciones desde cuencas vertientes con extensiones muy variables. El rango de áreas de cuenca va desde los 10 km² del embalse

de La Estanca de Alcañiz, hasta los 81.045 km² de Ribarroja. La distribución de esta variable se representa en la figura 7. Como se puede apreciar, la mayoría de embalses estudiados tienen cuencas de aportación medianas, con solo dos embalses con más de 10.000 km². Alrededor de un 37 % tienen cuencas de más de 1.000 km², siendo ésta, por tanto, la clase predominante. Un 34 % de los embalses estudiados tienen un tamaño de cuenca entre los 100 y los 1.000 km², mientras que el menor porcentaje, un 23 %, es para los embalses con un tamaño de cuenca inferior a los 100 km².

➤ El **tiempo de renovación** ha presentado los valores más bajos se han dado en embalses pequeños o medios de cursos fluviales importantes, siendo los mínimos, inferiores a un mes, en Ribarroja, Flix, Irabia, Oliana, La Peña, Sobrón y Terradets. En el embalse de FLix la circulación del agua es observable a simple vista y se comportan prácticamente como un río. Otros embalses de mayor tamaño pero con un caudal importante en su aportación son Yesa, Rialb y Mequinena, donde el TRH es igual o inferior a cuatro meses aunque son embalses con una gran capacidad. Los valores más elevados, por el contrario, se dan en embalses de cursos reducidos y escasa capacidad, como es el caso de Moneva (9,1 meses) y Monteagudo de las Vicarías, máximo absoluto con 30,06 meses.

➤ El **hidroperiodo** es muy variable para dieciseis embalses, con un hidroperiodo superior a 0,6. Destacar las masas de Barasona, La Tranquera, Llauset, Mezalocha y Yesa con un hidroperiodo de variación superior a 0,8. Solo un embalse es cero, porque no hay datos de la renovación de sus aguas. Destacar también la estabilidad de Ribarroja, Sobrón y Terradets a pesar de su bajo tiempo de renovación.

Características fisicoquímicas

En lo que respecta al **disco de Secchi**, los embalses de tipo 13 presentan los valores más elevados, frente al tipo 9 que presenta los valores más bajos, cabe destacar la transparencia de los embalses del tipo 12. El máximo absoluto correspondió a Llauset (tipo 13), con 15 m. El mínimo absoluto de transparencia (0,3 m) correspondió al embalse de Moneva, del tipo 10.

➤ En cuanto a **la temperatura** de los embalses, considerando la media en la ZF (menos influenciada que la superficial por las condiciones meteorológicas inmediatas o por la hora del muestreo), observamos que las temperaturas medias de los tipos aumentan progresivamente del tipo 7 al tipo 12, y las mínimas se dan en el tipo 13, embalses de alta montaña. La diferencia entre la temperatura mínima del tipo 13 (10,33 °C) y la máxima del tipo 12 (23,58 °C), es de 13 grados. Destacar la temperatura máxima absoluta del tipo 10 en el embalse de Moneva con 25,92 °C. La relación directa y negativa de la temperatura media en la ZF con la



altitud del embalse se puede apreciar en la figura 22.

➤ Respecto al **pH** en la ZF, resaltan los valores de pH más bajos en el tipo 13 (figura 24), aunque hay que destacar los valores tan bajos en el tipo 12. El resto de los tipos tienen medias similares, siendo el promedio más elevado el del tipo 11. El valor puntual más alto se ha observado en el embalse de Oliana (tipo 9) a 1 m de profundidad, con un valor de 8,82 y el más bajo en el embalse de Irabia (tipo 7) a 20 m de profundidad, con un valor de 7,06.

➤ Respecto a **la conductividad** media en la ZF, los valores más elevados se dan en el tipo 12 con 1113 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de media, conteniendo el valor más alto. Mientras que el valor más bajo se da en el tipo 13, embalse de alta montaña, con 54 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El valor más alto se ha registrado en el embalse de Lechago (tipo 7) con 1552 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

➤ En las tendencias observadas en relación con la **alcalinidad** en la ZF, el tipo 13 muestra el valor más bajo de alcalinidad, con 0,2 meq/L. Los embalses de tipo 12 (calcáreo / no húmedo / tramos bajos de ejes principales) muestran las alcalinidades más elevadas con valores de 2,7 meq/L. Puntualmente, el valor más elevado se ha registrado en la muestra integrada de Ciurana (tipo 10) con 3,16 meq/L. El valor más alto de todo el ESTUDIO se ha encontrado también en el embalse de Ciurana en la muestra de fondo con 3,92 meq/L.

➤ La **turbidez** fue baja en casi todos los tipos de embalses, aunque si se aprecia un valor bastante más bajo en los tipos 13, con una media de 0,8 UAF. El valor más alto es el del tipo 10 con 12,6 UAF. El valor promedio para todos los embalses se encuentra en 5,0 UAF. El valor más bajo en la muestra integrada corresponde a Vadiello con 0,7 UAF, tipo 7, mientras que el valor máximo de todos los embalses es para el embalse de Moneva con 42,9 UAF, tipo 10, seguido de Mezalocha, también del tipo 10, con 40,4 UAF.

➤ En general, los embalses estudiados presentan una **oxigenación** moderada, siendo el valor más bajo para el tipo 12 (figura 32), con un valor de 3,1 mg/L y por tanto con una clase de deficiente calidad. Destaca la baja oxigenación (valor inferior a 4 mg O_2/L) en el promedio de la columna de agua en los embalses de Flix (3,13 mg/L) y Mequinenza (1,38 mg/L). Los máximos de oxígeno se alcanzan normalmente a profundidades comprendidas entre los 2 y los 12 metros. El máximo de oxígeno puntual se encuentra en Ciurana (tipo 10) y se sitúa a unos 12 m de profundidad, con un valor de 14,47 mg/L. Los tipos 7, 9, 10, 11 y 12 presentan algún embalse con zona anóxica, siendo un total de 18 embalses con zona anóxica. Las más importantes por su espesor son las de Mequinenza con 40 m, Maidevera con 14 m, Oliana con 12 m y Sobrón con 11,9 m. En otros 17 embalses no existe zona anóxica.



➤ La calidad de las masas de agua según la oxigenación es buena o muy buena en un 42,8 % de los embalses. Las masas de agua con niveles bajos de oxigenación (nivel de calidad deficiente o mala, un 25,7 %) coinciden con masas de agua estratificadas que presentan un hipolimnion poco oxigenado o anóxico, o masas no estratificadas con anoxia en las capas del fondo.

Concentración de nutrientes

En cuanto al **N total**, el tipo 12 en general muestra los valores más elevados, como cabría esperar. Sin embargo, estos valores del grupo son sobrepasados dos máximos atípicos, uno en el tipo 7 correspondiente al embalse de El Val con el máximo absoluto de 2017 de 4,8 mg N/L, y otro en el tipo 10 correspondiente a Las Torcas con 4,66 mg N/L.. Los valores mínimos de N Total se dan en el tipo 13 de alta montaña. En líneas generales, las concentraciones aumentan conforme nos acercamos al tramo bajo del río.

➤ Es la variabilidad en la concentración de nitrato la que marca las tendencias generales en el **N inorgánico total**, este predomina en todos los embalses. El nitrato registra el dato mínimo en el embalse de Vadiello, tipo 7, con 0,01 mg N/L. Topología donde se dan los mayores contrastes entre embalses, ya que el máximo en el embalse de Alloz alcanza los 1,65 mg N/L. En cuanto al amonio, los valores han sido inferiores a 0,07 mg N-NH₄/L en todos los casos. Los promedios más altos son los de los tipos 10 y 12. El más bajo ha correspondido al tipo 13.

➤ En cuanto a la fracción porcentual del **N orgánico**, este domina en 6 embalses del tipo 7, 2 del tipo 10 y uno en los tipos 9 y 11.

➤ En relación con el **P total** en la ZF, el tipo 10 muestra la media más elevada, debido a los valores de Moneva con 139 µg P/L (máximo del ESTUDIO) y Mezalocha con 52,32 µg P/L. Otros dos embalses más muestran concentraciones superiores a los 40 µg P/L, El Val con 47,79 µg P/L y Cueva Foradada con 40,7 µg P/L. El valor medio mínimo se da en el tipo 13, con una concentración de 2,41 µg P/L. Pero el mínimo de todos los embalses es el registrado en el embalse de Las Torcas con 1,88 µg P/L.

La fracción de **P soluble** presenta una tendencia muy diferente a las del P total, ya que en este caso en lugar de aumentar disminuyen de la tipología 7 a la 11, aumentando muchísimo en los embalses de tipología 12, con la media más alta de todos los tipos con una media por encima de los 9 µg P/L. Cabe destacar el máximo del embalse de Flix (tipo 12), como valor muy superior al resto, ya que supera los 25 µg P/L.



➤ Las concentraciones de **silice** se sitúan generalmente en el rango 2-5 mg SiO₂/L. Por embalses hay que destacar el valor mínimo de Rialb (tipo 11), mínimo atípico que no llega a 0,5 mg SiO₂/L. En el valor máximo encontramos al embalse de Lechago (tipo 7), que presenta concentraciones por encima de 12 mg SiO₂/L.

Características biológicas

➤ La **comunidad fitoplanctónica** estudiada (un total de 218 taxones en 35 embalses) está representada por diez grandes grupos algales, entre los que destacan, por su riqueza, los clorófitos (Clorophyceae) y las diatomeas (Bacillariophyceae). Las Clorofíceas son el taxón más abundante en casi todos los embalses, seguido de las Diatomeas. En algunos embalses son las Criptofíceas o las Crisofíceas las más abundantes.

➤ La **riqueza** media de especies de fitoplancton en los diferentes tipos (figura 53) ha sido mayor que el año 2016 para todos los tipos excepto para el tipo 10 que ha sido menor. Las medias de los diferentes tipos muestran un discreto ascenso de los valores hacia las tipologías de los tramos bajos. El máximo absoluto se registró en el embalse de Camarasa, del tipo 11, con 40 especies. Le siguieron con 39, La Tranquera también del tipo 10 y Maidevera y Urrúnaga del tipo 7. Los valores mínimos se han dado en los embalses de El Val (tipo 7), Gallipué (tipo 10) y Calanda (tipo 11) con 18 especies, que junto con el embalse de Cueva Foradada con 19 especies (tipo 10), son los únicos con menos de 20 especies.

➤ La **densidad celular** presenta una tendencia parecida a la riqueza de especies, si exceptuamos el tipo 12, esto es debido a los máximos atípicos que se dan en el tipo 7, concretamente en el embalse de Urrúnaga que supera las 200.000 cél./mL (máximo del ESTUDIO) y en el embalse de Oliana del tipo 9, con 56.440 cél./mL. El resto de densidades esta por debajo de las 25.000 cél./mL. El promedio más bajo se presenta en el tipo 13. Los valores menores de densidad se han dado en el embalse de Llauset (tipo 13), con una densidad de 292 cél./mL, seguido del embalse de Terradets (tipo 9) con 491 cél./mL, que junto a los embalses del Ebro (619 cél./mL) y Cueva Foradada (885 cél./mL), son los únicos que no han superado las 1.000 cél./mL.

➤ El comportamiento del **biovolumen** fue similar al de la variable densidad, aunque la media del tipo 11 fue mayor a la del tipo 12. En este caso, el valor más elevado del ESTUDIO lo encontramos también en un embalse del tipo 7, pero en este caso en El Val, con 23,46 mm³/L. En el lado contrario, el menor valor se ha presentado en los embalses de Flix (tipo 12)



y de Llauset (tipo 13), con valores de 0,13 mm³/L.

➤ Los valores de **diversidad** se pueden considerar los habituales en este tipo de estudios, entre 2,5 y 3,5 bits, aunque en los tipos 7, 10 y 11 encontramos diversidades inferiores a 2 bits. El tipo 11 es el de mayor diversidad en promedio, con 3,1 bits, la diversidad máxima de todos los embalses corresponde al embalse de Mezalocha con 3,9 bits. El valor medio más bajo de diversidad se ha dado en los tipos 7 y 12, con 2,5 bits. El embalse con un valor más bajo ha sido el de Urrúnuga, con 0,14 bits. Solo Mansilla, también del tipo 7, y LasTorcas del tipo 10 tampoco ha superado el valor de 1 bit. En todos los casos es debido a la dominancia de una especie.

➤ Las concentraciones de **clorofila a** presentaron valores medios muy similares entre los diversos tipos, exceptuando al tipo 13 con el mínimo absoluto de todo el ESTUDIO con una concentración de clorofila a de 0,7 µg/L. El mayor valor medio corresponde al tipo 12, con una concentración de 6,3 µg/L. Destacar también los tres embalses con concentraciones superiores a 10 µg/L, el embalse de El Val con 26,24 µg/L, el embalse de Moneva con 13,83 µg/L y el embalse de Ribarroja con 13,17 µg/L. En el lado contrario encontramos a los once embalses con concentraciones entre 1 y 2 µg/L.

➤ En gran parte de los embalses, un 68,6 %, no hay **Cianobacterias** y en un porcentaje inferior al 1 %, y siete embalses, un 20 %, las tienen en cantidades del 20 % de la densidad total o menores. Pero debemos señalar aquellos que poseen un porcentaje superior al 20 %, que ordenados de mayor a menor porcentaje son: Urrúnuga, Oliana, Ebro y Mequinenza. A pesar de tener un porcentaje elevado, se debe considerar que su biovolumen no es tan elevado como para llegar a niveles preocupantes para la calidad del agua y su biomasa es muy baja respecto a otros grupos de células de mayor tamaño.

➤ Se identificaron 83 especies de **zooplancton** en las muestras cuantitativas en un total de 35 embalses, agrupadas en tres grupos taxonómicos principales, el orden Cladópera (16 especies), la subclase Copépoda (11 taxones) y el *phylum* Rotífera (55 especies). También se contabilizaron las fases larvianas de *Dreissena polymorpha* (Mollusca, Bivalvia).

➤ La **riqueza** de especies se movió en torno a las 13 especies por embalse (valores de la media). Las medias de los diferentes tipos fueron muy parecidas, con el tipo 12 presentando el mayor valor con 16,3 especies, y los tipos 10, 11 y 13 presentando el valor más bajo con 12 especies. Valores destacados de riqueza zooplantónica se dieron en los siguientes embalses: Urrúnuga con 23, Ribarroja con 20 y Sobrón con 19 especies. Se encontraron menos de 10 especies en ocho embalses: Maidevera, Mezalocha, Moneva, La Tranquera y Vadiello con 9,



La Peña con 8, Gallipuéen con 7 y Lechago; con tan solo 5 especies.

➤ La **densidad** de individuos media ha sido de 532,42 ind/L, con valores que han ido desde los 39,81 ind/L en el embalse de Lechago hasta los 2.925 ind/L en La Estanca de Alcañiz, máximo de este ESTUDIO. Por tipos, el promedio más alto con diferencia ha sido para el tipo 10, con dos valores muy superiores al resto, el comentado de La Estanca de Alcañiz y el de La Sotonera. Mientras que el más bajo ha sido para el tipo 13, embalse de alta montaña. Los rotíferos son los más abundantes en densidad, en general en casi todos los embalses (25). Las excepciones más llamativa a esta regla general, con predominancia de los copépodos, se da en Mequinenza, Rialb y La Tranquera, aunque también predominan en los embalses de Alloz y Moneva. En otros cinco embalses, todos con densidades bajas, predominan los cladóceros, estos embalses son: Gallipuéen, Lechago, Monteagudo de las Vicarías, La Peña y Vadiello.

➤ La **biomasa** media más elevada se dio en el tipo 12, con el máximo absoluto de todo el ESTUDIO del embalse de Mequinenza, con 910 $\mu\text{g/L}$, especialmente debido a la presencia del copépodo *Copidodiaptomus numidicus* con una biomasa de 566,6 $\mu\text{g/L}$. En la parte opuesta, los valores menores han sido para el tipo 1. Por embalses destacar el valor más bajo de todo el ESTUDIO, que precisamente también se ha registrado en un embalse del tipo 12, en el embalse de Flix con tan solo 8 $\mu\text{g/L}$.

➤ La **diversidad** máxima se presenta en el tipo 12 con 3,03 bits, mientras que la mínima se da en el tipo 11 con 1,78 bits. Diez embalses se sitúan por debajo de los valores habituales de diversidad para los ecosistemas acuáticos, entre 2 y 3 bits. El máximo de diversidad se encuentra en Ribarroja, con 3,44 bits. Destacar el valor mínimo del embalse de Barasona (tipo 10) con 0,79 bits, único embalse que no supera el valor de 1 bit, el resto están todos por encima de 1,5 bits.

