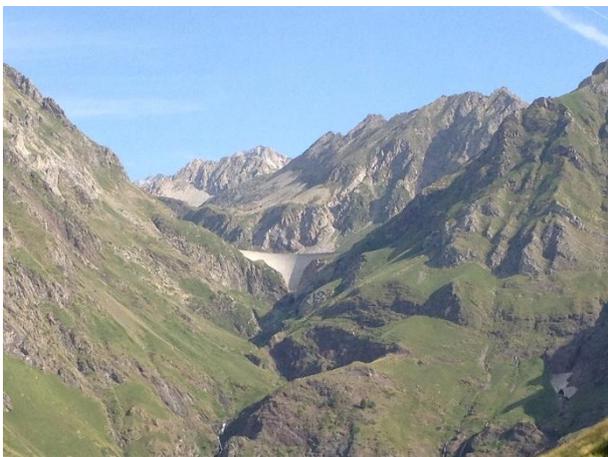


## RED DE SEGUIMIENTO DE MASAS DE AGUA MUY MODIFICADAS

### MEMORIA





## RED DE SEGUIMIENTO DE MASAS DE AGUA MUY MODIFICADAS

**PROMOTOR:**

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO



**SERVICIO:**

CONTROL DEL ESTADO ECOLÓGICO

**DIRECCIÓN DEL PROYECTO:**

Concha Durán Lalaguna 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:**

70.590,38 €

**CONTENIDO:**

MEMORIA DEL INFORME

**AÑO DE EJECUCIÓN:**

2015

**FECHA ENTREGA:**

DICIEMBRE 2015

## **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 (Técnico Superior de campo y gabinete)

María Dolores Sendra (Técnico Superior de campo y determinación y recuento de fitoplancton)

Olga Kramer (Técnico de laboratorio)

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

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

M<sup>a</sup> Rosa Miracle (Catedrática de Ecología. Validación taxonomía del zooplancton)

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

## REFERENCIA FOTOS PORTADA:

Superior izquierda: Vista general de la Presa de Llauset.

Superior derecha: Vista desde el punto de muestreo de la presa del embalse de Yesa.

Inferior izquierda: Embarcación y equipamiento de muestreo en el embalse de La Tranquera.

Inferior derecha: Vista de la cola del embalse de Escarra.

CITA DEL DOCUMENTO: Confederación Hidrográfica del Ebro (2015). Red de seguimiento de masas de agua muy modificadas en la Demarcación Hidrográfica del Ebro. 208 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.

## RED DE SEGUIMIENTO DE MASAS DE AGUA MUY MODIFICADAS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO

El informe presenta los resultados del estudio de embalses de la cuenca del Ebro para la campaña del año 2015. Su objetivo principal es la clasificación del *potencial ecológico* de las masas de agua consideradas, en cumplimiento de la DMA. Para ello, se muestrearon 35 embalses durante el verano de 2015. 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.

## MONITORING NETWORK OF VERY MODIFIED WATER BODIES IN EBRO BASIN

The report presents the results of the study of reservoirs in the Ebro basin for the 2015 campaign. Its main objective is the classification of the ecological potential of water bodies considered in compliance with the WFD. To this end, 35 reservoirs were sampled during the summer of 2015. 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, in order 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
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. ANTECEDENTES .....	1
1.2. ORGANIZACIÓN DEL ESTUDIO .....	2
<b>2. ASPECTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>3</b>
2.1. EMBALSES ESTUDIADOS. DESIGNACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO.....	3
2.2. VARIABLES CONSIDERADAS.....	7
2.3. TRABAJOS DE CAMPO.....	13
2.4. ANÁLISIS EN LABORATORIO.....	18
2.5. SISTEMA DE PRESENTACIÓN GRÁFICA DE RESULTADOS .....	22
<b>3. CLASIFICACIÓN DE LOS EMBALSES.....</b>	<b>23</b>
<b>4. CARACTERÍSTICAS HIDROMORFOLÓGICAS, FISICOQUÍMICAS Y BIOLÓGICAS.28</b>	
4.1. CARACTERÍSTICAS HIDROMORFOLÓGICAS .....	28
4.2. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS .....	36
4.3. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS.....	85
4.4. ANÁLISIS MULTIVARIANTE .....	106
<b>5. ESTADO TRÓFICO .....</b>	<b>112</b>
5.1. INTRODUCCIÓN .....	112
5.2. ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	112
5.3. CATALOGACIÓN TRÓFICA FINAL.....	117
<b>6. POTENCIAL ECOLÓGICO .....</b>	<b>122</b>
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
<b>7. RESUMEN – CONCLUSIONES.....</b>	<b>161</b>
<b>8. PROPUESTA DE MEDIDAS CORRECTORAS .....</b>	<b>171</b>
<b>9. REFERENCIAS.....</b>	<b>176</b>
<b>10. ANEXO 1: TABLAS DE DATOS.....</b>	<b>183</b>
<b>11. ANEXO 2: MATRIZ DE CORRELACIONES ENTRE LAS VARIABLES ESTUDIADAS, INDICANDO SU NIVEL DE SIGNIFICACIÓN .....</b>	<b>205</b>