➤ En 2017 se capturaron larvas de mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*) en 7 embalses. La densidad de larvas en el embalse de Sobrón durante el primer muestreo fue la más alta (con 344 ind./L y representando un 52 % de la comunidad zooplanctónica). El valor más bajo se presentó en Flix con 3,08 ind./L y representando un 6,84 % de la comunidad. La presencia de mejillón cebra se ve reducida en los muestreos de final de verano.

Análisis multivariante

El análisis multivariante **PCA** aplicado a las variables fisicoquímicas ha explicado un 56,1 % de la variabilidad, asignando al primer eje un 30,9 % de la varianza explicada, al segundo un

16,8 % y al tercero un 9,3 %. El eje 1 da mayor peso en la zona positiva a las variables relacionadas con la transparencia, y a características morfológicas de los embalses, frente a una mayor concentración de nutrientes y embalses más turbios, tramos de orden superior que reciben la carga de nutrientes de aguas arriba de la cuenca. En el eje 2 tienen mayor peso en la zona negativa las variables relacionadas con la oxigenación, mientras que en la parte positiva tienen más peso las variables relacionadas con la anoxia y compuestos de nitrógeno inorgánico oxidado como el nitrato. El eje 3 separa en la zona positiva las variables relacionadas con la eutrofización y la concentración de fósforo biodisponible; frente a la zona negativa donde tienen peso variables morfológicas relacionadas con el tamaño de los embalses.

➤ La agrupación de distancias euclídeas entre embalses según los resultados del PCA en primer lugar diferencia los embalses por su tipología, puesto que mayoritariamente tenemos que los embalses de tipo 12 son los que más se alejan de los de tipo 7. De modo que, a grandes rasgos y sin tener en cuenta algunas excepciones, se ha establecido un gradiente de agrupación en función de la combinación de variables como la presencia de nutrientes, tramos de orden superior más mineralizados que reciben la carga de nutrientes de aguas arriba de la cuenca, y por otro lado embalses de cabecera con menor aporte de nutrientes y menos mineralizados.

Estado trófico

➤ De los 35 embalses analizados, la mayor parte de ellos son mesotróficos y oligotróficos. En 2017 la densidad de fitoplancton es el elemento más restrictivo, que clasificó un 20,6 % de embalses como eutróficos, ninguno como ultraoligotrófico y más de un 60 % como mesotróficos, mientras que el resto de variables clasificó aproximadamente el mismo número de embalses como mesotróficos, un 45 %. La variable que más embalses determinó como eutróficos fue el DS con solo un 5,7 %, es decir, dos embalses. En cambio, el P total fue la variable que más embalses determinó como ultraoligotróficos, seis embalses, un 17,1 %. La catalogación trófica final resultó un compromiso entre métricas. Las clases mayoritarias fueron mesotrófico y oligotrófico, con el 45,7 % y 40 % respectivamente, con las clases ultraoligotrófico y hipereutrófico con uno. Un 8,6 %, 3 embalses, se clasificaron como eutrófico.

Potencial ecológico

Aproximación experimental:

➤ **MÉTRICAS DEL FITOPLANCTON:** El fitoplancton fue el elemento del cual se

incluyeron más parámetros indicadores, con un total de 7 métricas: clorofila *a*, densidad, biovolumen, y los índices *Q*, *PTI*, *TI* y *PRTI*. La densidad celular es la variable más restrictiva, mientras que el *TI* es el que mejor los valora, clasificando al 80 % de embalses como bueno o superior. Las clases dominantes son las de bueno o superior en el resto de los índices excepto en el *PRTI*. En cambio, en los parámetros aplicados de forma directa, predomina la clase moderado, es decir, son más restrictivos.

➤ **MÉTRICAS DEL ZOOPLANCTON:** En cuanto a las variables del zooplancton, el índice de zooplancton *ZRTI* es el que se ha utilizado para el establecimiento del potencial ecológico. Los 35 embalses, se clasifican de la siguiente manera: 10 embalses (el 28 %) en estado bueno o superior; 17 embalses, un 48 %, en estado moderado, 8 embalses, un 22 % en estado deficiente.

➤ **MÉTRICAS FÍSICOQUÍMICAS:** En todos los parámetros encontramos las cinco clases de calidad representadas, predominando en los tres los embalses con buena o moderada calidad. El oxígeno es el parámetro que clasifica el mayor número de embalses con deficiente o mala calidad, en total son 9 que suponen el 25,7 %. Mientras que el *PT* es el que mayor número de embalses clasifica en muy buena calidad, hasta 7 embalses. En cuanto a embalses clasificados como buenos o moderados, es el *DS* quien clasifica mayor número de embalses en estos estados, clasificando un 34 % de embalses como buenos y un 48 % como moderados.

➤ De acuerdo con la combinación de parámetros fisicoquímicos, el valor global ha sido de un embalse con la categoría de muy bueno, seis con potencial Bueno o superior y 28 embalses en la categoría de moderado.

➤ En cinco embalses calificados como de potencial biológico Bueno o superior, el indicador fisicoquímico (inferior al umbral que suponemos asegura el funcionamiento del ecosistema) hizo cambiar el potencial ecológico a moderado.

La siguiente tabla resume los resultados de potencial ecológico para los 35 embalses estudiados en 2017, obtenidos mediante la ***aproximación experimental***.

Bueno o superior	Moderado	Deficiente	Malo
Camarasa, Ciurtana, Itoiz, Llauset	Ebro ² , Sobrón ² , Ortigosa ² , Mansilla, Alloz, Eugui, Irabia, Yesa, Monteagudo de las Vicarías, Maidevera, Vadiello, La Sotonera, Lechago, Las Torcas, Mezalocha, Cueva Foradada, La Estanca de ALcañiz, Barasona, Terradets, Rialb, Flix	Urrúnaga, La Peña, El Val ² , La Tranquera, Moneva, Gallipué, Calanda, Oliana ² , Mequinenza, Ribarroja	



Aproximación normativa:

➤ En 27 de los 30 embalses clasificados como de potencial bueno o superior por el Indicador Biológico, el Indicador Físicoquímico hizo descender el potencial final a moderado. Cuatro embalses fueron clasificados directamente como moderados; Ebro, Oliana, El Val y Moneva; y uno como deficiente, Urrúnaga.

La siguiente tabla resume los resultados de potencial ecológico para los embalses estudiados en 2017, obtenidos mediante la ***aproximación normativa***.

Bueno o superior	Moderado	Deficiente	Malo
Ortigosa ² , Itoiz, Vadiello, Las Torcas, Llauset, Camarasa, Ciurana	Ebro ² , Sobrón ² , Alloz, Eugui, Irabia, Yesa, La Peña, Barasona, Mansilla, La Sotenera, Rialb, El Val ² , Mezalocha, La Tranquera, Moneva, Cueva Foradada, Calanda, La Estanca de Alcañiz, Maidevera, Terradets, Oliana ² , Monteagudo de las Vicarías, Lechago, Gallipuéñ, Ribarroja, Flix, Mequinenza	Urrúnaga	

² Embalses donde se ha realizado dos muestreos.

7. PROPUESTA DE MEDIDAS CORRECTORAS

De acuerdo con lo establecido en el Pliego, para los embalses cuyo estado trófico o Potencial Ecológico no es bueno, proponemos un conjunto de medidas correctoras que deberían considerarse para tratar de alcanzar el buen estado a corto o medio plazo.

Los embalses que vamos a considerar son los que están incluidos en la tabla anterior siguiendo el sistema de clasificación de cálculo del Potencial Ecológico Normativo. Todos ellos tienen un Potencial Ecológico calificado como Moderado, condicionado por el indicador fisicoquímico en todos ellos, menos en cinco embalses. En cuatro de ellos el indicador biológico también los clasifica como moderados, son los embalses del Ebro, Oliana, El Val y Moneva. Mientras que a Urrúnaga lo clasifica directamente como deficiente.

Dado que las problemáticas de los embalses que no están en buen estado es variada, las propuestas las realizaremos por grupos de similaridad, analizando el elemento más restrictivo en los casos, para proponer las medidas que podrían implementarse para tratar de mejorar el estado y el potencial ecológico.

a) Embalses mal clasificados.

El embalse de Terradets, presenta un tiempo de retención muy corto, de tal manera que su comportamiento no es el de un embalse en el sentido que se atribuye a las masas de agua muy modificadas en la Directiva Marco del Agua, donde se asimila su comportamiento a lagos. La alta renovación de sus aguas hace que tengan características lólicas y no leníticas, por lo que los sistemas de clasificación no funcionan bien en estas masas de agua. No hay tiempo para la sedimentación, tienen escasa profundidad, el agua circula a una velocidad apreciable y los índices de evaluación del estado trófico castigan la poca transparencia del agua, como en Terradets, que se califica de deficiente por el DS, cuando por su concentración de clorofila es indicadora de un buen estado. Igual sucede con el indicador químico, ya que tiene un contenido en fósforo total muy alto, presente por la materia en suspensión que arrastran las aguas.

Se propone que estos embalses se clasifiquen como masas de agua tipo río en lugar de tipo embalse a efectos de la Directiva Marco del Agua.

b) Embalses turbios y someros.

Los embalses de La Peña, La Sotonera, Mezalocha, La Estanca de Alcañiz, Monteagudo de las Vicarías y Moneva presentan una escasa profundidad y superficie abierta al viento, por lo que cuando supera velocidades de 2-3 m/seg se produce la resuspensión del sedimento



superficial. Esto da al agua una turbidez por limos y arcillas suspendidas que perjudica al indicador de la transparencia del agua y al fósforo total. No es posible tomar medidas por ello de gestión que puedan mejorar su calidad, pues son así estos embalses.

c) Embalses de curso bajo fluvial.

Los embalses de Mequinenza, Ribarroja y Flix forman un complejo lineal en el bajo Ebro que retiene durante kilómetros las aguas del río, para su aprovechamiento hidroeléctrico principalmente y también el regadío recientemente en Mequinenza. A pesar de la enorme capacidad de Mequinenza, el tiempo de renovación es de tres meses, valor bajo para un embalse, y si consideramos Ribarroja (unos once días) y Flix (unas horas), nos encontramos ante una problemática singular. Ribarroja y Flix no pueden considerarse a efectos de masa de agua asimilable a lago como tales, y su comportamiento y las especies presentes responden más a un curso fluvial que a un lago. Además, se da el caso que las aguas en Ribarroja circulan más rápido por determinadas zonas que por otras (como ha podido observarse en otros estudios mediante sensores remotos), con lo cual su funcionamiento ecológico es mucho más complejo. En el embalse de Mequinenza sería necesario un estudio longitudinal para ver cómo sus características van cambiando desde Caspe hasta Mequinenza, y poder determinar cual es la causa de la baja concentración de oxígeno en toda la columna de agua. Sin embargo, la gran aportación de aguas en los tres embalses hace que no sea posible proponer otras mejoras, salvo la mejora en general de la calidad del agua tanto de los ríos Ebro después de Zaragoza como del tramo final del Segre. El embalse de Flix presenta una elevada transparencia de sus aguas, y un crecimiento de hidrófitos en el fondo, con lo cual se mantiene en ese aspecto en muy buen estado; pero se encuentra en muy mal estado en cuanto al contenido en fósforo total y oxigenación, probablemente por influencia de los trabajos que se realizan en el mismo embalse desde hace años. En el caso de Mequinenza la recomendación sería tratar de aliviar las aguas hipolimnéticas durante los periodos de lluvias y caudales elevados en el río Ebro, contribuyendo a la renovación del fondo del embalse.

d) Embalses de cabecera.

Es el caso de embalses que son el primero del curso fluvial, como Alloz, Ebro, Eugui, Urrúnaga, Mansilla, Cueva Foradada, La Tranquera, Lechago y Gallipué. Las aportaciones por el curso del río hacen que la llegada de materiales del continuo fluvial, en zonas de arrastre importante, produzca aporte de nutrientes a los que responde el ecosistema del embalse con el crecimiento algal. Esto produce procesos de descomposición en el fondo que consumen el oxígeno hipolimnético y durante la estratificación estival se produce el agotamiento del oxígeno en el fondo. Es importante en estas cuencas el control de los vertidos

difusos procedentes de actividades humanas, que se unen a las aportaciones de origen natural para producir conjuntamente la eutrofización y después el crecimiento algal. En el caso del Ebro, Urrúnaga, Lechago y Gallipué, no es tanto el crecimiento algal el factor que hace empeorar el índice de calidad, sino la estructura y composición de este, ya que en todos ellos es el indicador índice de grupos algales quien los clasifica como deficiente en el caso de Urrúnaga y como moderados al resto. El embalse de Urrúnaga, además tiene un elevado porcentaje de cianobacterias. La calidad del embalse de Urrúnaga se podría mejorar utilizando el agua superficial del embalse de Albiña, para así aprovechar la capacidad de depuración de las aguas retenidas y mejorar progresivamente la calidad del agua en cada uno de los embalses (Armengol *et al.*, 2009). En cuanto al embalse de Mansilla, la variable que establece como moderado el indicador fisicoquímico es el fósforo total, probablemente debido al fuerte hidroperiodo de este embalse, lo que puede provocar resuspensión de sedimentos y con ello el enriquecimiento en fósforo total. En cambio, el estado moderado de Alloz, La Tranquera y Cueva Foradada se debe a la existencia de anoxia en el fondo de los embalses.

e) Embalses de Oliana y Rialb.

Son dos embalses en cadena en los que, a pesar de haber bastante renovación, se observan problemas de oxigenación, pues en ambos se da una zona anoxia, mucho mayor en Oliana. Embalse este último donde además el crecimiento algal es indicador de mala calidad, ya que se manifiesta en densidades elevadas de fitoplancton y de cianobacterias. Es un efecto típico de la aportación de nutrientes desde la cuenca. Se debería controlar si son de origen natural o proceden de actividades humanas. Es conocido en esta zona pirenaica que la geología del terreno proporciona fósforo en cantidad suficiente para el crecimiento de las algas (como en la cuenca próxima del río Ter). Si fuera el caso, no hay otra posibilidad que tratar de favorecer el desembalse hipolimnético. Si fuera de origen humano, se trataría de controlar las fuentes de eutrofización. En este caso, la gestión hídrica de embalses en cadena, según el año sea húmedo o seco contribuiría de forma notable al mantenimiento de un mejor estado de los embalses.

Además, hay que mencionar la abundante presencia de desechos antrópicos flotantes y en las márgenes del embalse de Oliana, como se puede apreciar en la siguiente fotografía. Por tanto, se recomienda la intervención para la retirada de los mismos.



f) Embalses de El Val, Maidevera e Irabia.

Estos embalses tienen una problemática similar. Se encuentran en zonas despobladas, donde parece que no debería encontrarse en estado deficiente. Sin embargo, el crecimiento algal es importante y en alguno de ellos también la concentración de los nutrientes. En Maidevera no se conoce la procedencia de ellos, mientras que en El Val proceden de las aportaciones del río Val y en Irabia podría ser debido a la abundante materia orgánica que le llega del bosque de hayas que lo circunda. Los procesos de descomposición en el hipolimnion consumen el oxígeno y se encuentra en anoxia durante el verano, dando un indicador de mala calidad, al que se une el crecimiento algal y la presencia de cianofíceas en Maidevera y sobre todo en El Val.

g) Embalse de Sobrón.

Este embalse presenta una tasa de renovación de aproximadamente 15 días, con una circulación de agua importante, pero el hipolimnion se encuentra en estado de anoxia. En este embalse se ha observado en los años anteriores la problemática de estratificación térmica severa debida a la presencia de aportaciones de agua de refrigeración con temperatura elevada; sin embargo, en la actualidad esta circunstancia térmica no siempre se presenta y en los tres últimos años también ha habido estratificación. La presencia del gradiente térmico, hace que los procesos de descomposición del hipolimnion agoten el oxígeno, siendo el factor que hace empeorar la calidad, conjuntamente con la presencia de grupos algales (no cianobacterias) indicadores de baja calidad. Es probable que haya una aportación de nutrientes por el curso fluvial que favorece el crecimiento fitoplanctónico, ya que se ha constatado la mezcla de la masa de agua en el muestro de final de verano. Se debería pues investigar si existen fuentes difusas de contaminación de origen humano que contribuyan a la eutrofización del embalse. Sería recomendable que durante los periodos de crecidas se



procediera también al desembalse hipolimnético para favorecer la salida de las aguas de las capas profundas del gradiente de densidad, más anóxicas.

h) Embalse de Calanda

En el embalse de Calanda hay una pobre oxigenación de las aguas, incluso con tres metros de zona anóxica, aspecto que se podría mejorar con la gestión hídrica de los embalses en cadena (Santolea y Caspe), lo que repercutiría en la mejora de la calidad global de estas masas de agua.

i) Embalses de Barasona y Yesa.