## ÍNDICE DE ANEJOS

<b>Anejo 1. TABLAS DE DATOS.....</b>	<b>182</b>
<b>Anejo 2. MATRIZ DE CORRELACIÓN MULTIVARIANTE.....</b>	<b>205</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica de los embalses muestreados en 2015. Códigos según la Tabla 1. ....	6
Figura 2. Localización geográfica de los embalses estudiados en 2015 indicando su tipología.....	25
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. 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. ....	27
Figura 4. Distribución de la capacidad (hm <sup>3</sup> ) de los embalses estudiados en 2015.....	28
Figura 5. Superficie total (ha) de los embalses estudiados en 2015. ....	29
Figura 6. Profundidad máxima (m) de los embalses estudiados en 2015. ....	30
Figura 7. Extensión de la cuenca vertiente (km <sup>2</sup> ) de los embalses estudiados en 2015.....	31
Figura 8. Tiempo de renovación de los embalses estudiados en 2015. ....	32
Figura 9. Hidroperiodo de los embalses estudiados en 2015. ....	33
Figura 10. Profundidad de visión del Disco de Secchi (m) y de la Zona Fótica medida por PAR en los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 7. ....	37
Figura 11. Conductividad media de la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 7. ....	38
Figura 12. Profundidad de visión del Disco de Secchi (m) y de la Zona Fótica medida por PAR en los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 9. ....	39
Figura 13. Conductividad media de la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 9. ....	40
Figura 14. Profundidad de visión del Disco de Secchi (m) y de la Zona Fótica medida por PAR en los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 10. ....	41
Figura 15. Conductividad media de la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 10. ....	42
Figura 16. Profundidad de visión del Disco de Secchi (m) y de la Zona Fótica medida por PAR en los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 11. ....	43
Figura 17. Conductividad media de la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 11. ....	44
Figura 18. Profundidad de visión del Disco de Secchi (m) y de la Zona Fótica medida por PAR en los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 12. ....	45
Figura 19. Conductividad media de la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 12. ....	46

Figura 20. Profundidad de visión del Disco de Secchi (m) y de la Zona Fóptica medida por PAR en los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 13. ....	47
Figura 21. Conductividad media de la Zona Fóptica de los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 13. ....	48
Figura 22. Transparencia (DS) para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Tipos: 1: silíceo / húmedo / cabecera / frío; 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. ....	49
Figura 23. Valores de temperatura (media en la zona fóptica) para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 22. ....	50
Figura 24. Regresión lineal de la temperatura (media zona fóptica) frente a la altitud (en la presa). ....	51
Figura 25. Perfiles de temperatura para los embalses de Llauset (izquierda) y Ribarroja (derecha) en 2015. ....	51
Figura 26. Valores de pH (media de la zona fóptica) para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 22. ....	52
Figura 27. Perfiles verticales de oxígeno, temperatura, Clorofila a y pH para los embalses de Guiamets (arriba) e Irabia (abajo), en la campaña de 2015. ....	53
Figura 28. Valores de conductividad media (zona fóptica) para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 22. ....	54
Figura 29. Perfiles de conductividad, temperatura, Clorofila a y oxígeno para los embalses de Escarra en la parte superior, y Maidevera en la parte inferior, durante la campaña de 2015. ....	56
Figura 30. Valores de alcalinidad para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 22. ....	57
Figura 31. 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 22. ....	58
Figura 32. Relación entre la turbidez en la zona fóptica (UAF) y la transparencia (disco de Secchi (m)). Se indica la curva y la ecuación de regresión, así como el valor de $R^2$ . ....	59
Figura 33. Estimaciones de la calidad de los embalses según el grado de oxigenación en 2015. ....	62
Figura 34. Concentraciones de oxígeno disuelto hipolimnético o de la columna para los diferentes tipos de embalses del ESTUDIO. Tipología de embalses: 1: silíceo / húmedo / cabecera / frío; 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. ....	63
Figura 35. Valores de Fósforo total y soluble en la Zona Fóptica de los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 7. ....	65
Figura 36. Valores de N Total indicando Nitrógeno Inorgánico Oxidado (NIO), Amonio y N orgánico en la Zona Fóptica de los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 7. ....	66
Figura 37. Valores de Fósforo total y soluble en la Zona Fóptica de los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 9. ....	67
Figura 38. Valores de N Total indicando Nitrógeno Inorgánico Oxidado (NIO), Amonio y N orgánico en la Zona Fóptica de los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 9. ....	68
Figura 39. Valores de Fósforo total y soluble en la Zona Fóptica de los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 10. ....	69
Figura 40. Valores de N Total indicando Nitrógeno Inorgánico Oxidado (NIO), Amonio y N orgánico en la Zona Fóptica de los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 10. ....	70
Figura 41. Valores de Fósforo total y soluble en la Zona Fóptica de los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 11. ....	71
Figura 42. Valores de N Total indicando Nitrógeno Inorgánico Oxidado (NIO), Amonio y N orgánico en la Zona Fóptica de los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 11. ....	71
Figura 43. Valores de Fósforo soluble y total en la Zona Fóptica de los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 12. ....	73
Figura 44. Valores de N Total indicando Nitrógeno Inorgánico Oxidado (NIO), Amonio y N orgánico en la	

Zona Fótica de los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 12. ....	74
Figura 45. Valores de Fósforo total y soluble en la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 13. ....	75
Figura 46. Valores de N Total indicando Nitrógeno Inorgánico Oxidado (NIO), Amonio y N orgánico en la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 13. ....	75
Figura 47. 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: 1: silíceo / húmedo / cabecera / frío; 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. ....	78
Figura 48. 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 47. ....	79
Figura 49. 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 47. ....	80
Figura 50. 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 47. ....	81
Figura 51. 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 47. ....	83
Figura 52. 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 47. ....	84
Figura 53. Riqueza de especies de fitoplancton para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Tipos: 1: silíceo / húmedo / cabecera / frío; 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. ....	86
Figura 54. 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 53. ....	87
Figura 55. Biovolumen del fitoplancton para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 53. ....	88
Figura 56. 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 53. ....	89
Figura 57. 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 53. ....	90
Figura 58. Riqueza de especies para cada grupo fitoplanctónico para los embalses del tipo 1 (LAN) y tipo 13 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse. ....	91
Figura 59. Riqueza de especies para cada grupo fitoplanctónico para los diferentes embalses del tipo 7 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse. ....	91
Figura 60. Riqueza de especies para cada grupo fitoplanctónico para los diferentes embalses del tipo 9 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse. ....	92
Figura 61. Riqueza de especies para cada grupo fitoplanctónico para los diferentes embalses del tipo 10 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse. ....	92
Figura 62. Riqueza de especies para cada grupo fitoplanctónico para los diferentes embalses del tipo 11 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse. ....	93
Figura 63. Riqueza de especies para cada grupo fitoplanctónico para los diferentes embalses del tipo 12 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse. ....	93
Figura 64. Densidad celular (en células por mililitro) de los grupos de algas fitoplanctónicas en los embalses del ESTUDIO. Abreviaturas de los embalses según su nombre. ....	94
Figura 65. Biovolumen del fitoplancton (en mm <sup>3</sup> por litro) de los grupos de algas fitoplanctónicas en los embalses del ESTUDIO de. Abreviaturas de los embalses según su nombre. ....	95
Figura 66. 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.....	96
Figura 67. Riqueza de especies de zooplancton para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Tipos: 1: silíceo / húmedo / cabecera / frío; 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. ....	98
Figura 68. 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 67. ....	99
Figura 69. Biomasa del zooplancton para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 67.....	100
Figura 70. 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 67.....	101
Figura 71. Densidad del zooplancton para cada grupo zooplanctónico para los embalses del tipo 1 (LAN) y tipo 13 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 7 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 9 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.....	103
Figura 74. Densidad del zooplancton para cada grupo zooplanctónico en los distintos embalses del tipo 10 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.....	103
Figura 75. Densidad del zooplancton para cada grupo zooplanctónico en los distintos embalses del tipo 11 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.....	104
Figura 76. Densidad del zooplancton para cada grupo zooplanctónico en los distintos embalses del tipo 12 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.....	104
Figura 77. Representación de la posición de las variables estudiadas en los embalses en 2015 frente a los ejes principales 1 y 2 del análisis multivariante PCA.....	106
Figura 78. Representación de la posición de las variables estudiadas en los embalses en 2015 frente a los ejes principales 1 y 3 del análisis multivariante PCA.....	107
Figura 79. Agrupación de las distancias euclídeas entre los embalses según las variables estudiadas en ellos en 2015 en base al análisis multivariante PCA.....	108
Figura 80. Representación, en la gráfica superior, de la posición de los embalses estudiados en 2015 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 81. Representación, en la parte superior, de la posición de los embalses estudiados en 2015 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 82. Clasificación trófica de los embalses mediante las diferentes variables y el estado trófico global final.....	118
Figura 83. Clasificación de los embalses según su Estado Trófico en 2015. ....	119
Figura 84. 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 85. 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 86. Evaluación de la calidad en embalses mediante los parámetros físico-químicos.....	147
Figura 87. 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 2015).....	148
Figura 88. Evaluación de la calidad mediante los parámetros del fitoplancton. ....	150

Figura 89. Evaluación de calidad mediante el parámetro de zooplancton ZRTI. ....	151
Figura 90. Proporción de clases de potencial ecológico evaluadas mediante el indicador biológico y mediante el <i>IPE</i> , tras aplicar los umbrales del indicador fisicoquímico, según el esquema de la figura 85. ....	152
Figura 91. Mapa de clasificación del Potencial Ecológico ( <i>PEexp</i> ) de los embalses en 2015. ....	154
Figura 92. Clasificación del potencial ecológico de los embalses según el <i>PEexp</i> por tipos de embalse. ....	155
Figura 93. Clasificación del potencial ecológico según los parámetros de la aproximación normativa. .	157
Figura 94. Clasificación del potencial ecológico final según la aproximación normativa <i>PEnorm</i> y la aproximación experimental, <i>PEexp</i> . (Para ver las metodologías de cálculo, ir a la sección 6.3 a y b). ..	158
Figura 95. Mapa de clasificación del Potencial Ecológico ( <i>PEnorm</i> ) de los embalses en 2015.....	159
Figura 96. Mapa de clasificación del Estado Trófico y del Potencial Ecológico ( <i>PEexp</i> y <i>PEnorm</i> ) de los embalses en 2015. ....	160

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Embalses seleccionados para el muestreo de 2015.....	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 2015 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. ....	61
Tabla 9. Concentración de nutrientes en los embalses estudiados en 2015.....	64
Tabla 10. Número de especies encontradas en 2015 por grupo fitoplanctónico.....	85
Tabla 11. Proporción entre grupos del zooplancton en la muestra cuantitativa y en la cualitativa mediante red. ....	97
Tabla 12. Abundancia de <i>Dreissena polymorpha</i> en los embalses estudiados en 2015.....	105
Tabla 13. Niveles de calidad según la concentración de fósforo total. ....	113
Tabla 14. Niveles de calidad según la clorofila <i>a</i> y la densidad algal del fitoplancton.....	114
Tabla 15. Niveles de calidad según la transparencia.....	116
Tabla 16. Resumen de los parámetros indicadores de estado trófico. ....	117
Tabla 17. Valor numérico asignado a cada clase de estado trófico.....	117
Tabla 18. Diagnóstico del estado trófico en 2015. ....	120
Tabla 19. Parámetros candidatos para la determinación del potencial ecológico. ....	125
Tabla 20. Clases de potencial ecológico según la densidad algal del fitoplancton. ....	126
Tabla 21. Clases de potencial ecológico según el biovolumen algal del fitoplancton.....	127
Tabla 22. Clases de potencial ecológico según la concentración de clorofila <i>a</i> . ....	127
Tabla 23. Clases de potencial ecológico según el índice <i>Assemblage Index Q</i> . ....	128
Tabla 24. Clases de potencial ecológico según el índice PTI.....	129
Tabla 25. Clases de potencial ecológico según el índice TI. ....	129
Tabla 26. Clases de potencial ecológico según el índice PRTI. ....	130
Tabla 27. Clases de potencial ecológico según el índice ZRTI. ....	131
Tabla 28. Clases de potencial ecológico según el RCE del biovolumen algal del fitoplancton. ....	132
Tabla 29. Clases de potencial ecológico según el RCE de la concentración de clorofila <i>a</i> . ....	133
Tabla 30. Clases de potencial ecológico según el RCE del Índice de Grupos Algales (IGA). ....	134
Tabla 31. Clases de potencial ecológico según el RCE de la densidad relativa de cianobacterias.....	134
Tabla 32. Clases de potencial ecológico según la profundidad de visión del Disco de Secchi. ....	135
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.....	136
Tabla 34. Clases de potencial ecológico según la concentración de fósforo total.....	137
Tabla 35. Parámetros y límites de clase para los diferentes indicadores considerados. ....	140
Tabla 36. Ejemplo teórico de aplicación de la metodología.....	140
Tabla 37. Combinación de los indicadores para el cálculo del Potencial Ecológico.....	142
Tabla 38. Ratios de calidad según el índice de potencial ecológico normativo <i>IPEnorm</i> .....	145