En ambos embalses la variable que hace que el indicador fisicoquímico sea moderado es la profundidad el disco de Secchi. Lo cual podría deberse a dos causas diferentes, en Barasona vendría causado por el fuerte hidroperiodo que se da, lo que provocaría la resuspensión de limos, que tardan en sedimentar, y de fósforo. Mientras que en el embalse de Yesa podría ser debido a la mayor presencia de sólidos en suspensión, por ejemplo, partículas de arcilla, provocado por las obras de represado o procedentes de la cuenca propia del embalse, o también la transparencia podría estar influida por fenómenos de dispersión de la luz en aguas carbonatadas.



8. REFERENCIAS

- ACA (2003a). *Desenvolupament d'un índex integral de qualitat ecològica i regionalització ambiental dels sistemes lacustres de catalunya*. Agencia Catalana del Aigua. Disponible on-line en: http://mediambient.gencat.net/aca/documents/ca/directiva_marc/Llacs.pdf
- ACA (2003b). *Caracterització i propostes d'estudi dels embassaments catalans segons la Directiva 2000/60/CE del Parlament Europeu*. Disponible on-line en: http://mediambient.gencat.net/aca/documents/ca/directiva_marc/Llacs.pdf
- ACA (2006). *Protocol d'avaluació del potencial ecològic dels embassaments*. Disponible en: http://mediambient.gencat.net/aca/documents/ca/directiva_marc/manual_embassaments.pdf
- APHA (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association. 20th Edition. Amer. Publ. Hlth. Assoc. Washington, DC.
- Armengol, J., Rodríguez, J.J., García, J.C., Ordoñez, J. y Marcé, R. (2009). La gestión de los embalses en relación a la calidad del agua en condiciones de sequía extrema. *Ingeniería del agua*, 16(4), 285-294
- Attayde, J.L. y Bozelli, R.L. (1998). Assessing the indicator properties of zooplankton assemblages to disturbance gradients by canonical correspondence analysis. *Can. J. Aquat. Sci.*, 55: 1789-1797.
- Burns, N.M., Rutherford, J.C. y Clayton, J.S. 1999. A monitoring and classification system for New Zealand lakes and reservoirs. *Journal of Lakes Research & Management* 15(4): 255-271.
- Burns, N.M y Bryers (2000) *Protocol for Monitoring Trophic Levels of New Zealand Lakes and Reservoirs*. Informe para el Ministerio de Medio Ambiente de Nueva Zelanda. Disponible en: http://www.mfe.govt.nz/withyou/funding/smf/results/5090_nzlm_protocol_complete_text.pdf
- CE (2000). Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de Octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.
- CEDEX (2006). Directiva 2000/60/CE. *Análisis de las características de las Demarcaciones. Caracterización de los tipos de ríos y lagos (versión 5,0)*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid. Documento borrador.



CHE (1992). *Análisis de la eutrofización de los embalses de la cuenca hidrográfica del río Ebro*.

CHE (1996). *Diagnóstico y gestión ambiental de embalses en el ámbito de la cuenca Hidrográfica del Ebro*. Limnos.

CHE (2002). *Actualización Limnológica de Embalses*. URS.

CHE (2003). *Seguimiento de la calidad de las aguas en embalses de zonas sensibles*. Confederación Hidrográfica del Ebro.

CHE (2005). *Caracterización de la Demarcación y registro de zonas protegidas*. Disponible en: <http://www.chebro.es>.

CHE (2006). *Ejecución de trabajos relacionados con los requisitos de la Directiva Marco (2000/60/CE) en el ámbito de la Confederación Hidrográfica del Ebro referidos a la elaboración del registro de zonas protegidas, la determinación del potencial ecológico de los embalses y el desarrollo de programas específicos de investigación*. Infraeco. Disponible en: <http://www.chebro.es>.

CHE (2007). *Informe final potencial ecológico en embalses 2006*. UTE Red Biológica del Ebro. Disponible en: <http://www.chebro.es>.

CHE (2007b). *Caracterización de la importancia y potencialidades ornitológicas de los embalses de la cuenca del Ebro*. SEO. Disponible en: <http://www.chebro.es>.

CHE (2008). *Informe final potencial ecológico en embalses 2007*. UTE Red Biológica del Ebro. Disponible en: <http://www.chebro.es>.

CHE (2009). *Informe final potencial ecológico en embalses 2008*. UTE Red Biológica del Ebro. Disponible en: <http://www.chebro.es>.

CHE (2014). *Informe final potencial ecológico en embalses 2013*. Explotación de la red de seguimiento de embalses en aplicación de la directiva marco del agua en la demarcación hidrográfica del ebro. Área de calidad de aguas, Confederación Hidrográfica del Ebro. Disponible en: <http://www.chebro.es>.

CHE (2015). *Informe final potencial ecológico en embalses 2014*. Explotación de la red de seguimiento de embalses en aplicación de la directiva marco del agua en la demarcación hidrográfica del ebro. Área de calidad de aguas, Confederación Hidrográfica del Ebro. Disponible en: <http://www.chebro.es>.



- CHE (2016). *Informe final potencial ecológico en embalses 2015*. Red de seguimiento de masas de agua muy modificadas. Área de calidad de aguas, Confederación Hidrográfica del Ebro. Disponible en: <http://www.chebro.es>.
- CIS Working Group 2 A (2003). *Overall approach on the classification of ecological status and ecological potential*. 27 November. 47 pp.
- Chorus I. y J. Bartram. (1999). *Toxic Cyanobacteria in Water. A guide to their public health consequences, monitoring and management*. WHO. E&FN Spon. London and New York. 416 pg.
- Ferree, M.A., and R.D. Shannon (2001). Evaluation of a second derivative UV/visible spectroscopy technique for nitrate and total nitrogen analysis of wastewater samples. *Water Research* 35:327-332.
- Golterman, H.I., Clymo, R. y Ohstad, M. (1978). *Methods for Physical and Chemical Analysis of Freshwater*. IBP Handbook, 8. Blackwell. London, UK. 180 pp.
- Hutchinson, G.E. (1957). *A Treatise on Limnology. Volume 1. Geography, physics and chemistry*. Wiley, New York. 1015 pp.
- Jeffrey, S. W. y Humphrey, G. F. (1975). New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochem. Physiol. Pflanzen*. 167, 191 – 194.
- Lee GF, Rast W y Jones RA (1978). Eutrophication of water bodies: Insights for an age-old problem. *Envir. Sci. Technol.* 12: 900-908.
- Lougheed & Chow-Fraser (2002). Development and Use of a Zooplankton Index of Wetland Quality in the Laurentian Great Lakes Basin. *Ecological Applications*, 12: 474-486.
- MAGRAMA (2015). Protocolo de análisis y cálculo de métricas de fitoplancton en lagos y embalses. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Disponible en : <http://www.magrama.gob.es>
- Margalef, R. (1983). *Limnología*. Ed. Omega, Barcelona.
- Mellado A., Vicente E., Morata S., Soria X., Pintor C., Duran C. & Miracle M. R. (2010, julio). *Phytoplankton communities in reservoirs of the Ebro river basin as ecological status indicators*. Ponencia presentada en el XV Congreso de la Asociación Ibérica de Limnología, Ponta Delgada, Portugal.



- Montagud D., Soria X., Sendra M.D. y Soria J.M. (2017, septiembre). *Phytoplankton Reservoir Trophic Index (PRTI): Nueva herramienta para estudios de calidad ecológica*. Comunicación presentada en las Jornadas sobre Calidad Ecológica y Estado de Conservación de las Aguas Continentales, Pamplona, España.
- Moss, B. *et al.* (2003). The determination of ecological status in shallow lakes: a tested system (ECOFRAME) for implementation of the European Water Framework Directive. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. 13: 507-549.
- Oliver R.L. y Ganf, G.G. (2002). Freshwater Blooms, pags: 149-194. En *The ecology of Cyanobacteria*. Whitton y Potts (eds). Kluwer. Nueva York.
- OCDE (1982). *Eutrophication of water: monitoring, assessment and control*. Organization of Economic Cooperation and Development, Paris.
- Padisak J. (2004) Phytoplankton. En *The Lake Handbook vol. 1 Limnology and Limnetic Ecology* (O'Sullivan y Reynolds eds.). Blackwell. Oxford.
- Padisak, J., Borics, G., Grigorszky, I., & Soroczki-Pinter, E. (2006). Use of phytoplankton assemblages for monitoring ecological status of lakes within the Water Framework Directive: the assemblage index. *Hydrobiologia*, 553: 1-14.
- Padisak J., Crossetti L. y Naselli-Flores L. (2009) Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. *Hydrobiologia* 621: 1–19.
- Premazzi, G. & Chiaduanni, G. (1992). *Ecological quality of Surface Water*. Commission of the European Communities, JRC Report EUR 14563, 124 p
- Reynolds, C.S. (1998) What factors influence the species composition of phytoplankton in lakes of different trophic status? *Hydrobiologia* 369/370: 11–26.
- Reynolds, C.S., Huszar, V., Kruk, C., Naselli-Flores, L. y Melo, S. (2002). Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of Plankton Research* 24: 417–428.
- Reynolds, C.S. (2006). *The Ecology of Phytoplankton (Ecology, Biodiversity and Conservation)*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Rodier, J. (1984). *L'analyse de l'eau*. Dunod. Orleans: 1365 pp.
- Russel-Hunter, W.D. (1970): *Aquatic productivity: an introduction to some basic aspects of biological oceanography and limnology*. MacMilan and Company, Ltd., Londres. 306 pp.



- Salmaso, N., Morabito, G., Buzzi, F., Garibaldi L., Simona, M. y Mosello, R.(2006). Phytoplankton as an indicator of the water quality of the deep lakes south of the Alps. *Hydrobiologia*, 563: 167-187.
- Shoaf, W.T. y B.W. Lium 1976. Improved extraction of chlorophyll a and b from algae using dimethyl-sulphoxide. *Limnology and Oceanography*. 21: 926-928.
- Strickland, J.D.H. y Parsons, T.R., (1968). *A manual for sea water analysis*. Bull. Fish. Res. Bd. Canada, 167.
- Ter Braak, C.J.F. y Prentice, I.C. (1988). A theory of gradient analysis. *Advances in Ecological Research* 18:271-313.
- Ter Braak, C. J. F., y Smilauer, P. (1998). *CANOCO Reference Manual and User's Guide to Canoco for Windows: Software for Canonical Community Ordination (version 4)*. Microcomputer Power (Ithaca, NY USA) 352 pp.
- U.S. Environmental Protection Agency (1998). *Lake and Reservoir Bioassessment and Biocriteria*. Technical Guidance Document.
- Verdow, H., Vanechted, C.J.A. y Dekkers, E.M.J., (1978). Ammonia determination based on indophenol with sodium salicylate. *Water Research* 12: 399-402.
- Wetzel, R.G. 1975. *Limnology*. Saunders, Philadelphia. 743 pp.
- Willen, E. (2000). Phytoplankton in water quality assessment - an indicator concept. En P. Heinonen, G. Ziglio & A. Van der Beken (editores), *Hydrological and Limnological Aspects of Lake Monitoring* John Wiley & Sons. Pags: 58-80.



9. ANEXO 1: TABLAS DE DATOS

Valores de las variables hidrológicas del embalse en el momento de la toma de muestras, de la capa superficial del embalse (1 m), de la penetración luminosa y zona fótica medida mediante Disco de Secchi (DS) y medidor de PAR (PAR) y del espesor de la zona anóxica del embalse en el fondo.

Abrev.	Código	Fecha	Prof.	Volumen	% Emb	T. Perm.	Temp	Termoclina	Cond 20°	pH	Disco Secchi	Zona Fótica	Zona Fótica	Zona Anoxia
	MAS		(m)	(Hm ³)		(año)	(°C)	(P/A)	(µS/cm)		(m)	(DS) (m)	(PAR) (m)	(m)
EBR	1	26/06/2017	13	145,18	27	0,99	22,7	A	223	8,15	2,85	7,125	8	2
URR	2	24/07/2017	17	51,37	71	0,31	21,7	A	172	8,5	3	7,5	9	5
IRA	4	18/07/2017	27	7,37	53	0,03	19,8	A	162	7,9	5	12,5	13	9
EUG	6	19/07/2017	31	14,95	71	0,18	19,9	P	174	7,84	4	10	12	3
SOB	22	25/07/2017	26,9	18,33	92	0,04	22,8	P	298	8,3	2,4	6	7	14
ALL	27	17/07/2017	37	48,92	74	0,47	20	P	833	8,1	2,5	6,25	12	0
YES	37	04/07/2017	45	324,36	73	0,31	21,4	A	253	8,15	2,8	7	12	0
PEÑ	44	04/07/2017	14	13,15	88	0,02	21,1	A	305	8,07	1,3	3,25	5,5	0
VAD	51	28/06/2017	52	13,66	85	0,41	18,3	P	314	8,1	5,5	13,75	16	0
OLI	53	12/07/2017	51	76,33	91	0,07	22,8	A	184	8,7	1,9	4,75	6	11
BAR	56	08/08/2017	23	55,9	66	0,10	25,7	A	294	8,3	3	7,5	11	0
TER	59	10/07/2017	12	31,5	98	0,04	18,9	A	169	8,2	1,2	3	4	0
MAN	61	27/06/2017	27	26,99	40	0,08	20,6	A	166,7	8,2	3,9	9,75	11	0
SOT	62	09/08/2017	18	131,33	69	0,52	23,5	A	362	8,03	2	5	9	5
RIA	63	07/08/2017	55	303,62	75	0,34	24,3	P	218	8,5	2,3	5,75	9	2
CAM	65	07/06/2017	60,1	143,51	88	0,14	16,9	A	189	8,07	5,1	12,75	15	0
VAL	68	13/06/2017	33,3	16,38	68	0,70	21,2	P	443	8,28	1,9	4,75	7	0
MEQ	70	01/08/2017	50	948,03	62	0,27	24,6	A	1332	7,9	6,1	15,25	13	40
MEZ	71	03/07/2017	3	0,43	11	0,09	18,4	A	504	8,5	0,35	0,875	3	0
CIU	73	06/06/2017	30,8	5,77	32	0,78	16,7	P	546	8,4	5,8	14,5	15	0



Abrev.	Código	Fecha	Prof.	Volumen	% Emb	T. Perm.	Temp	Termoclina	Cond 20°	pH	Disco Secchi	Zona Fótica	Zona Fótica	Zona Anoxia
	MAS		(m)	(Hm ³)		(año)	(°C)	(P/A)	(μS/cm)		(m)	(DS) (m)	(PAR) (m)	(m)
FLI	74	01/08/2017	9	3,59	85	0,00	21,4	A	1084,5	8	3,75	9,37	8	0
TOR	75	19/06/2017	11	1,78	25	0,26	23	A	513	8,2	3,4	8,5	10	0
TRA	76	26/07/2017	22	23,65	29	0,48	24,2	A	643	8,3	2,7	6,75	12	10
MOV	77	19/06/2017	1,6	0,8	10	1,57	25,9	A	1071,9	8,1	0,3	0,75	1,6	0
CUE	80	20/06/2017	12	5,66	26	0,43	20,4	P	979	7,61	2,9	7,25	9	5
CAL	82	31/07/2017	33	27,97	52	0,28	23,8	A	577	8,2	3,6	9	14	3
ITO	86	18/07/2017	49	196,91	47	0,56	21,4	P	198	8,37	3,9	9,75	13	0
LEC	87	12/06/2017	12	3,01	25	-	21,3	A	1552	8,1	2	5	7	5
GAL	913	20/06/2017	13,3	2,3	58	1,08	24,2	A	555	8	1,85	4,63	6	2
ORT	916	24/07/2017	26	20,88	63	0,19	22	P	130	8,3	5,15	12,86	13	0
RIB	949	02/08/2017	28,4	200,63	96	0,03	24,7	A	925	7,99	2,6	6,5	6,5	4,4
EST	1022	31/07/2017	4	4,07	56	0,12	25,7	A	620,1	8,2	2	4	4	0
LLA	1053	11/07/2017	62,5	14,99	90	0,10	10,3	A	54	7,9	15	37,5	28	0
MON	1681	21/06/2017	7	5,35	54	2,47	23,8	A	864	7,84	2,7	6,75	6	0,5
MAE	RIO823	14/06/2017	30	12,26	61	0,76	18,3	P	428	8,2	4,2	10,5	12	14
EBR	1	22/09/2017	12,7	145,18	27	0,99	17,3	A	227	8	2,3	5,75	7	0
SOB	22	23/09/2017	26,7	17,71	89	0,04	18,1	A	322	7,75	3,6	9	9	9,7
OLI	53	13/09/2017	38,4	39,05	46	0,07	20,9	P	294	7,77	3,1	7,75	9	13
VAL	68	12/09/2017	27	12,03	50	0,70	20,9	A	403	8,1	3	7,5	4,5	12
ORT	916	21/09/2017	14,5	10,68	32	0,19	17,4	A	136	8,1	2,6	6,5	9	0