Tabla 39. Valores de referencia propios del tipo ( $VR_i$ ) y límites de cambio de clase de potencial ecológico (B <sup>+</sup> /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.....	146
Tabla 40. Valor del indicador fisicoquímico a partir de la calidad otorgada por las variables consideradas.....	150
Tabla 41. Establecimiento del potencial ecológico (aproximación experimental) (MPE: máximo potencial ecológico; AS.FUN: asegura el funcionamiento del ecosistema; NO AS.FUN: no asegura el funcionamiento del ecosistema).....	153
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 $PE_{norm}$ .....	156

## 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 2015 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 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” y que en el año 2014 se tituló “Explotación de la Red de seguimiento en Embalses en aplicación de la Directiva Marco del Agua en la Cuenca del Ebro”. Para el año 2015, se ha llevado a cabo el estudio titulado “**Red de seguimiento de masas de agua muy modificadas**” (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 2015. 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.

- Documentos o informes individuales de embalses: por cada uno de los embalses estudiados y muestreados en 2015, se presenta un documento donde se pueden consultar, de forma individual, los resultados obtenidos para cada masa de agua. Se incluye su reportaje fotográfico.

- Documento “Fichas resumen”, donde se recogen, en forma de ficha, las características generales de cada embalse y los resultados obtenidos, con el fin de facilitar una consulta rápida y sencilla de los diferentes embalses.

- Base de datos “Labexter” con todos los parámetros recopilados y exigidos en el *Manual de Usuario Labexter Biológico (Versión 3 de agosto de 2015)*.

Toda la documentación generada se presenta 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 2015, 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, para la selección y designación de las estaciones de muestreo, que se incluye en dicha tabla, se ha establecido una única estación de muestreo representativa en la zona de la presa correspondiente a la banda de máxima profundidad, a una distancia de la presa variable, normalmente comprendida entre 100 y 300 m, para evitar posibles perturbaciones.

En el embalse de Balaguer (BAL) y Cavallers (CAV) se tomaron las muestras desde la presa debido a que el acceso a la lámina de agua era imposible desde las márgenes, mientras que en el embalse de Sallente (SAL), la muestra se tomó desde la margen izquierda del embalse debido a la fuerte variación del nivel del agua que provoca el vaciado y llenado diario de este embalse.

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 los embalses estudiados se completó una campaña de muestreo durante el verano del año 2015, desde principios de junio hasta principios de agosto (ver fechas en tabla 1).

**Tabla 1.** Embalses seleccionados para el muestreo de 2015.

CÓDIGO MAS	NOMBRE DEL EMBALSE	CODIGO	FECHA MUESTREO	PROVINCIA	RIO	PROPIETARIO / OBSERVACIONES
EB0000001	Embalse del Ebro	EBR	24/06/2015	Burgos-Cantabria	Ebro	C.H.E.
EB0000004	Embalse de Irabia	IRA	23/06/2015	Navarra	Irati	E.H.N.
EB0000005	Embalse de Albiña	ALB	23/06/2015	Álava	Albiña	AGUAS MUNICIPALES DE VITORIA
EB0000019	Embalse de Lanuza	LAN	20/07/2015	Huesca	Gallego	C.H.E.
EB0000022	Embalse de Sobrón	SOB	29/07/2015	Álava-Burgos	Ebro	IBERDROLA
EB0000025	Embalse de Búbal	BUB	21/07/2015	Huesca	Gallego	C.H.E.
EB0000027	Embalse de Alloz	ALL	01/07/2015	Navarra	Salado	C.H.E.
EB0000037	Embalse de Yesa	YES	30/06/2015	Navarra	Aragón	C.H.E.
EB0000044	Embalse de La Peña	PEÑ	30/06/2015	Huesca	Gallego	S.R. DE LA PEÑA
EB0000045	Embalse de Sopeira	SOP	14/07/2015	Huesca	Noguera-Ribagorzana	
EB0000053	Embalse de Oliana	OLI	06/07/2015	Lérida	Segre	C.H.E.
EB0000059	Embalse de Terradets	TER	16/06/2015	Lérida	Noguera-Pallaresa	FECSA
EB0000062	Embalse de Sotонера	SOT	28/07/2015	Huesca	Astón-Sotón	C.H.E.
EB0000063	Embalse de Rialb	RIA	27/07/2015	Lérida	Segre	C.H.E.
EB0000067	Embalse de San Lorenzo	SLO	28/07/2015	Lérida	Segre	HIDROELÉCTRICA DEL NOGUERA
EB0000068	Embalse de El Val	VAL	29/06/2015	Zaragoza	Val	C.H.E.
EB0000070	Embalse de Mequinenza	MEQ	03/08/2015	Zaragoza	Ebro	C.H.E.
EB0000071	Embalse de Mezalocha	MEZ	09/06/2015	Zaragoza	Huerta	S.R. DE MEZALOCHA
EB0000072	Embalse de Margalef	MAR	17/06/2015	Tarragona	Montserrat	COMUNIDAD AUTÓNOMA
EB0000074	Embalse de Flix	FLI	04/08/2015	Tarragona	Ebro	ENDESA GENERACIÓN
EB0000076	Embalse de La Tranquera	TRA	22/07/2015	Zaragoza	Piedra	C.H.E.
EB0000078	Embalse de Caspe	CAS	05/08/2015	Zaragoza	Guadalope	C.H.E.
EB0000079	Embalse de Guiamets	GUI	16/06/2015	Tarragona	Asmat	C.H.E.
EB0000080	Embalse de Cueva Foradada	CUE	08/06/2015	Teruel	Martín	C.H.E.
EB0000087	Embalse de Lechago	LEC	08/07/2015	Teruel	Pancrudo	C.H.E. / EN CONSTRUCCIÓN
EB0000550	Embalse de Urdalur	URD	22/06/2015	Navarra	Alzania	C.H.E.
EB0000823	Embalse de Maidevera	MAE	07/07/2015	Zaragoza	Aranda	C.H.E.
EB0000949	Embalse de Ribarroja	RIB	04/08/2015	Tarragona	Ebro	ENDESA GENERACIÓN
EB0000951	Embalse de Escarra	ESR	21/07/2015	Huesca	Escarra	ENDESA GENERACIÓN



CÓDIGO MAS	NOMBRE DEL EMBALSE	CODIGO	FECHA MUESTREO	PROVINCIA	RIO	PROPIETARIO / OBSERVACIONES
EB0000952	Embalse de Sallente	SAL	13/07/2015	Lleida	Estany Tort	FECSA
EB0000953	Embalse de Llauset	LLA	15/07/2015	Huesca	Llauset	ENHER
EB0001022	La Estanca de Alcañiz	EST	04/08/2015	Teruel	Guadalope	C.H.E.
EB0001043	Embalse de Cavallers	CAV	14/07/2015	Lleida	Noguera de Tort	ENHER
EB0001049	Embalse de Balaguer	BAL	16/06/2015	Lleida	Segre	ENDESA / NO ACCESO
EB0001681	Embalse de Monteagudo de las Vicarías	MON	07/07/2015	Soria	Nájima	C.H.E.

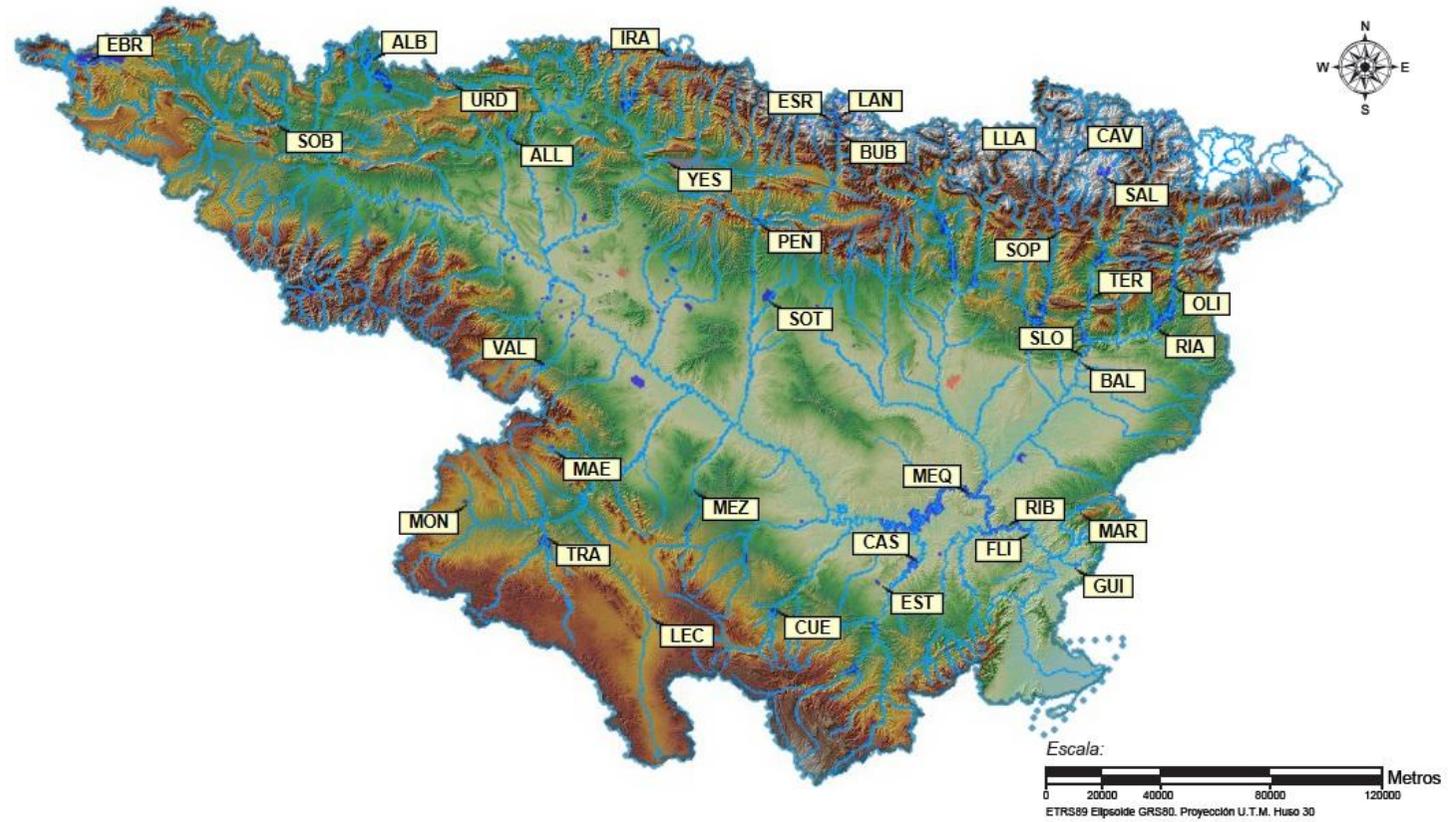


Figura 1. Localización geográfica de los embalses muestreados en 2015. Códigos según la Tabla 1.

## 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 a 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 físico-químicas:

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, 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 (DS, de Disco de Secchi) 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 de la muestra integrada la correspondiente a la columna de 6 m.

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 ( $K_{20}$ ).

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 0.45  $\mu$  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 los fijos, que permanecen tras la calcinación.

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 ión 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 **nitrato ( $NO_3^-$ )** 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 nitrato. En los sistemas de clima templado, las concentraciones de nitrato 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 ión 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.

Otro parámetro 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.

### **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 utilizan tres parámetros como estimadores de la biomasa algal en los índices al uso: densidad celular ( $n^{\circ}$  células/mL), biovolumen algal ( $\text{mm}^3/\text{mL}$ ) y concentración de clorofila a ( $\mu\text{g}/\text{L}$ ) en la zona fótica.