Valores de la muestra integrada
Primera Parte

Abrev	Código	Prof. Integ.	Fecha	Cond 20°C	pH	Solidos	LOI	Turb 400	Clorofila	Alcalin	Alcalin	Nitrato	Nitrato	Nitrito	Nitrito	NIO
	CHE	(m)		(µS/cm)		(mg/L)	(mg/L)	(NTU)	(ug/L)	(mM)	(mg/L)	(µM)	(mg/L)	(µM)	(mg/L)	(mg N/L)
EBR	1	7,5	26/06/2017	223	8,15	2,392	0,852	2,278	2,313	1,197	119,7	23,0	1,426	0,399	0,018	0,328
URR	2	9,0	24/07/2017	172	8,5	2,527	1,851	2,461	4,838	1,166	116,6	19,0	1,178	0,351	0,016	0,271
IRA	4	13,0	18/07/2017	162	7,9	2,010	1,250	1,002	3,247	1,635	163,5	7,1	0,443	0,145	0,007	0,102
EUG	6	12,0	19/07/2017	174	7,84	1,860	0,775	2,005	1,857	1,449	144,9	6,0	0,372	0,162	0,007	0,086
SOB	22	8,0	25/07/2017	298	8,3	3,060	1,216	3,129	9,178	1,888	188,8	16,0	0,992	0,671	0,031	0,233
ALL	27	12,0	17/07/2017	833	8,1	2,945	0,595	1,914	1,343	2,590	259,0	114,0	7,068	0,899	0,041	1,609
YES	37	12,0	04/07/2017	253	8,15	3,273	0,803	2,218	1,680	2,156	215,6	20,0	1,240	0,253	0,012	0,284
PEÑ	44	6,0	04/07/2017	305	8,07	7,208	1,677	7,047	3,465	2,031	203,1	14,0	0,868	0,444	0,020	0,202
VAD	51	16,0	28/06/2017	314	8,1	1,613	0,716	0,668	1,052	3,089	308,9	0,9	0,058	0,053	0,002	0,014
OLI	53	7,5	12/07/2017	184	8,7	4,208	2,550	4,769	14,131	1,262	126,2	14,0	0,868	1,043	0,048	0,211
BAR	56	11,0	08/08/2017	294	8,3	2,053	1,000	1,792	2,842	1,656	165,6	34,0	2,108	0,336	0,015	0,481
TER	59	6,0	10/07/2017	169	8,2	11,636	1,371	11,331	2,132	1,257	125,7	16,0	0,992	0,364	0,017	0,229
MAN	61	11,0	27/06/2017	167	8,2	1,677	0,718	1,063	1,648	1,207	120,7	15,0	0,930	0,471	0,022	0,217
SOT	62	9,0	09/08/2017	362	8,03	5,365	1,496	2,339	4,578	2,195	219,5	26,0	1,612	0,812	0,037	0,375
RIA	63	9,0	07/08/2017	218	8,5	4,043	1,481	2,947	4,241	1,419	141,9	9,0	0,560	0,570	0,026	0,134
CAM	65	15,0	07/06/2017	189	8,07	1,331	0,589	3,402	1,759	1,870	187,0	16,0	0,992	0,218	0,010	0,227
VAL	68	6,5	13/06/2017	443	8,28	6,800	4,140	2,552	26,243	2,312	231,2	118,0	7,316	2,597	0,119	1,688
MEQ	70	13,0	01/08/2017	1332	7,9	2,056	1,076	1,883	3,879	2,577	257,7	116,0	7,192	1,718	0,079	1,648
MEZ	71	3,0	03/07/2017	504	8,5	42,603	3,779	40,371	7,653	2,099	209,9	91,0	5,642	2,172	0,100	1,304
CIU	73	15,0	06/06/2017	546	8,4	2,227	1,000	2,035	1,679	3,156	315,6	1,0	0,063	0,106	0,005	0,016
FLI	74	8,0	01/08/2017	1085	8	2,421	0,710	2,612	1,930	3,030	303,0	135,0	8,370	2,704	0,124	1,928
TOR	75	10,0	19/06/2017	513	8,2	2,551	0,918	1,488	1,722	2,520	252,0	282,0	17,484	1,921	0,088	3,975
TRA	76	12,0	26/07/2017	643	8,3	2,995	1,845	1,792	8,451	2,567	256,7	80,0	4,960	1,677	0,077	1,143
MOV	77	1,5	19/06/2017	1072	8,1	41,712	4,898	42,953	13,827	2,242	224,2	2,2	0,137	0,575	0,026	0,039



Abrev	Código	Prof. Integ.	Fecha	Cond 20°C	pH	Solidos	LOI	Turb 400	Clorofila	Alcalin	Alcalin	Nitrato	Nitrato	Nitrito	Nitrito	NIO
	CHE	(m)		(µS/cm)		(mg/L)	(mg/L)	(NTU)	(ug/L)	(mM)	(mg/L)	(µM)	(mg/L)	(µM)	(mg/L)	(mg N/L)
CUE	80	9,0	20/06/2017	979	7,61	3,396	1,262	2,248	3,432	3,004	300,4	29,0	1,798	0,983	0,045	0,420
CAL	82	14,0	31/07/2017	577	8,2	3,057	0,729	1,519	1,368	2,298	229,8	65,0	4,030	0,544	0,025	0,918
ITO	86	13,0	18/07/2017	198	8,37	2,342	0,893	3,098	2,528	1,916	191,6	16,0	0,992	0,463	0,021	0,230
LEC	87	7,0	12/06/2017	1552	8,1	4,453	1,607	3,068	4,004	1,977	197,7	47,0	2,914	0,940	0,043	0,671
GAL	913	6,0	20/06/2017	555	8	6,443	1,732	5,498	3,914	2,956	295,6	19,0	1,178	0,553	0,025	0,274
ORT	916	9,0	24/07/2017	130	8,3	1,550	0,842	1,428	1,177	0,909	90,9	2,7	0,169	0,014	0,001	0,038
RIB	949	6,0	02/08/2017	925	7,99	4,471	2,893	3,615	13,173	2,535	253,5	122,0	7,564	2,827	0,130	1,748
EST	1022	4,0	31/07/2017	620	8,2	6,054	1,899	3,554	4,760	2,371	237,1	26,0	1,612	0,659	0,030	0,373
LLA	1053	28,0	11/07/2017	54	7,9	0,655	0,490	0,759	0,685	0,595	59,5	16,0	0,992	0,114	0,005	0,226
MON	1681	6,0	21/06/2017	864	7,84	5,205	1,126	4,010	1,367	2,348	234,8	29,0	1,798	0,693	0,032	0,416
MAE	RIO823	12,0	14/06/2017	428	8,2	2,762	1,912	1,580	6,934	1,865	186,5	111,0	6,882	1,095	0,050	1,569
EBR	1	7	22/09/2017	227	8	3,387	1,333	3,190	9,712	1,316	131,6	1,2	0,073	0,169	0,008	0,019
SOB	22	9	23/09/2017	322	7,75	2,148	0,658	2,764	3,562	2,094	209,4	8,6	0,533	0,411	0,019	0,126
OLI	53	9	13/09/2017	294	7,77	2,931	1,910	2,187	5,957	1,990	199,0	35,0	2,170	0,912	0,042	0,503
VAL	68	6	12/09/2017	403	8,1	8,407	7,531	3,858	86,132	1,280	128,0	62,0	3,844	3,218	0,148	0,913
ORT	916	9	21/09/2017	136	8,1	6,021	0,801	2,612	1,407	1,102	110,2	1,0	0,063	0,138	0,006	0,016

Valores de la muestra integrada
Segunda Parte

Abrev	Código	Prof. Integ.	Amonio	Amonio	Amonio	Ntot	Ntot	Psol	Psol	Fosfatos	Ptot	Ptot	Silicato	Silicato
	CHE	(m)	(μ M)	(mg/L)	(mg N/L)	(μ M)	(mg N/L)	(μ M)	(mg P/L)	(mg/L)	(μ M)	(mg P/L)	(μ M)	(mg SiO ₂ /L)
EBR	1	7,5	1,811	119,67	0,0254	31,99	0,4479	0,0575	0,0018	0,0055	0,0018	0,0134	21,19	1,27
URR	2	9,0	0,797	116,58	0,0112	32,19	0,4507	0,0531	0,0016	0,0050	0,0016	0,0122	40,73	2,44
IRA	4	13,0	1,986	163,50	0,0278	22,95	0,3212	0,0106	0,0003	0,0010	0,0003	0,0085	27,66	1,66
EUG	6	12,0	1,811	144,92	0,0254	20,08	0,2811	0,0158	0,0005	0,0015	0,0005	0,0055	32,17	1,93
SOB	22	8,0	1,084	188,80	0,0152	36,60	0,5125	0,0850	0,0026	0,0081	0,0026	0,0277	62,81	3,77
ALL	27	12,0	0,702	259,01	0,0098	117,49	1,6449	0,0317	0,0010	0,0030	0,0010	0,0029	13,61	0,82
YES	37	12,0	0,953	215,55	0,0133	28,59	0,4002	0,0106	0,0003	0,0010	0,0003	0,0022	31,86	1,91
PEÑ	44	6,0	1,622	203,08	0,0227	27,75	0,3886	0,0159	0,0005	0,0015	0,0005	0,0133	56,78	3,41
VAD	51	16,0	0,215	308,90	0,0030	10,89	0,1525	0,0157	0,0005	0,0015	0,0005	0,0024	45,41	2,72
OLI	53	7,5	0,223	126,22	0,0031	35,27	0,4938	0,0327	0,0010	0,0031	0,0010	0,0219	38,52	2,31
BAR	56	11,0	1,281	165,57	0,0179	39,97	0,5596	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0080	52,99	3,18
TER	59	6,0	0,855	125,74	0,0120	24,87	0,3482	0,0599	0,0019	0,0057	0,0019	0,0138	75,76	4,55
MAN	61	11,0	3,417	120,67	0,0478	28,12	0,3936	0,0836	0,0026	0,0079	0,0026	0,0120	55,80	3,35
SOT	62	9,0	1,115	219,46	0,0156	38,33	0,5366	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0139	51,95	3,12
RIA	63	9,0	1,535	141,92	0,0215	26,84	0,3758	0,0421	0,0013	0,0040	0,0013	0,0217	5,38	0,32
CAM	65	15,0	0,712	186,97	0,0100	23,33	0,3267	0,0053	0,0002	0,0005	0,0002	0,0050	67,22	4,03
VAL	68	6,5	2,973	231,21	0,0416	562,18	7,8705	0,2931	0,0091	0,0278	0,0091	0,0392	11,15	0,67
MEQ	70	13,0	2,438	257,69	0,0341	131,37	1,8392	0,0721	0,0022	0,0068	0,0022	0,0211	49,10	2,95
MEZ	71	3,0	6,212	209,91	0,0870	120,71	1,6900	0,0793	0,0025	0,0075	0,0025	0,0523	177,36	10,64
CIU	73	15,0	5,086	315,65	0,0712	18,91	0,2648	0,0264	0,0008	0,0025	0,0008	0,0099	47,45	2,85
FLI	74	8,0	2,707	303,04	0,0379	140,26	1,9636	0,8545	0,0265	0,0812	0,0265	0,0396	96,89	5,81
TOR	75	10,0	1,161	252,05	0,0162	332,54	4,6556	0,0580	0,0018	0,0055	0,0018	0,0019	30,53	1,83
TRA	76	12,0	2,943	256,72	0,0412	123,03	1,7224	0,0212	0,0007	0,0020	0,0007	0,0199	88,00	5,28
MOV	77	1,5	6,982	224,20	0,0978	73,63	1,0308	0,0738	0,0023	0,0070	0,0023	0,1390	168,74	10,12



Abrev	Código	Prof. Integ.	Amonio	Amonio	Amonio	Ntot	Ntot	Psol	Psol	Fosfatos	Ptot	Ptot	Silicato	Silicato
	CHE	(m)	(µM)	(mg/L)	(mg N/L)	(µM)	(mg N/L)	(µM)	(mg P/L)	(mg/L)	(µM)	(mg P/L)	(µM)	(mg SiO ₂ /L)
CUE	80	9,0	11,459	300,42	0,1604	67,96	0,9514	0,0369	0,0011	0,0035	0,0011	0,0407	67,04	4,02
CAL	82	14,0	1,548	229,84	0,0217	74,39	1,0415	0,0566	0,0018	0,0054	0,0018	0,0061	62,68	3,76
ITO	86	13,0	0,722	191,65	0,0101	23,30	0,3263	0,0264	0,0008	0,0025	0,0008	0,0039	16,46	0,99
LEC	87	7,0	2,131	197,68	0,0298	73,14	1,0239	0,2280	0,0071	0,0217	0,0071	0,0126	214,68	12,88
GAL	913	6,0	2,359	295,63	0,0330	43,51	0,6091	0,0211	0,0007	0,0020	0,0007	0,0192	18,76	1,13
ORT	916	9,0	0,011	90,89	0,0002	10,04	0,1406	0,0478	0,0015	0,0045	0,0015	0,0057	40,73	2,44
RIB	949	6,0	2,717	253,53	0,0380	145,70	2,0398	0,0206	0,0006	0,0020	0,0006	0,0306	102,33	6,14
EST	1022	4,0	2,075	237,14	0,0290	43,30	0,6062	0,0103	0,0003	0,0010	0,0003	0,0143	81,48	4,89
LLA	1053	28,0	0,653	59,52	0,0091	18,60	0,2604	0,0708	0,0022	0,0067	0,0022	0,0024	50,55	3,03
MON	1681	6,0	4,429	234,80	0,0620	62,80	0,8791	0,0316	0,0010	0,0030	0,0010	0,0109	82,94	4,98
MAE	RIO823	12,0	1,753	186,48	0,0245	147,95	2,0714	0,2009	0,0062	0,0191	0,0062	0,0077	13,64	0,82
EBR	1	7	0,348	131,61	0,0049	35,70	0,4999	0,0779	0,0024	0,0074	0,0024	0,0225	14,41	0,86
SOB	22	9	6,622	209,35	0,0927	35,62	0,4987	0,2026	0,0063	0,0192	0,0063	0,0177	38,50	2,31
OLI	53	9	2,459	199,02	0,0344	61,71	0,8640	0,0162	0,0005	0,0015	0,0005	0,0178	40,97	2,46
VAL	68	6	4,701	127,98	0,0658	123,57	1,7300	0,1941	0,0060	0,0184	0,0060	0,0564	39,82	2,39
ORT	916	9	0,388	110,20	0,0054	13,72	0,1921	0,0260	0,0008	0,0025	0,0008	0,0121	18,36	1,10

Datos de todas las variables determinadas en el Estudio para la muestra integrada y para las muestras puntuales a diferentes profundidades
Primera Parte