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.

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 fueran incluidas en la DMA, aunque como dicha Directiva no impide la inclusión de otras variables, una métrica del zooplancton se ha incluido 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, excepto en los embalses de Balaguer y Cavallers, donde por inaccesibilidad no permitía la navegación. 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 MAGRAMA, 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 distinto, 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  $\mu\text{m}$  (fitoplancton) y 45  $\mu\text{m}$  (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 microfibras 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 °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 °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 de 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 1 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  $20\text{ }\mu\text{m}$ , 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  $30\text{ }\mu\text{m}$  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 de 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. Es esta zona la 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  $45\text{ }\mu\text{m}$  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 mercurico	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  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^-$ ,  $\text{HO}^-$  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 microfibra de vidrio tipo *Whatman 934-AH* (1,5  $\mu\text{m}$  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  $500 \pm 50$  °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 & Parson, 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 fenoftaleína 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 & Parson, 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 ión 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 SiO<sub>2</sub>/L. El límite de cuantificación del método fue de 0,1 mg SiO<sub>2</sub>/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 <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub>	4500-NO <sub>3</sub> E / APHA 4500-NO <sub>2</sub> B	0,0003 mg N/L	0,01 mg N/L
Amonio	APHA 4500-NH <sub>3</sub> F	0,01 mg NH <sub>4</sub> /L	0,01 mg NH <sub>4</sub> /L
Silicato	APHA 4500-SiO <sub>2</sub> C	0,006 mg SiO <sub>2</sub> /L	0,1 mg SiO <sub>2</sub> /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.

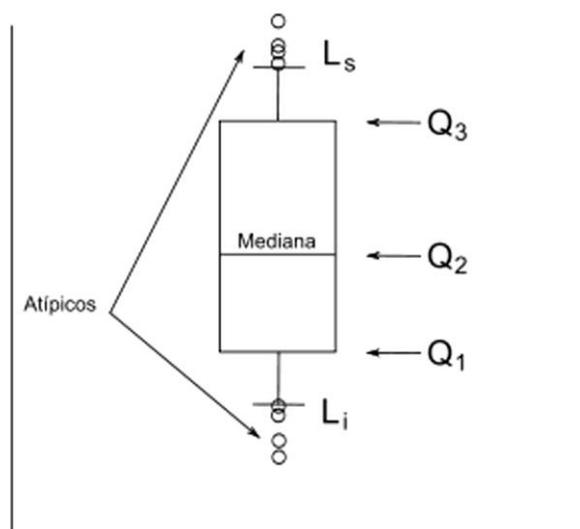
*Estimas de biomasa:* se utilizó el método del peso seco de los crustáceos zooplanctónicos, que consiste en convertir estimas de longitud en biomasa usando regresiones longitud-peso.

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 ( $L_i$  y  $L_s$ ), estimados a partir del Rango intercuartílico (RIC) según la fórmula:  $RIC = Q_3 - Q_1$

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

Por encima y debajo de  $L_i$  y  $L_s$  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 <sup>2</sup>	Tª < 15 °C		1
				Tª >15 °C		2
		ZONA NO HÚMEDA IH < 0,75	RED PRINCIPAL. Área > 1000 km <sup>2</sup>			3
			CABECERA Y TRAMOS ALTOS. Área < 1000 km <sup>2</sup>			4
			RED PRINCIPAL. Área > 1000 y < 20.000 km <sup>2</sup>			5
			TRAMOS BAJOS DE EJES PRINCIPALES. Área >20.000km <sup>2</sup>			6
	CALCÁREOS Alcalinidad estimada > 1 meq/L	ZONA HÚMEDA IH > 0,75	CABECERA Y TRAMOS ALTOS. Área < 1000 km <sup>2</sup>	Tª < 15 °C		7
				Tª >15 °C		8
		ZONA NO HÚMEDA IH < 0,75	RED PRINCIPAL. Área > 1000 km <sup>2</sup>			9
			CABECERA Y TRAMOS ALTOS. Área < 1000 km <sup>2</sup>			10
			RED PRINCIPAL. Área > 1000 y < 20.000 km <sup>2</sup>			11
			TRAMOS BAJOS DE LOS EJES PRINCIPALES. Área > 20.000 km <sup>2</sup>			12
DIMÍCTICOS		IH > 2			>1400 m en Pirineos >1500 en Cordillera Cantábrica >1600 en Sistema Central	13

**Tabla 5.** Clasificación de embalses estudiados en el año 2015 según la Orden ARM/2656/2008.

RÉGIMEN DE MEZCLA	GEOLOGÍA	INDICE 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 <sup>2</sup> )	T <sup>a</sup> Media Anual <15	1	Lanuzá
	CALCÁREA (alcalinidad > 1 meq/L)	Zona Húmeda (IH > 0,74)	Cabecera y tramos altos (área cuenca < 1000 km <sup>2</sup> )	T <sup>a</sup> Media Anual <15	7	Albiña, Alloz, Búbal, Ebro, Escarra, Irabia, Lechago, Maidevera, Monteagudo de las Vicarías, Sopeira, Urdalur y El Val
			Red principal (área de cuenca > 1000 km <sup>2</sup> )		9	Oliana, La Peña, Sobrón, Terradets y Yesa
		Zona No Húmeda (IH < 0,74)	Cabecera y tramos altos (área de cuenca < 1000 km <sup>2</sup> )		10	Cueva Foradada, La Estanca de Alcañiz, Guiamets, Margalef, Mezalocha y La Sotonera
			Red principal (área de cuenca > 1000 y < 25000 km <sup>2</sup> )		11	Balaguer, Rialb, San Lorenzo y La Tranquera
	Tramos bajos de los ejes principales. (Área de Cuenca > 25000 km <sup>2</sup> )		12	Caspe, Flix, Mequinenza y Ribarroja		
DIMÍCTICOS		IH > 2		>1400 m en Pirineos >1500 en Cordillera Cantábrica >1600 en Sistema Central	13	Cavallers, Llauset y Sallente