Código MAS	Muestra	Prof (m)	Fecha	Temp (°C)	Oxig (mg/L)	Sat Oxi (%)	Cond 20º (µS/cm)	pH	Solidos (mg/L)	LOI (mg/L)	Turb 400 (UAF)	Alcalin (mM)	Clorofila (µg/L)
1	EBR	int 8 m	26/06/2017	22,71	5,35	83,19	223	8,15	2,39	0,85	2,28	1,20	2,31
1	EBR	13 m	26/06/2017	16,50	0,49	5,02	219	7,24	-	-	8,38	1,34	1,16
2	URR	int 9 m	24/07/2017	21,68	8,43	94,73	172	8,50	2,53	1,85	2,46	1,17	4,84
2	URR	3 m	24/07/2017	21,60	8,74	105,60	166	8,80	-	-	2,58	1,18	4,23
2	URR	16 m	24/07/2017	14,20	0,21	2,20	212	7,70	-	-	4,59	1,72	1,20
4	IRA	int 13 m	18/07/2017	19,76	7,35	82,63	162	7,90	2,01	1,25	1,00	1,64	3,25
4	IRA	10 m	18/07/2017	16,80	6,64	75,20	159	7,90	-	-	2,22	1,66	5,39
4	IRA	27 m	18/07/2017	8,54	0,77	9,18	247	7,10	-	-	70,75	2,36	1,15
6	EUG	int 12 m	19/07/2017	19,86	7,31	79,91	174	7,84	1,86	0,78	2,00	1,45	1,86
6	EUG	4 m	19/07/2017	22,40	8,04	99,60	170	8,06	-	-	1,76	1,45	1,92
6	EUG	10 m	19/07/2017	17,00	6,78	72,60	167	8,55	-	-	2,67	1,49	1,95
6	EUG	24 m	19/07/2017	8,15	3,33	28,23	138	7,39	-	-	2,10	1,21	0,64
6	EUG	28 m	19/07/2017	8,03	1,91	16,16	143	7,22	-	-	5,56	1,21	0,47
22	SOB	int 7 m	25/07/2017	22,76	7,69	88,04	298	8,30	3,06	1,22	3,13	1,89	9,18
22	SOB	2 m	25/07/2017	22,80	8,33	99,40	284	8,50	-	-	3,19	1,90	23,40
22	SOB	14 m	25/07/2017	17,70	0,01	0,20	338	7,80	-	-	4,83	2,33	0,96
22	SOB	26 m	25/07/2017	11,93	0,01	0,10	431	7,70	-	-	9,63	3,37	0,68
27	ALL	int 12 m	17/07/2017	20,01	8,43	91,95	833	8,10	2,95	0,60	1,91	2,59	1,34
27	ALL	9 m	17/07/2017	16,00	9,28	100,10	855	8,00	-	-	2,19	2,85	1,60
27	ALL	14 m	17/07/2017	10,30	6,41	60,60	1079	8,00	-	-	2,79	3,22	2,56
27	ALL	37 m	17/07/2017	10,38	2,76	25,69	2141	7,80	-	-	10,94	3,46	1,07

Código MAS	Muestra	Prof (m)	Fecha	Temp (°C)	Oxig (mg/L)	Sat Oxi (%)	Cond 20º (µS/cm)	pH	Solidos (mg/L)	LOI (mg/L)	Turb 400 (UAF)	Alcalin (mM)	Clorofila (µg/L)
37	YES	int 12 m	04/07/2017	21,43	8,33	93,28	253	8,15	3,27	0,80	2,22	2,16	1,68
37	YES	2 m	04/07/2017	21,70	8,60	102,90	252	8,18	-	-	2,19	2,22	1,90
37	YES	8 m	04/07/2017	21,40	8,62	102,50	252	8,13	-	-	4,65	2,23	1,81
37	YES	44 m	04/07/2017	8,70	5,11	45,00	326	7,92	-	-	15,83	2,77	0,36
44	PEÑ	int 6 m	04/07/2017	21,08	8,14	90,79	305	8,07	7,21	1,68	7,05	2,03	3,47
44	PEÑ	3 m	04/07/2017	22,90	8,83	107,20	289	8,15	-	-	7,96	1,99	6,03
44	PEÑ	14 m	04/07/2017	14,50	3,04	32,00	314	7,63	-	-	27,04	2,08	1,60
51	VAD	int 16 m	28/06/2017	18,27	9,37	98,08	314	8,10	1,61	0,72	0,67	3,09	1,05
51	VAD	7 m	28/06/2017	20,20	9,63	117,00	292	8,20	-	-	0,06	2,88	1,33
51	VAD	16 m	28/06/2017	12,00	11,06	114,10	321	8,10	-	-	1,22	3,36	2,23
51	VAD	50 m	28/06/2017	7,04	3,14	27,34	365	8,10	-	-	1,76	3,70	0,53
53	OLI	int 6 m	12/07/2017	22,79	8,81	103,74	184	8,70	4,21	2,55	4,77	1,26	14,13
53	OLI	4 m	12/07/2017	22,80	8,44	116,00	179	8,74	-	-	4,80	1,28	14,40
53	OLI	8 m	12/07/2017	22,10	7,78	94,40	182	8,43	-	-	4,04	1,29	15,03
53	OLI	38 m	12/07/2017	14,24	3,59	35,00	193	7,47	-	-	5,65	1,46	1,71
53	OLI	50 m	12/07/2017	11,49	0,49	4,47	219	7,38	-	-	4,22	1,25	11,63
56	BAR	int 11 m	08/08/2017	25,68	7,78	93,68	294	8,30	2,05	1,00	1,79	1,66	2,84
56	BAR	2 m	08/08/2017	26,70	8,27	109,00	278	8,50	2,61	1,11	1,18	1,63	2,60
56	BAR	8 m	08/08/2017	24,90	7,75	98,20	297	8,30	-	-	2,07	1,68	2,84
56	BAR	23 m	08/08/2017	21,36	5,79	64,44	270	8,10	35,50	2,41	38,40	1,77	0,90
59	TER	int 6 m	10/07/2017	18,85	8,36	89,41	169	8,20	11,64	1,37	11,33	1,26	2,13
59	TER	1 m	10/07/2017	20,40	8,62	100,90	163	8,30	-	-	5,92	1,22	2,36
59	TER	12 m	10/07/2017	15,20	6,31	65,20	180	8,00	-	-	32,99	1,50	2,05

Código MAS	Muestra	Prof (m)	Fecha	Temp (°C)	Oxig (mg/L)	Sat Oxi (%)	Cond 20º (µS/cm)	pH	Solidos (mg/L)	LOI (mg/L)	Turb 400 (UAF)	Alcalin (mM)	Clorofila (µg/L)
61	MAN	int 11 m	27/06/2017	20,61	7,60	83,91	167	8,20	1,68	0,72	1,06	1,21	1,65
61	MAN	5 m	27/06/2017	21,80	8,05	101,80	158	8,40	-	-	1,06	1,19	2,15
61	MAN	7 m	27/06/2017	20,50	7,43	90,90	168	8,30	-	-	0,97	1,21	1,84
61	MAN	26,00	27/06/2017	9,14	5,83	51,68	171	7,70	-	-	2,37	1,24	0,30
62	SOT	int 9 m	09/08/2017	23,48	7,63	88,48	362	8,03	5,36	1,50	2,34	2,19	4,58
62	SOT	5 m	09/08/2017	23,50	8,04	99,00	345	8,04	-	-	1,88	2,23	4,25
62	SOT	18 m	09/08/2017	17,00	0,00	0,00	387	7,32	-	-	4,98	2,82	1,15
63	RIA	int 9 m	07/08/2017	24,25	8,05	97,00	218	8,50	4,04	1,48	2,95	1,42	4,24
63	RIA	4 m	07/08/2017	25,80	9,09	116,60	202	8,70	-	-	3,31	1,40	5,20
63	RIA	9 m	07/08/2017	22,70	3,18	38,90	222	8,20	-	-	2,64	1,54	2,89
63	RIA	42 m	07/08/2017	14,48	4,41	43,32	223	7,90	-	-	2,07	1,67	0,38
63	RIA	50 m	07/08/2017	13,69	2,89	27,89	225	7,90	-	-	3,58	1,69	0,66
65	CAM	int 15 m	07/06/2017	16,93	9,26	95,45	189	8,07	1,33	0,59	3,40	1,87	1,76
65	CAM	12 m	07/06/2017	15,50	9,13	94,80	181	7,90	-	-	3,43	1,59	1,91
65	CAM	32 m	07/06/2017	15,15	9,09	90,50	193	7,70	-	-	2,40	2,07	0,87
65	CAM	50 m	07/06/2017	6,38	8,60	71,29	273	7,97	-	-	4,01	2,03	0,49
68	VAL	int 7 m	13/06/2017	21,23	11,35	128,00	443	8,28	6,80	4,14	2,55	2,31	26,24
68	VAL	1 m	13/06/2017	24,00	14,98	191,00	408	8,44	-	-	2,73	2,19	17,19
68	VAL	3 m	13/06/2017	21,20	13,22	164,10	419	8,32	-	-	3,22	2,35	32,77
68	VAL	33 m	13/06/2017	9,52	2,13	18,51	477	7,51	-	-	1,70	2,75	1,02
70	MEQ	int 13 m	01/08/2017	24,64	3,26	40,68	1332	7,90	2,06	1,08	1,88	2,58	3,88
70	MEQ	6 m	01/08/2017	24,90	3,78	46,20	1277	7,90	-	-	1,91	2,57	4,17
70	MEQ	9 m	01/08/2017	24,80	2,29	28,30	1382	7,90	-	-	1,61	2,56	4,34
70	MEQ	49 m	01/08/2017	14,40	0,74	9,32	1269	7,70	-	-	5,16	3,67	0,58

Código MAS	Muestra	Prof (m)	Fecha	Temp (°C)	Oxig (mg/L)	Sat Oxi (%)	Cond 20º (µS/cm)	pH	Solidos (mg/L)	LOI (mg/L)	Turb 400 (UAF)	Alcalin (mM)	Clorofila (µg/L)
71	MEZ	int 3 m	03/07/2017	18,39	8,68	96,73	504	8,50	42,60	3,78	40,37	2,10	7,65
71	MEZ	3 m	03/07/2017	18,00	8,48	93,40	506	8,50	-	-	43,41	2,61	7,93
73	CIU	int 15 m	06/06/2017	16,72	11,24	113,58	546	8,40	2,23	1,00	2,04	3,16	1,68
73	CIU	10 m	06/06/2017	13,70	14,26	145,20	513	8,40	-	-	1,37	3,08	1,17
73	CIU	15 m	06/06/2017	9,40	10,30	95,20	520	8,50	-	-	1,79	3,20	5,17
73	CIU	29 m	06/06/2017	8,26	2,10	19,13	566	7,70	-	-	6,38	3,92	1,24
74	FLI	int 8 m	01/08/2017	21,43	3,13	35,48	1085	8,00	2,42	0,71	2,61	3,03	1,93
74	FLI	9 m	01/08/2017	21,10	2,53	28,70	1092	7,80	-	-	2,86	3,03	1,87
75	TOR	int 10 m	19/06/2017	23,04	9,87	113,51	513	8,20	2,55	0,92	1,49	2,52	1,72
75	TOR	2 m	19/06/2017	25,70	8,24	107,90	499	8,20	-	-	1,55	2,28	0,94
75	TOR	11 m	19/06/2017	18,60	7,63	86,00	548	8,00	-	-	1,67	2,87	1,96
76	TRA	int 12 m	26/07/2017	24,22	8,58	104,14	643	8,30	3,00	1,85	1,79	2,57	8,45
76	TRA	5 m	26/07/2017	24,50	11,44	148,00	599	8,52	-	-	1,82	2,71	8,33
76	TRA	9 m	26/07/2017	24,00	7,70	99,30	617	8,12	-	-	1,70	2,41	2,12
76	TRA	22 m	26/07/2017	20,61	0,78	10,21	675	7,36	-	-	5,59	3,12	2,05
77	MOV	int 1,5 m	19/06/2017	25,92	5,49	72,83	1072	8,10	41,71	4,90	42,95	2,24	13,83
80	CUE	int 9 m	20/06/2017	20,44	4,66	53,80	979	7,61	3,40	1,26	2,25	3,00	3,43
80	CUE	8 m	20/06/2017	14,50	0,81	8,50	960	7,50	-	-	2,28	3,20	6,46
80	CUE	9 m	20/06/2017	13,80	0,31	3,40	964	7,50	-	-	2,28	3,27	5,77
80	CUE	12 m	20/06/2017	11,96	0,40	3,71	1021	7,62	-	-	6,59	3,55	5,32
82	CAL	int 14 m	31/07/2017	23,75	7,73	90,36	577	8,20	3,06	0,73	1,52	2,30	1,37
82	CAL	9 m	31/07/2017	22,90	7,63	93,90	541	8,10	-	-	1,64	2,42	1,79
82	CAL	13 m	31/07/2017	21,60	5,61	67,50	571	7,90	-	-	2,13	2,82	1,94
82	CAL	33 m	31/07/2017	17,19	2,13	21,86	625	7,70	-	-	11,18	2,86	0,48

Código MAS	Muestra	Prof (m)	Fecha	Temp (°C)	Oxig (mg/L)	Sat Oxi (%)	Cond 20º (µS/cm)	pH	Solidos (mg/L)	LOI (mg/L)	Turb 400 (UAF)	Alcalin (mM)	Clorofila (µg/L)
86	ITO	int 13 m	18/07/2017	21,44	8,11	90,85	198	8,37	2,34	0,89	3,10	1,92	2,53
86	ITO	5 m	18/07/2017	22,70	8,38	103,60	188	8,45	-	-	1,31	1,90	2,97
86	ITO	11 m	18/07/2017	18,60	7,05	80,40	197	8,13	-	-	1,15	1,97	2,11
86	ITO	42 m	18/07/2017	7,14	6,11	51,91	224	7,62	-	-	5,56	2,22	0,84
87	LEC	int 7 m	12/06/2017	21,25	7,53	85,29	1552	8,10	4,45	1,61	3,07	1,98	4,00
87	LEC	9 m	12/06/2017	13,00	0,04	0,50	1602	7,70	-	-	3,55	2,71	15,35
87	LEC	12 m	12/06/2017	11,10	0,01	0,10	1603	7,70	-	-	8,72	2,46	4,88
913	GAL	int 6 m	20/06/2017	24,20	7,83	92,40	555	8,00	6,44	1,73	5,50	2,96	3,91
913	GAL	4 m	20/06/2017	24,40	7,79	99,50	532	7,97	-	-	3,80	2,84	3,72
913	GAL	13 m	20/06/2017	13,30	0,02	0,20	561	7,70	-	-	10,36	3,58	1,56
916	ORT	int 9 m	24/07/2017	22,03	7,98	90,11	130	8,30	1,55	0,84	1,43	0,91	1,18
916	ORT	2 m	24/07/2017	22,70	7,85	101,30	125	8,40	-	-	1,22	0,92	1,65
916	ORT	10 m	24/07/2017	14,10	7,20	78,00	133	7,90	-	-	1,43	0,95	2,49
916	ORT	25 m	24/07/2017	7,20	4,37	37,59	149	7,50	-	-	2,98	1,14	1,25
949	RIB	int 6m	02/08/2017	24,67	8,14	96,57	925	7,99	4,47	2,89	3,61	2,54	13,17
949	RIB	1 m	02/08/2017	25,00	9,57	115,90	884	8,13	-	-	3,37	2,64	18,14
949	RIB	9 m	02/08/2017	24,40	7,19	87,00	892	7,82	-	-	3,07	2,59	7,31
949	RIB	28 m	02/08/2017	19,80	0,99	10,90	1228	7,36	-	-	4,47	3,25	1,96
1022	EST	int 4 m	31/07/2017	25,70	7,21	93,03	620	8,20	6,05	1,90	3,55	2,37	4,76
1022	EST	4 m	31/07/2017	23,70	3,46	42,70	626	8,00	-	-	6,17	2,53	10,42
1053	LLA	int 28 m	11/07/2017	10,33	9,41	84,69	54	7,90	0,66	0,49	0,76	0,60	0,68
1053	LLA	23 m	11/07/2017	8,61	9,91	86,04	52	7,80	-	-	2,04	0,39	0,98
1053	LLA	39 m	11/07/2017	7,67	9,91	84,33	54	7,70	-	-	0,94	0,49	1,50
1053	LLA	50 m	11/07/2017	6,35	9,21	76,19	66	7,60	-	-	0,64	0,49	0,60

Código MAS	Muestra	Prof (m)	Fecha	Temp (°C)	Oxig (mg/L)	Sat Oxi (%)	Cond 20º (µS/cm)	pH	Solidos (mg/L)	LOI (mg/L)	Turb 400 (UAF)	Alcalin (mM)	Clorofila (µg/L)
1681	MON	int 6 m	21/06/2017	23,80	6,59	77,26	864	7,84	5,21	1,13	4,01	2,35	1,37
1681	MON	5 m	21/06/2017	22,00	4,98	62,10	867	7,74	-	-	4,92	2,36	1,50
1681	MON	7 m	21/06/2017	20,50	0,86	13,20	872	7,42	-	-	6,23	2,51	1,78
RIO823	MAE	int 12 m	14/06/2017	18,28	7,97	88,40	428	8,20	2,76	1,91	1,58	1,86	6,93
RIO823	MAE	2 m	14/06/2017	24,20	9,90	128,00	375	8,35	2,61	2,54	0,85	1,40	4,73
RIO823	MAE	9 m	14/06/2017	14,20	3,83	42,20	431	7,90	-	-	1,70	2,04	10,43
RIO823	MAE	12 m	14/06/2017	12,10	2,51	25,00	439	7,79	-	-	1,40	2,26	6,30
RIO823	MAE	29 m	14/06/2017	8,92	0,45	3,93	470	7,54	-	-	5,26	2,55	2,49
1	EBR	int 7 m	22/09/2017	17,31	8,26	85,75	227	8,00	3,39	1,33	3,19	1,32	9,71
1	EBR	4 m	22/09/2017	17,40	8,38	96,80	225	8,30	-	-	2,52	1,34	10,95
1	EBR	12 m	22/09/2017	16,30	5,67	63,00	223	7,70	-	-	8,41	1,30	4,24
22	SOB	int 9 m	23/09/2017	18,07	5,79	55,56	322	7,75	2,15	0,66	2,76	2,09	3,56
22	SOB	1,5 m	23/09/2017	18,25	6,01	31,76	317	7,80	-	-	2,43	2,09	5,15
22	SOB	15 m	23/09/2017	17,30	5,41	56,61	352	7,70	-	-	5,56	2,42	3,57
22	SOB	26 m	23/09/2017	12,58	0,77	9,49	444	7,47	-	-	8,84	3,86	1,16
53	OLI	int 9 m	13/09/2017	20,90	6,33	69,92	294	7,77	2,93	1,91	2,19	1,99	5,96
53	OLI	3 m	13/09/2017	20,90	6,31	73,90	281	7,79	-	-	1,76	2,03	6,44
53	OLI	22 m	13/09/2017	19,67	3,08	33,73	330	7,42	-	-	3,10	2,26	1,87
53	OLI	38 m	13/09/2017	12,10	0,42	3,95	238	3,95	-	-	24,03	1,96	3,16



Código MAS	Muestra	Prof (m)	Fecha	Temp (°C)	Oxig (mg/L)	Sat Oxi (%)	Cond 20° (µS/cm)	pH	Solidos (mg/L)	LOI (mg/L)	Turb 400 (UAF)	Alcalin (mM)	Clorofila (µg/L)
68	VAL	int 6 m	12/09/2017	20,94	7,17	81,93	403	8,10	8,41	7,53	3,86	1,28	86,13
68	VAL	3 m	12/09/2017	20,90	8,60	105,20	402	8,50	-	-	5,92	1,29	85,02
68	VAL	7 m	12/09/2017	20,60	5,74	69,10	404	8,20	-	-	3,28	1,28	95,96
68	VAL	27 m	12/09/2017	16,48	0,76	9,64	475	7,70	-	-	9,39	2,37	3,88
916	ORT	int 9 m	21/09/2017	17,41	7,32	87,00	136	8,10	6,02	0,80	2,61	1,10	1,41
916	ORT	2 m	21/09/2017	17,70	8,47	99,40	137	8,20	-	-	2,31	1,10	0,93
916	ORT	8 m	21/09/2017	17,00	7,79	90,00	137	8,30	-	-	2,61	1,10	1,70
916	ORT	14 m	21/09/2017	11,90	1,99	20,10	133	7,60	-	-	4,86	1,13	3,29

Datos de todas las variables determinadas en el Estudio para la muestra integrada y para las muestras puntuales a diferentes profundidades
Segunda Parte

Código MAS	Muestra	Prof (m)	Fecha	Nitrato (μ M)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (μ M)	Nitrito (mg/L)	NIO (mg N/L)	Amonio (μ M)	Amonio (mg N/L)	Ntot (μ M)	Ntot (mg N/L)
1	EBR	int 8 m	26/06/2017	23,0	1,426	0,399	0,018	0,328	1,811	0,025	31,990	0,448
1	EBR	13 m	26/06/2017	22,0	1,364	1,158	0,053	0,324	6,011	0,084	39,330	0,551
2	URR	int 9 m	24/07/2017	19,0	1,178	0,351	0,016	0,271	0,797	0,011	32,191	0,451
2	URR	3 m	24/07/2017	19,0	1,178	0,345	0,016	0,271	0,054	0,001	47,796	0,669
2	URR	16 m	24/07/2017	39,0	2,418	0,031	0,001	0,546	0,499	0,007	49,944	0,699
4	IRA	int 13 m	18/07/2017	7,1	0,443	0,145	0,007	0,102	1,986	0,028	22,945	0,321
4	IRA	10 m	18/07/2017	10,3	0,642	0,156	0,007	0,147	1,465	0,021	22,024	0,308
4	IRA	27 m	18/07/2017	0,0	0,000	0,283	0,013	0,004	112,586	1,576	115,661	1,619
6	EUG	int 12 m	19/07/2017	6,0	0,372	0,162	0,007	0,086	1,811	0,025	20,078	0,281
6	EUG	4 m	19/07/2017	5,5	0,341	0,154	0,007	0,079	0,975	0,014	20,645	0,289
6	EUG	10 m	19/07/2017	9,0	0,556	0,164	0,008	0,128	1,754	0,025	22,172	0,310
6	EUG	24 m	19/07/2017	26,0	1,612	0,029	0,001	0,364	0,614	0,009	30,640	0,429
6	EUG	28 m	19/07/2017	23,0	1,426	0,057	0,003	0,323	6,428	0,090	33,063	0,463
22	SOB	int 7 m	25/07/2017	16,0	0,992	0,671	0,031	0,233	1,084	0,015	36,604	0,512
22	SOB	2 m	25/07/2017	11,7	0,728	0,667	0,031	0,174	0,363	0,005	47,926	0,671
22	SOB	14 m	25/07/2017	34,0	2,108	0,263	0,012	0,480	0,537	0,008	48,638	0,681
22	SOB	26 m	25/07/2017	35,0	2,170	0,243	0,011	0,493	27,486	0,385	65,084	0,911
27	ALL	int 12 m	17/07/2017	114,0	7,068	0,899	0,041	1,609	0,702	0,010	117,492	1,645
27	ALL	9 m	17/07/2017	116,0	7,192	0,742	0,034	1,634	0,696	0,010	118,550	1,660
27	ALL	14 m	17/07/2017	126,0	7,812	0,344	0,016	1,769	0,619	0,009	125,007	1,750
27	ALL	37 m	17/07/2017	99,0	6,138	1,670	0,077	1,409	2,187	0,031	97,869	1,370

Código MAS	Muestra	Prof (m)	Fecha	Nitrato (µM)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (µM)	Nitrito (mg/L)	NIO (mg N/L)	Amonio (µM)	Amonio (mg N/L)	Ntot (µM)	Ntot (mg N/L)
37	YES	int 12 m	04/07/2017	20,0	1,240	0,253	0,012	0,284	0,953	0,013	28,588	0,400
37	YES	2 m	04/07/2017	20,0	1,240	0,246	0,011	0,283	1,797	0,025	28,588	0,400
37	YES	8 m	04/07/2017	21,0	1,302	0,242	0,011	0,297	1,067	0,015	30,970	0,434
37	YES	44 m	04/07/2017	39,0	2,418	0,228	0,010	0,549	0,702	0,010	48,837	0,684
44	PEÑ	int 6 m	04/07/2017	14,0	0,868	0,444	0,020	0,202	1,622	0,023	27,754	0,389
44	PEÑ	3 m	04/07/2017	13,0	0,806	0,388	0,018	0,187	1,416	0,020	25,791	0,361
44	PEÑ	14 m	04/07/2017	16,0	0,992	0,649	0,030	0,233	7,257	0,102	35,863	0,502
51	VAD	int 16 m	28/06/2017	0,9	0,058	0,053	0,002	0,014	0,215	0,003	10,890	0,152
51	VAD	7 m	28/06/2017	1,0	0,064	0,029	0,001	0,015	0,441	0,006	11,942	0,167
51	VAD	16 m	28/06/2017	1,1	0,070	0,014	0,001	0,016	0,210	0,003	12,382	0,173
51	VAD	50 m	28/06/2017	15,0	0,930	0,217	0,010	0,213	4,915	0,069	34,358	0,481
53	OLI	int 6 m	12/07/2017	14,0	0,868	1,043	0,048	0,211	0,223	0,003	35,269	0,494
53	OLI	4 m	12/07/2017	19,0	1,178	1,135	0,052	0,282	0,943	0,013	40,177	0,562
53	OLI	8 m	12/07/2017	16,0	0,992	1,451	0,067	0,244	1,404	0,020	36,655	0,513
53	OLI	38 m	12/07/2017	47,0	2,914	0,122	0,006	0,660	0,352	0,005	55,302	0,774
53	OLI	50 m	12/07/2017	11,0	0,682	0,950	0,044	0,167	0,373	0,005	31,142	0,436
56	BAR	int 11 m	08/08/2017	34,0	2,108	0,336	0,015	0,481	1,281	0,018	39,971	0,560
56	BAR	2 m	08/08/2017	33,0	2,046	0,408	0,019	0,468	0,665	0,009	38,965	0,546
56	BAR	8 m	08/08/2017	34,0	2,108	0,357	0,016	0,481	1,399	0,020	39,346	0,551
56	BAR	23 m	08/08/2017	30,0	1,860	0,693	0,032	0,430	3,008	0,042	35,919	0,503
59	TER	int 6 m	10/07/2017	16,0	0,992	0,364	0,017	0,229	0,855	0,012	24,875	0,348
59	TER	1 m	10/07/2017	14,0	0,868	0,364	0,017	0,201	0,570	0,008	28,096	0,393
59	TER	12 m	10/07/2017	19,0	1,178	0,718	0,033	0,276	3,871	0,054	34,447	0,482

Código MAS	Muestra	Prof (m)	Fecha	Nitrato (µM)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (µM)	Nitrito (mg/L)	NIO (mg N/L)	Amonio (µM)	Amonio (mg N/L)	Ntot (µM)	Ntot (mg N/L)
61	MAN	int 11 m	27/06/2017	15,0	0,930	0,471	0,022	0,217	3,417	0,048	28,117	0,394
61	MAN	5 m	27/06/2017	18,0	1,116	0,379	0,017	0,257	2,947	0,041	31,328	0,439
61	MAN	7 m	27/06/2017	19,0	1,178	0,385	0,018	0,271	4,347	0,061	27,392	0,383
61	MAN	26,00	27/06/2017	50,0	3,100	0,209	0,010	0,703	1,889	0,026	57,222	0,801
62	SOT	int 9 m	09/08/2017	26,0	1,612	0,812	0,037	0,375	1,115	0,016	38,330	0,537
62	SOT	5 m	09/08/2017	26,0	1,612	0,860	0,040	0,376	0,966	0,014	40,370	0,565
62	SOT	18 m	09/08/2017	24,0	1,488	1,330	0,061	0,355	5,286	0,074	37,369	0,523
63	RIA	int 9 m	07/08/2017	9,0	0,560	0,570	0,026	0,134	1,535	0,021	26,844	0,376
63	RIA	4 m	07/08/2017	7,9	0,491	0,513	0,024	0,118	1,312	0,018	28,847	0,404
63	RIA	9 m	07/08/2017	19,0	1,178	0,884	0,041	0,278	3,839	0,054	32,455	0,454
63	RIA	42 m	07/08/2017	44,0	2,728	0,074	0,003	0,617	0,796	0,011	45,356	0,635
63	RIA	50 m	07/08/2017	46,0	2,852	0,230	0,011	0,647	0,936	0,013	46,200	0,647
65	CAM	int 15 m	07/06/2017	16,0	0,992	0,218	0,010	0,227	0,712	0,010	23,334	0,327
65	CAM	12 m	07/06/2017	15,0	0,930	0,224	0,010	0,213	0,982	0,014	26,947	0,377
65	CAM	32 m	07/06/2017	35,0	2,170	0,077	0,004	0,491	1,424	0,020	43,034	0,602
65	CAM	50 m	07/06/2017	23,0	1,426	0,077	0,004	0,323	1,780	0,025	30,214	0,423
68	VAL	int 7 m	13/06/2017	118,0	7,316	2,597	0,119	1,688	2,973	0,042	562,178	7,870
68	VAL	1 m	13/06/2017	114,0	7,068	2,236	0,103	1,627	1,510	0,021	162,898	2,281
68	VAL	3 m	13/06/2017	118,0	7,316	2,463	0,113	1,686	0,954	0,013	175,106	2,451
68	VAL	33 m	13/06/2017	130,0	8,060	0,718	0,033	1,830	59,867	0,838	162,477	2,275
70	MEQ	int 13 m	01/08/2017	116,0	7,192	1,718	0,079	1,648	2,438	0,034	131,375	1,839
70	MEQ	6 m	01/08/2017	116,0	7,192	1,815	0,083	1,649	1,769	0,025	135,817	1,901
70	MEQ	9 m	01/08/2017	112,0	6,944	1,860	0,086	1,594	3,165	0,044	130,921	1,833
70	MEQ	49 m	01/08/2017	78,0	4,836	1,041	0,048	1,107	21,811	0,305	104,358	1,461

Código MAS	Muestra	Prof (m)	Fecha	Nitrato (µM)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (µM)	Nitrito (mg/L)	NIO (mg N/L)	Amonio (µM)	Amonio (mg N/L)	Ntot (µM)	Ntot (mg N/L)
71	MEZ	int 3 m	03/07/2017	91,0	5,642	2,172	0,100	1,304	6,212	0,087	120,713	1,690
71	MEZ	3 m	03/07/2017	89,0	5,518	2,101	0,097	1,275	6,952	0,097	124,661	1,745
73	CIU	int 15 m	06/06/2017	1,0	0,063	0,106	0,005	0,016	5,086	0,071	18,915	0,265
73	CIU	10 m	06/06/2017	0,9	0,054	0,029	0,001	0,013	5,055	0,071	16,500	0,231
73	CIU	15 m	06/06/2017	4,3	0,266	0,194	0,009	0,063	2,670	0,037	36,272	0,508
73	CIU	29 m	06/06/2017	20,0	1,240	0,373	0,017	0,285	4,501	0,063	40,567	0,568
74	FLI	int 8 m	01/08/2017	135,0	8,370	2,704	0,124	1,928	2,707	0,038	140,259	1,964
74	FLI	9 m	01/08/2017	133,0	8,246	2,749	0,126	1,900	2,891	0,040	142,072	1,989
75	TOR	int 10 m	19/06/2017	282,0	17,484	1,921	0,088	3,975	1,161	0,016	332,543	4,656
75	TOR	2 m	19/06/2017	280,0	17,360	2,425	0,112	3,954	1,606	0,022	333,184	4,665
75	TOR	11 m	19/06/2017	282,0	17,484	1,564	0,072	3,970	1,241	0,017	319,506	4,473
76	TRA	int 12 m	26/07/2017	80,0	4,960	1,677	0,077	1,143	2,943	0,041	123,032	1,722
76	TRA	5 m	26/07/2017	77,0	4,774	1,304	0,060	1,096	0,764	0,011	113,393	1,588
76	TRA	9 m	26/07/2017	83,0	5,146	1,641	0,075	1,185	4,297	0,060	101,229	1,417
76	TRA	22 m	26/07/2017	59,0	3,658	7,575	0,348	0,932	11,440	0,160	86,974	1,218
77	MOV	int 1,5 m	19/06/2017	2,2	0,137	0,575	0,026	0,039	6,982	0,098	73,632	1,031
80	CUE	int 9 m	20/06/2017	29,0	1,798	0,983	0,045	0,420	11,459	0,160	67,957	0,951
80	CUE	8 m	20/06/2017	15,0	0,930	1,063	0,049	0,225	19,388	0,271	59,900	0,839
80	CUE	9 m	20/06/2017	15,0	0,930	0,910	0,042	0,223	20,421	0,286	56,042	0,785
80	CUE	12 m	20/06/2017	2,0	0,124	0,096	0,004	0,029	30,368	0,425	62,091	0,869
82	CAL	int 14 m	31/07/2017	65,0	4,030	0,544	0,025	0,918	1,548	0,022	74,395	1,042
82	CAL	9 m	31/07/2017	63,0	3,906	0,427	0,020	0,888	1,980	0,028	69,608	0,975
82	CAL	13 m	31/07/2017	68,0	4,216	0,462	0,021	0,958	3,112	0,044	73,543	1,030
82	CAL	33 m	31/07/2017	62,0	3,844	0,125	0,006	0,870	0,948	0,013	66,408	0,930