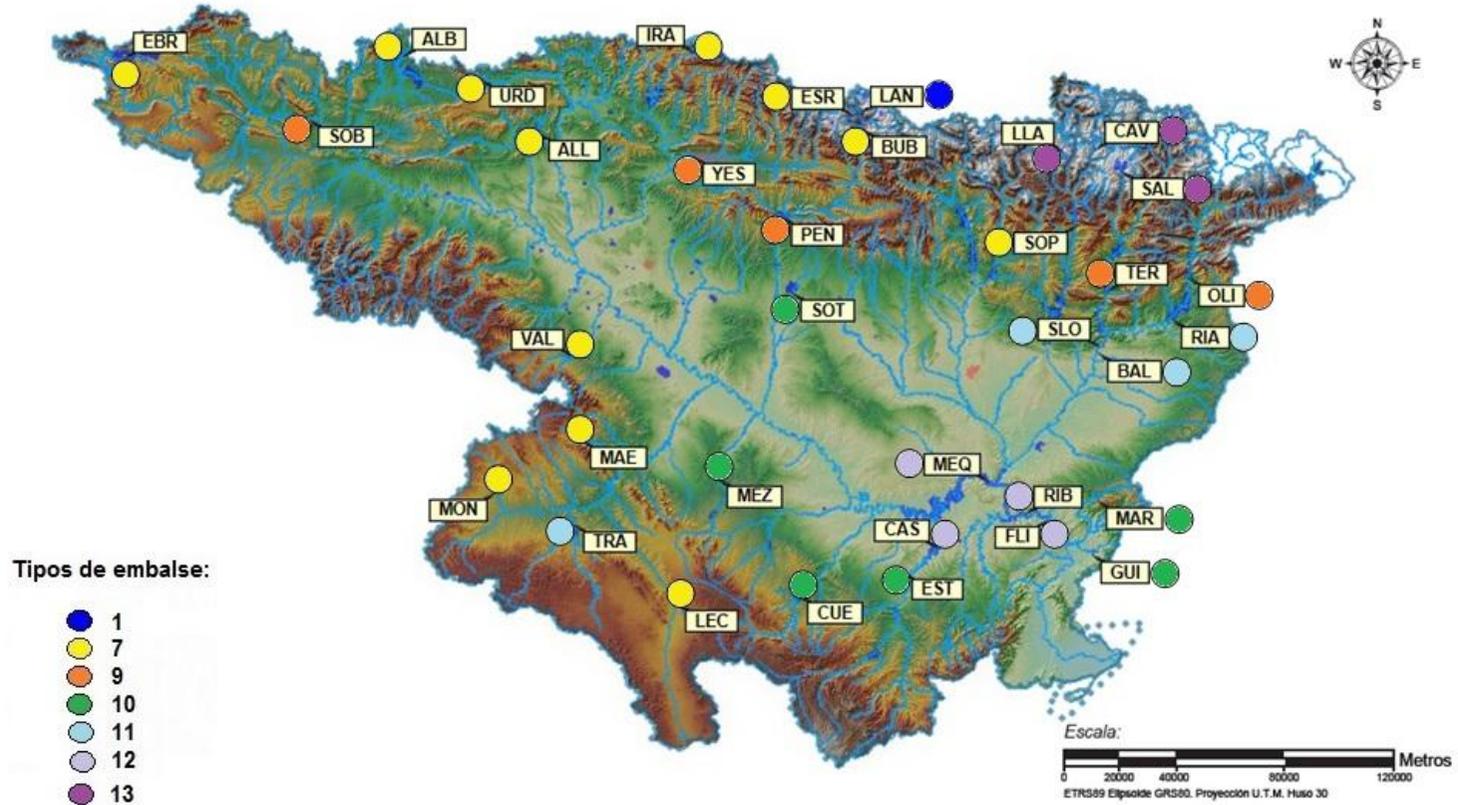


Figura 2. Localización geográfica de los embalses estudiados en 2015 indicando su tipología.

De esta tabla se destacan los siguientes aspectos:

- Las 35 masas de agua estudiadas y denominadas como embalses, se han clasificado en 7 categorías atendiendo a razones del régimen de mezcla, geología, climatología (humedad y temperatura), área de la cuenca de aportación y altitud.
- La categoría que agrupa a un mayor número de embalses es la 7, seguida de las categorías 10, 9, 11, 12 y 13, la tipología 1 solo esta 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.