Código MAS	Muestra	Prof (m)	Fecha	Nitrato (µM)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (µM)	Nitrito (mg/L)	NIO (mg N/L)	Amonio (µM)	Amonio (mg N/L)	Ntot (µM)	Ntot (mg N/L)
86	ITO	int 13 m	18/07/2017	16,0	0,992	0,463	0,021	0,230	0,722	0,010	23,305	0,326
86	ITO	5 m	18/07/2017	11,6	0,720	0,287	0,013	0,167	0,397	0,006	20,214	0,283
86	ITO	11 m	18/07/2017	16,0	0,992	1,106	0,051	0,239	1,161	0,016	25,401	0,356
86	ITO	42 m	18/07/2017	31,0	1,922	0,047	0,002	0,435	0,758	0,011	34,439	0,482
87	LEC	int 7 m	12/06/2017	47,0	2,914	0,940	0,043	0,671	2,131	0,030	73,139	1,024
87	LEC	9 m	12/06/2017	24,0	1,488	2,465	0,113	0,371	25,661	0,359	77,601	1,086
87	LEC	12 m	12/06/2017	4,0	0,248	0,102	0,005	0,057	80,013	1,120	73,475	1,029
913	GAL	int 6 m	20/06/2017	19,0	1,178	0,553	0,025	0,274	2,359	0,033	43,508	0,609
913	GAL	4 m	20/06/2017	20,0	1,240	0,485	0,022	0,287	1,549	0,022	43,166	0,604
913	GAL	13 m	20/06/2017	16,0	0,992	3,141	0,144	0,268	23,419	0,328	61,578	0,862
916	ORT	int 9 m	24/07/2017	2,7	0,169	0,014	0,001	0,038	0,011	0,000	10,040	0,141
916	ORT	2 m	24/07/2017	1,1	0,071	0,033	0,002	0,016	0,005	0,000	12,026	0,168
916	ORT	10 m	24/07/2017	4,4	0,275	0,114	0,005	0,064	0,016	0,000	15,230	0,213
916	ORT	25 m	24/07/2017	26,0	1,612	0,124	0,006	0,366	0,835	0,012	28,751	0,403
949	RIB	int 6m	02/08/2017	122,0	7,564	2,827	0,130	1,748	2,717	0,038	145,699	2,040
949	RIB	1 m	02/08/2017	122,0	7,564	2,798	0,129	1,747	2,212	0,031	142,526	1,995
949	RIB	9 m	02/08/2017	123,0	7,626	2,886	0,133	1,762	5,919	0,083	141,619	1,983
949	RIB	28 m	02/08/2017	118,0	7,316	2,958	0,136	1,693	9,910	0,139	133,460	1,868
1022	EST	int 4 m	31/07/2017	26,0	1,612	0,659	0,030	0,373	2,075	0,029	43,298	0,606
1022	EST	4 m	31/07/2017	18,0	1,116	0,723	0,033	0,262	10,068	0,141	58,158	0,814
1053	LLA	int 28 m	11/07/2017	16,0	0,992	0,114	0,005	0,226	0,653	0,009	18,601	0,260
1053	LLA	23 m	11/07/2017	17,0	1,054	0,225	0,010	0,241	0,907	0,013	17,758	0,249
1053	LLA	39 m	11/07/2017	17,0	1,054	0,055	0,003	0,239	0,715	0,010	19,780	0,277
1053	LLA	50 m	11/07/2017	19,0	1,178	0,044	0,002	0,267	1,021	0,014	19,519	0,273

Código MAS	Muestra	Prof (m)	Fecha	Nitrato (µM)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (µM)	Nitrito (mg/L)	NIO (mg N/L)	Amonio (µM)	Amonio (mg N/L)	Ntot (µM)	Ntot (mg N/L)
1681	MON	int 6 m	21/06/2017	29,0	1,798	0,693	0,032	0,416	4,429	0,062	62,796	0,879
1681	MON	5 m	21/06/2017	33,0	2,046	0,632	0,029	0,471	3,775	0,053	73,097	1,023
1681	MON	7 m	21/06/2017	25,0	1,550	0,757	0,035	0,361	9,066	0,127	62,775	0,879
RIO823	MAE	int 12 m	14/06/2017	111,0	6,882	1,095	0,050	1,569	1,753	0,025	147,954	2,071
RIO823	MAE	2 m	14/06/2017	101,0	6,262	1,107	0,051	1,429	2,360	0,033	132,484	1,855
RIO823	MAE	9 m	14/06/2017	120,0	7,440	1,036	0,048	1,694	0,986	0,014	162,477	2,275
RIO823	MAE	12 m	14/06/2017	124,0	7,688	1,266	0,058	1,754	5,375	0,075	161,319	2,258
RIO823	MAE	29 m	14/06/2017	95,0	5,890	2,412	0,111	1,364	4,786	0,067	132,063	1,849
1	EBR	int 7 m	22/09/2017	1,2	0,073	0,169	0,008	0,019	0,348	0,005	35,704	0,500
1	EBR	4 m	22/09/2017	1,1	0,067	0,048	0,002	0,016	0,565	0,008	31,252	0,438
1	EBR	12 m	22/09/2017	1,8	0,112	0,169	0,008	0,028	5,129	0,072	30,639	0,429
22	SOB	int 9 m	23/09/2017	8,6	0,533	0,411	0,019	0,126	6,622	0,093	35,624	0,499
22	SOB	1,5 m	23/09/2017	9,8	0,606	0,288	0,013	0,141	5,764	0,081	36,181	0,507
22	SOB	15 m	23/09/2017	14,0	0,868	0,309	0,014	0,200	7,807	0,109	43,471	0,609
22	SOB	26 m	23/09/2017	3,0	0,186	0,153	0,007	0,044	68,067	0,953	85,670	1,199
53	OLI	int 9 m	13/09/2017	35,0	2,170	0,912	0,042	0,503	2,459	0,034	61,711	0,864
53	OLI	3 m	13/09/2017	35,0	2,170	1,176	0,054	0,506	2,237	0,031	61,788	0,865
53	OLI	22 m	13/09/2017	45,0	2,790	1,720	0,079	0,654	10,975	0,154	80,410	1,126
53	OLI	38 m	13/09/2017	2,0	0,124	0,383	0,018	0,033	61,749	0,864	96,608	1,353

Código MAS	Muestra	Prof (m)	Fecha	Nitrato (μ M)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (μ M)	Nitrito (mg/L)	NIO (mg N/L)	Amonio (μ M)	Amonio (mg N/L)	Ntot (μ M)	Ntot (mg N/L)
68	VAL	int 6 m	12/09/2017	62,0	3,844	3,218	0,148	0,913	4,701	0,066	123,570	1,730
68	VAL	3 m	12/09/2017	59,0	3,658	3,261	0,150	0,872	4,033	0,056	147,565	2,066
68	VAL	7 m	12/09/2017	60,0	3,720	3,311	0,152	0,886	4,894	0,069	127,170	1,780
68	VAL	27 m	12/09/2017	70,0	4,340	0,279	0,013	0,984	34,360	0,481	128,369	1,797
916	ORT	int 9 m	21/09/2017	1,0	0,063	0,138	0,006	0,016	0,388	0,005	13,721	0,192
916	ORT	2 m	21/09/2017	1,2	0,071	0,030	0,001	0,017	0,035	0,000	17,621	0,247
916	ORT	8 m	21/09/2017	1,1	0,066	0,128	0,006	0,017	0,499	0,007	15,672	0,219
916	ORT	14 m	21/09/2017	6,4	0,396	0,091	0,004	0,091	0,000	0,000	17,971	0,252

Datos de todas las variables determinadas en el Estudio para la muestra integrada y para las muestras puntuales a diferentes profundidades
Tercera Parte

Código MAS	Muestra	Prof (m)	Fecha	Psol (μM)	Psol (mg P/L)	Ptot (μM)	Ptot (mg P/L)	Silicato (μM)	Silicato (mg SiO₂/L)
1	EBR	int 8 m	26/06/2017	0,057	0,0018	0,431	0,0134	21,187	1,271
1	EBR	13 m	26/06/2017	0,125	0,0039	0,672	0,0208	59,600	3,576
2	URR	int 9 m	24/07/2017	0,053	0,0016	0,394	0,0122	40,734	2,444
2	URR	3 m	24/07/2017	0,042	0,0013	0,405	0,0126	42,344	2,541
2	URR	16 m	24/07/2017	0,011	0,0003	0,333	0,0103	84,086	5,045
4	IRA	int 13 m	18/07/2017	0,011	0,0003	0,275	0,0085	27,656	1,659
4	IRA	10 m	18/07/2017	0,037	0,0011	0,264	0,0082	28,669	1,720
4	IRA	27 m	18/07/2017	0,021	0,0007	0,776	0,0241	84,317	5,059
6	EUG	int 12 m	19/07/2017	0,016	0,0005	0,176	0,0055	32,171	1,930
6	EUG	4 m	19/07/2017	0,005	0,0002	0,655	0,0203	30,652	1,839
6	EUG	10 m	19/07/2017	0,011	0,0003	0,534	0,0166	35,545	2,133
6	EUG	24 m	19/07/2017	0,037	0,0011	0,138	0,0043	65,776	3,947
6	EUG	28 m	19/07/2017	0,011	0,0003	0,154	0,0048	71,639	4,298
22	SOB	int 7 m	25/07/2017	0,085	0,0026	0,893	0,0277	62,806	3,768
22	SOB	2 m	25/07/2017	0,138	0,0043	1,315	0,0408	60,265	3,616
22	SOB	14 m	25/07/2017	0,308	0,0095	0,671	0,0208	83,371	5,002
22	SOB	26 m	25/07/2017	0,839	0,0260	2,335	0,0724	76,352	4,581
27	ALL	int 12 m	17/07/2017	0,032	0,0010	0,094	0,0029	13,614	0,817
27	ALL	9 m	17/07/2017	0,026	0,0008	0,154	0,0048	16,652	0,999
27	ALL	14 m	17/07/2017	0,026	0,0008	0,116	0,0036	39,098	2,346
27	ALL	37 m	17/07/2017	0,037	0,0011	0,314	0,0097	66,420	3,985

Código MAS	Muestra	Prof (m)	Fecha	Psol (μ M)	Psol (mg P/L)	Ptot (μ M)	Ptot (mg P/L)	Silicato (μ M)	Silicato (mg SiO ₂ /L)
37	YES	int 12 m	04/07/2017	0,011	0,0003	0,072	0,0022	31,859	1,912
37	YES	2 m	04/07/2017	0,011	0,0003	0,089	0,0028	32,685	1,961
37	YES	8 m	04/07/2017	0,005	0,0002	0,061	0,0019	33,025	1,982
37	YES	44 m	04/07/2017	0,026	0,0008	0,290	0,0090	63,743	3,825
44	PEÑ	int 6 m	04/07/2017	0,016	0,0005	0,429	0,0133	56,781	3,407
44	PEÑ	3 m	04/07/2017	0,016	0,0005	0,607	0,0188	53,538	3,212
44	PEÑ	14 m	04/07/2017	0,037	0,0011	0,724	0,0224	56,219	3,373
51	VAD	int 16 m	28/06/2017	0,016	0,0005	0,078	0,0024	45,415	2,725
51	VAD	7 m	28/06/2017	0,031	0,0010	0,151	0,0047	43,046	2,583
51	VAD	16 m	28/06/2017	0,037	0,0011	0,191	0,0059	48,085	2,885
51	VAD	50 m	28/06/2017	0,037	0,0011	0,084	0,0026	70,693	4,242
53	OLI	int 6 m	12/07/2017	0,033	0,0010	0,705	0,0219	38,516	2,311
53	OLI	4 m	12/07/2017	0,033	0,0010	0,755	0,0234	37,648	2,259
53	OLI	8 m	12/07/2017	0,044	0,0014	0,661	0,0205	42,803	2,568
53	OLI	38 m	12/07/2017	1,237	0,0383	1,632	0,0506	96,226	5,774
53	OLI	50 m	12/07/2017	0,071	0,0022	0,489	0,0151	39,384	2,363
56	BAR	int 11 m	08/08/2017	0,000	0,0000	0,257	0,0080	52,992	3,180
56	BAR	2 m	08/08/2017	0,037	0,0011	0,140	0,0043	51,310	3,079
56	BAR	8 m	08/08/2017	0,005	0,0002	0,204	0,0063	53,346	3,201
56	BAR	23 m	08/08/2017	0,011	0,0003	2,013	0,0624	63,254	3,795
59	TER	int 6 m	10/07/2017	0,060	0,0019	0,444	0,0138	75,761	4,546
59	TER	1 m	10/07/2017	0,049	0,0015	0,400	0,0124	74,128	4,448
59	TER	12 m	10/07/2017	0,065	0,0020	0,910	0,0282	77,247	4,635

Código MAS	Muestra	Prof (m)	Fecha	Psol (μ M)	Psol (mg P/L)	Ptot (μ M)	Ptot (mg P/L)	Silicato (μ M)	Silicato (mg SiO ₂ /L)
61	MAN	int 11 m	27/06/2017	0,084	0,0026	0,387	0,0120	55,802	3,348
61	MAN	5 m	27/06/2017	0,052	0,0016	0,482	0,0149	49,420	2,965
61	MAN	7 m	27/06/2017	0,089	0,0028	0,291	0,0090	60,358	3,621
61	MAN	26,00	27/06/2017	0,199	0,0062	0,392	0,0122	97,013	5,821
62	SOT	int 9 m	09/08/2017	0,000	0,0000	0,449	0,0139	51,949	3,117
62	SOT	5 m	09/08/2017	0,000	0,0000	0,438	0,0136	53,430	3,206
62	SOT	18 m	09/08/2017	0,021	0,0007	0,338	0,0105	74,366	4,462
63	RIA	int 9 m	07/08/2017	0,042	0,0013	0,700	0,0217	5,383	0,323
63	RIA	4 m	07/08/2017	0,037	0,0011	0,933	0,0289	4,433	0,266
63	RIA	9 m	07/08/2017	0,042	0,0013	0,531	0,0165	11,507	0,690
63	RIA	42 m	07/08/2017	0,190	0,0059	0,286	0,0089	76,704	4,602
63	RIA	50 m	07/08/2017	0,769	0,0238	1,050	0,0326	96,884	5,813
65	CAM	int 15 m	07/06/2017	0,005	0,0002	0,160	0,0050	67,219	4,033
65	CAM	12 m	07/06/2017	0,005	0,0002	0,183	0,0057	68,489	4,109
65	CAM	32 m	07/06/2017	0,026	0,0008	0,206	0,0064	79,511	4,771
65	CAM	50 m	07/06/2017	0,037	0,0011	0,251	0,0078	78,647	4,719
68	VAL	int 7 m	13/06/2017	0,293	0,0091	1,265	0,0392	11,151	0,669
68	VAL	1 m	13/06/2017	0,293	0,0091	1,103	0,0342	6,027	0,362
68	VAL	3 m	13/06/2017	0,309	0,0096	1,625	0,0504	8,624	0,517
68	VAL	33 m	13/06/2017	1,851	0,0574	1,985	0,0615	37,248	2,235
70	MEQ	int 13 m	01/08/2017	0,072	0,0022	0,680	0,0211	49,105	2,946
70	MEQ	6 m	01/08/2017	0,165	0,0051	0,888	0,0275	41,719	2,503
70	MEQ	9 m	01/08/2017	0,067	0,0021	0,658	0,0204	48,851	2,931
70	MEQ	49 m	01/08/2017	5,009	0,1553	6,866	0,2129	111,781	6,707

Código MAS	Muestra	Prof (m)	Fecha	Psol (μ M)	Psol (mg P/L)	Ptot (μ M)	Ptot (mg P/L)	Silicato (μ M)	Silicato (mg SiO ₂ /L)
71	MEZ	int 3 m	03/07/2017	0,079	0,0025	1,688	0,0523	177,365	10,642
71	MEZ	3 m	03/07/2017	0,079	0,0025	1,704	0,0528	88,240	5,294
73	CIU	int 15 m	06/06/2017	0,026	0,0008	0,320	0,0099	47,451	2,847
73	CIU	10 m	06/06/2017	0,016	0,0005	0,280	0,0087	51,272	3,076
73	CIU	15 m	06/06/2017	0,063	0,0020	0,269	0,0083	56,152	3,369
73	CIU	29 m	06/06/2017	0,069	0,0021	0,743	0,0230	109,401	6,564
74	FLI	int 8 m	01/08/2017	0,854	0,0265	1,278	0,0396	96,892	5,814
74	FLI	9 m	01/08/2017	1,086	0,0337	1,289	0,0400	97,551	5,853
75	TOR	int 10 m	19/06/2017	0,058	0,0018	0,061	0,0019	30,528	1,832
75	TOR	2 m	19/06/2017	0,037	0,0011	0,000	0,0000	25,543	1,533
75	TOR	11 m	19/06/2017	0,042	0,0013	0,094	0,0029	42,137	2,528
76	TRA	int 12 m	26/07/2017	0,021	0,0007	0,643	0,0199	87,995	5,280
76	TRA	5 m	26/07/2017	0,037	0,0012	0,732	0,0227	88,150	5,289
76	TRA	9 m	26/07/2017	0,021	0,0007	0,771	0,0239	92,077	5,525
76	TRA	22 m	26/07/2017	0,308	0,0095	0,987	0,0306	117,344	7,041
77	MOV	int 1,5 m	19/06/2017	0,074	0,0023	4,485	0,1390	168,738	10,124
80	CUE	int 9 m	20/06/2017	0,037	0,0011	1,313	0,0407	67,037	4,022
80	CUE	8 m	20/06/2017	0,105	0,0033	1,103	0,0342	83,168	4,990
80	CUE	9 m	20/06/2017	0,074	0,0023	1,037	0,0321	86,669	5,200
80	CUE	12 m	20/06/2017	0,142	0,0044	1,831	0,0568	103,778	6,227
82	CAL	int 14 m	31/07/2017	0,057	0,0018	0,197	0,0061	62,676	3,761
82	CAL	9 m	31/07/2017	0,041	0,0013	0,203	0,0063	62,279	3,737
82	CAL	13 m	31/07/2017	0,026	0,0008	0,165	0,0051	77,328	4,640
82	CAL	33 m	31/07/2017	0,046	0,0014	0,411	0,0128	106,666	6,400

Código MAS	Muestra	Prof (m)	Fecha	Psol (μ M)	Psol (mg P/L)	Ptot (μ M)	Ptot (mg P/L)	Silicato (μ M)	Silicato (mg SiO ₂ /L)
86	ITO	int 13 m	18/07/2017	0,026	0,0008	0,127	0,0039	16,463	0,988
86	ITO	5 m	18/07/2017	0,021	0,0007	0,314	0,0097	14,172	0,850
86	ITO	11 m	18/07/2017	0,032	0,0010	0,171	0,0053	20,051	1,203
86	ITO	42 m	18/07/2017	0,016	0,0005	0,341	0,0106	53,931	3,236
87	LEC	int 7 m	12/06/2017	0,228	0,0071	0,406	0,0126	214,683	12,881
87	LEC	9 m	12/06/2017	0,282	0,0088	0,998	0,0309	248,397	14,904
87	LEC	12 m	12/06/2017	0,261	0,0081	1,172	0,0363	258,662	15,520
913	GAL	int 6 m	20/06/2017	0,021	0,0007	0,618	0,0192	18,756	1,125
913	GAL	4 m	20/06/2017	0,026	0,0008	0,667	0,0207	16,174	0,970
913	GAL	13 m	20/06/2017	0,090	0,0028	0,728	0,0226	73,120	4,387
916	ORT	int 9 m	24/07/2017	0,048	0,0015	0,183	0,0057	40,734	2,444
916	ORT	2 m	24/07/2017	0,027	0,0008	0,244	0,0076	42,155	2,529
916	ORT	10 m	24/07/2017	0,021	0,0007	0,272	0,0084	51,679	3,101
916	ORT	25 m	24/07/2017	0,058	0,0018	0,272	0,0084	74,294	4,458
949	RIB	int 6m	02/08/2017	0,021	0,0006	0,987	0,0306	102,328	6,140
949	RIB	1 m	02/08/2017	0,088	0,0027	1,064	0,0330	104,362	6,262
949	RIB	9 m	02/08/2017	0,190	0,0059	0,938	0,0291	105,164	6,310
949	RIB	28 m	02/08/2017	1,565	0,0485	2,095	0,0649	99,137	5,948
1022	EST	int 4 m	31/07/2017	0,010	0,0003	0,461	0,0143	81,481	4,889
1022	EST	4 m	31/07/2017	0,082	0,0026	1,097	0,0340	151,972	9,118
1053	LLA	int 28 m	11/07/2017	0,071	0,0022	0,078	0,0024	50,553	3,033
1053	LLA	23 m	11/07/2017	0,065	0,0020	0,105	0,0033	49,204	2,952
1053	LLA	39 m	11/07/2017	0,054	0,0017	0,078	0,0024	51,842	3,111
1053	LLA	50 m	11/07/2017	0,163	0,0051	0,178	0,0055	58,741	3,524

Código MAS	Muestra	Prof (m)	Fecha	Psol (μ M)	Psol (mg P/L)	Ptot (μ M)	Ptot (mg P/L)	Silicato (μ M)	Silicato (mg SiO ₂ /L)
1681	MON	int 6 m	21/06/2017	0,032	0,0010	0,353	0,0109	82,945	4,977
1681	MON	5 m	21/06/2017	0,042	0,0013	0,287	0,0089	80,825	4,850
1681	MON	7 m	21/06/2017	0,090	0,0028	0,458	0,0142	103,228	6,194
RIO823	MAE	int 12 m	14/06/2017	0,201	0,0062	0,250	0,0077	13,644	0,819
RIO823	MAE	2 m	14/06/2017	0,223	0,0069	0,331	0,0103	8,511	0,511
RIO823	MAE	9 m	14/06/2017	0,266	0,0082	0,371	0,0115	11,238	0,674
RIO823	MAE	12 m	14/06/2017	0,190	0,0059	0,203	0,0063	24,247	1,455
RIO823	MAE	29 m	14/06/2017	0,185	0,0057	0,598	0,0185	58,204	3,492
1	EBR	int 7 m	22/09/2017	0,078	0,0024	0,724	0,0225	14,414	0,865
1	EBR	4 m	22/09/2017	0,052	0,0016	0,686	0,0213	13,978	0,839
1	EBR	12 m	22/09/2017	0,218	0,0068	1,235	0,0383	25,798	1,548
22	SOB	int 9 m	23/09/2017	0,203	0,0063	0,571	0,0177	38,500	2,310
22	SOB	1,5 m	23/09/2017	0,145	0,0045	0,582	0,0180	38,851	2,331
22	SOB	15 m	23/09/2017	0,171	0,0053	0,823	0,0255	43,396	2,604
22	SOB	26 m	23/09/2017	0,296	0,0092	2,360	0,0732	99,084	5,945
53	OLI	int 9 m	13/09/2017	0,016	0,0005	0,575	0,0178	40,967	2,458
53	OLI	3 m	13/09/2017	0,022	0,0007	0,674	0,0209	40,307	2,418
53	OLI	22 m	13/09/2017	0,474	0,0147	1,122	0,0348	62,420	3,745
53	OLI	38 m	13/09/2017	3,402	0,1055	9,910	0,3072	124,962	7,498
1681	MON	int 6 m	21/06/2017	0,032	0,0010	0,353	0,0109	82,945	4,977
1681	MON	5 m	21/06/2017	0,042	0,0013	0,287	0,0089	80,825	4,850
1681	MON	7 m	21/06/2017	0,090	0,0028	0,458	0,0142	103,228	6,194
RIO823	MAE	int 12 m	14/06/2017	0,201	0,0062	0,250	0,0077	13,644	0,819
RIO823	MAE	2 m	14/06/2017	0,223	0,0069	0,331	0,0103	8,511	0,511
RIO823	MAE	9 m	14/06/2017	0,266	0,0082	0,371	0,0115	11,238	0,674



68	VAL	int 6 m	12/09/2017	0,194	0,0060	1,818	0,0564	39,820	2,389
68	VAL	3 m	12/09/2017	0,054	0,0017	3,244	0,1006	39,707	2,382
68	VAL	7 m	12/09/2017	0,054	0,0017	2,100	0,0651	39,707	2,382
68	VAL	27 m	12/09/2017	2,717	0,0842	5,311	0,1646	64,758	3,886
916	ORT	int 9 m	21/09/2017	0,026	0,0008	0,390	0,0121	18,360	1,102
916	ORT	2 m	21/09/2017	0,036	0,0011	0,357	0,0111	18,933	1,136
916	ORT	8 m	21/09/2017	0,026	0,0008	0,351	0,0109	18,266	1,096
916	ORT	14 m	21/09/2017	0,062	0,0019	0,692	0,0214	52,580	3,155

Estos datos junto con los valores de los perfiles verticales a cada metro de profundidad, más los correspondientes a los recuentos de las especies del fitoplancton y del zooplancton, también se encuentran en un fichero informatizado de Access de Microsoft en el formato de intercambio establecido denominado "Labexter".



10. ANEXO 2: MATRIZ DE CORRELACIONES ENTRE LAS VARIABLES ESTUDIADAS, INDICANDO SU NIVEL DE SIGNIFICACIÓN





	ProfInteg	Cota	VolMax	SupLam	ProfMax	ProfMed	SupCuen	ProfMues	VolMues	PorcEmb	Tperm	TempZF	Dsecchi	ZFotPAR	Zanox	OxEpi	OxHipo	Cond	pH	Solidos	LOI	Turb400	Clorofila	Alcalin	Nitrato	Nitrito	NIO	Amonio	Ntot	Psol	Ptot	Silicato		
ProfInteg	1,000																																	
Cota	0,181	1,000																																
VolMax	0,340	-0,233	1,000																															
SupLam	0,101	-0,424	0,925	1,000																														
ProfMax	0,596	0,173	0,435	0,154	1,000																													
ProfMed	0,392	0,323	0,275	0,114	0,434	1,000																												
SupCuen	-0,087	-0,667	0,460	0,579	0,144	0,000	1,000																											
ProfMues	0,849	0,065	0,567	0,291	0,730	0,402	0,132	1,000																										
VolMues	0,464	-0,234	0,947	0,843	0,400	0,263	0,395	0,706	1,000																									
PorcEmb	0,486	-0,255	0,289	0,199	0,120	-0,030	0,131	0,631	0,555	1,000																								
Tperm	-0,118	0,502	-0,014	-0,035	-0,151	0,185	-0,177	-0,057	-0,016	-0,240	1,000																							
TempZF	-0,500	-0,410	0,195	0,360	-0,226	-0,175	0,406	-0,342	0,089	-0,155	0,069	1,000																						
Dsecchi	0,908	0,088	0,256	0,052	0,472	0,169	-0,130	0,760	0,400	0,534	-0,175	0,404	1,000																					
ZFotPAR	0,509	-0,030	0,328	0,240	0,314	0,234	0,019	0,455	0,377	0,257	-0,170	-0,380	0,540	1,000																				
Zanox	0,135	-0,141	0,266	0,263	0,272	0,026	0,324	0,287	0,253	0,107	0,089	0,181	0,166	0,043	1,000																			
OxEpi	0,138	0,573	-0,178	-0,269	-0,050	0,308	-0,447	0,044	-0,117	-0,098	0,344	-0,262	-0,023	-0,124	-0,342	1,000																		
OxHipo	0,085	0,141	-0,097	-0,153	-0,148	0,094	-0,329	-0,061	-0,044	-0,003	-0,108	-0,318	-0,005	0,009	-0,866	0,437	1,000																	
Cond	-0,423	-0,491	-0,146	0,042	-0,242	-0,198	0,395	-0,438	-0,277	-0,364	0,089	0,554	-0,353	-0,292	0,197	-0,348	-0,382	1,000																
pH	0,238	0,238	-0,049	-0,099	0,028	0,023	-0,253	0,101	-0,019	0,088	-0,036	-0,381	0,273	-0,081	0,036	0,226	0,052	-0,306	1,000															
Solidos	-0,910	-0,099	-0,320	-0,136	-0,520	-0,307	0,074	-0,758	-0,442	-0,520	0,211	0,395	-0,953	-0,549	-0,127	0,000	-0,009	0,383	-0,239	1,000														
LOI	-0,748	-0,089	-0,183	-0,058	-0,301	-0,295	0,083	-0,506	-0,288	-0,400	0,153	0,397	-0,693	-0,543	0,293	0,016	-0,349	0,340	0,027	0,764	1,000													
Turb400	-0,868	-0,170	-0,250	-0,060	-0,489	-0,226	0,180	-0,700	-0,359	-0,451	0,151	0,260	-0,903	-0,371	-0,201	-0,065	0,068	0,280	-0,230	0,905	0,643	1,000												
Clorofila	-0,602	-0,196	0,073	0,206	-0,137	-0,244	0,261	-0,304	-0,039	-0,279	0,113	0,437	-0,533	-0,411	0,515	-0,107	-0,526	0,318	-0,003	0,545	0,892	0,482	1,000											
Alcalin	-0,210	-0,485	-0,160	-0,031	-0,156	-0,039	0,322	-0,220	-0,209	-0,179	0,021	0,492	-0,216	-0,389	0,090	-0,214	-0,182	0,805	-0,332	0,229	0,157	0,136	0,152	1,000										
Nitrato	0,005	-0,367	0,112	0,213	0,022	-0,066	0,388	-0,039	0,062	-0,035	-0,106	0,233	0,004	0,044	0,317	-0,134	-0,289	0,412	-0,017	0,003	0,125	-0,044	0,235	0,191	1,000									
Nitrito	-0,398	-0,509	0,047	0,210	-0,121	-0,223	0,523	-0,305	-0,069	-0,192	-0,146	0,510	-0,373	-0,277	0,328	-0,261	-0,396	0,631	-0,100	0,368	0,505	0,311	0,584	0,387	0,809	1,000								
NIO	-0,051	-0,390	0,098	0,204	-0,005	-0,086	0,449	-0,079	0,044	0,002	-0,201	0,259	-0,070	-0,055	0,297	-0,131	-0,263	0,437	-0,032	0,065	0,174	0,027	0,267	0,220	0,953	0,862	1,000							
Amonio	-0,534	-0,197	-0,244	-0,083	-0,270	-0,133	0,234	-0,513	-0,375	-0,444	0,018	0,354	-0,457	-0,181	0,280	-0,213	-0,445	0,543	-0,169	0,456	0,524	0,439	0,540	0,330	0,346	0,631	0,382	1,000						
Ntot	-0,303	-0,370	-0,099	0,025	-0,086	-0,250	0,375	-0,288	-0,208	-0,290	-0,054	0,367	-0,263	-0,301	0,323	-0,188	-0,329	0,666	-0,092	0,306	0,461	0,195	0,498	0,420	0,818	0,897	0,848	0,550	1,000					
Psol	-0,120	-0,034	-0,097	-0,017	-0,051	-0,437	0,068	-0,187	-0,148	-0,032	-0,084	0,023	-0,107	-0,085	0,161	-0,176	-0,209	0,118	0,191	0,117	0,092	0,038	0,143	-0,078	0,065	0,272	0,161	0,181	0,184	1,000				
Ptot	-0,074	0,021	-0,072	-0,007	-0,040	-0,366	0,027	-0,131	-0,094	0,027	-0,051	0,027	-0,076	-0,070	0,176	-0,090	-0,189	0,053	0,171	0,076	0,054	0,000	0,119	-0,065	-0,018	0,180	0,083	0,126	0,080	0,973	1,000			
Silicato	-0,734	-0,343	-0,122	0,075	-0,352	-0,472	0,253	-0,561	-0,260	-0,387	-0,025	0,387	-0,614	-0,306	0,273	-0,366	-0,454	0,436	-0,080	0,651	0,733	0,639	0,742	0,181	0,062	0,495	0,087	0,713	0,348	0,308	0,234	1,000		

n=35	valor de r
p>0,05	0,335 -0,335
p>0,02	0,392 -0,392
p>0,01	0,430 -0,430
p>0,002	0,506 -0,506
p>0,001	0,533 -0,533