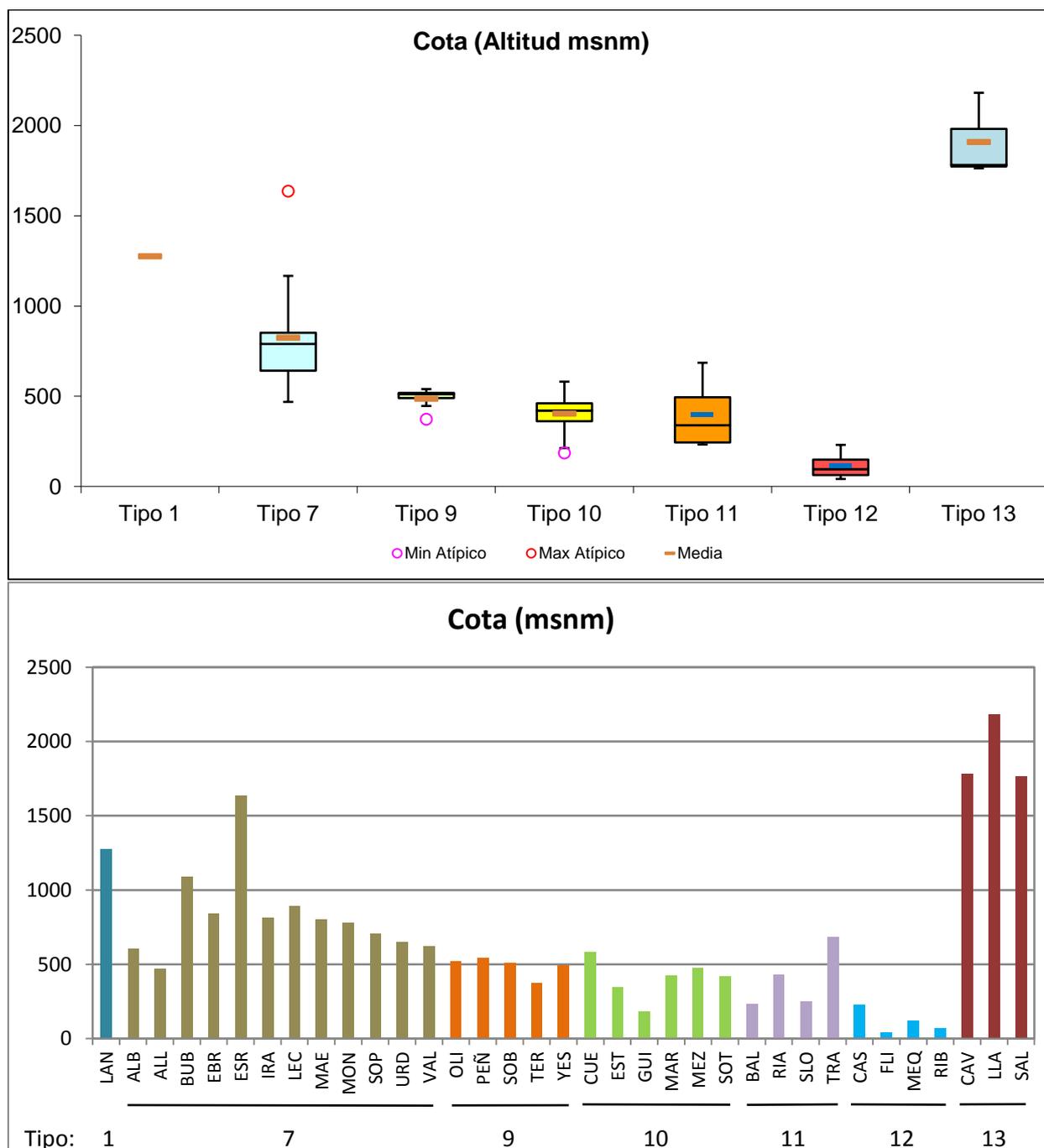
Tipo 1	Tipo 7	Tipo 9	Tipo 10	Tipo 11	Tipo 12	Tipo 13
1	12	5	6	4	4	3
2,9 %	34,3 %	14,3 %	17,1 %	11,4 %	11,4 %	8,6 %

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 de los tipos 1 y 13 (cabeceras montañosas) al tipo 12 (embalses cerca de la desembocadura). De manera que la altitud parece ser una variable claramente decisiva en esta clasificación.

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 La Estanca de Alcañiz como de tipo 10, los embalses de Escarra, Maidevera, Sopeira y Urdalur se han colocado con los embalses del tipo 7 y los embalses de Cavallers, Llauset y Sallente se han 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. 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.

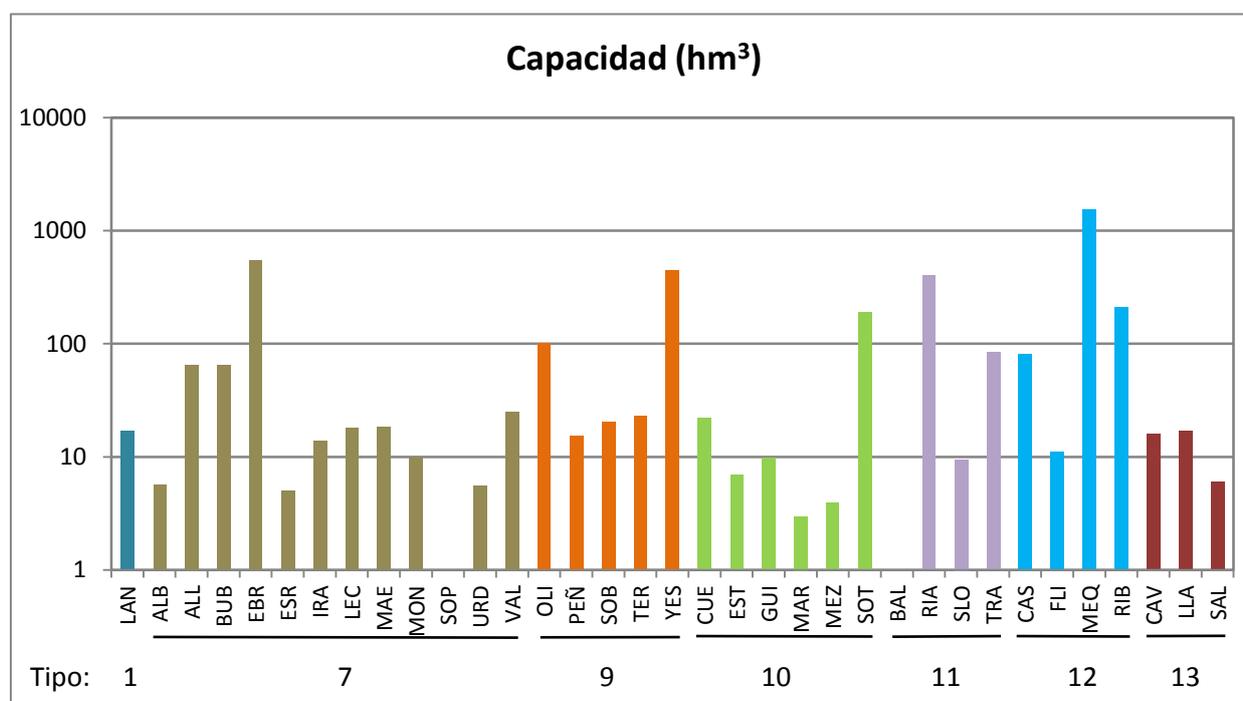
## 4. CARACTERÍSTICAS HIDROMORFOLÓGICAS, FÍSICOQUÍMICAS Y BIOLÓGICAS

### 4.1. Características hidromorfológicas

En la tabla 7 se incluyen las principales características morfométricas de los embalses muestreados (35 en total) en el año 2015, 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:

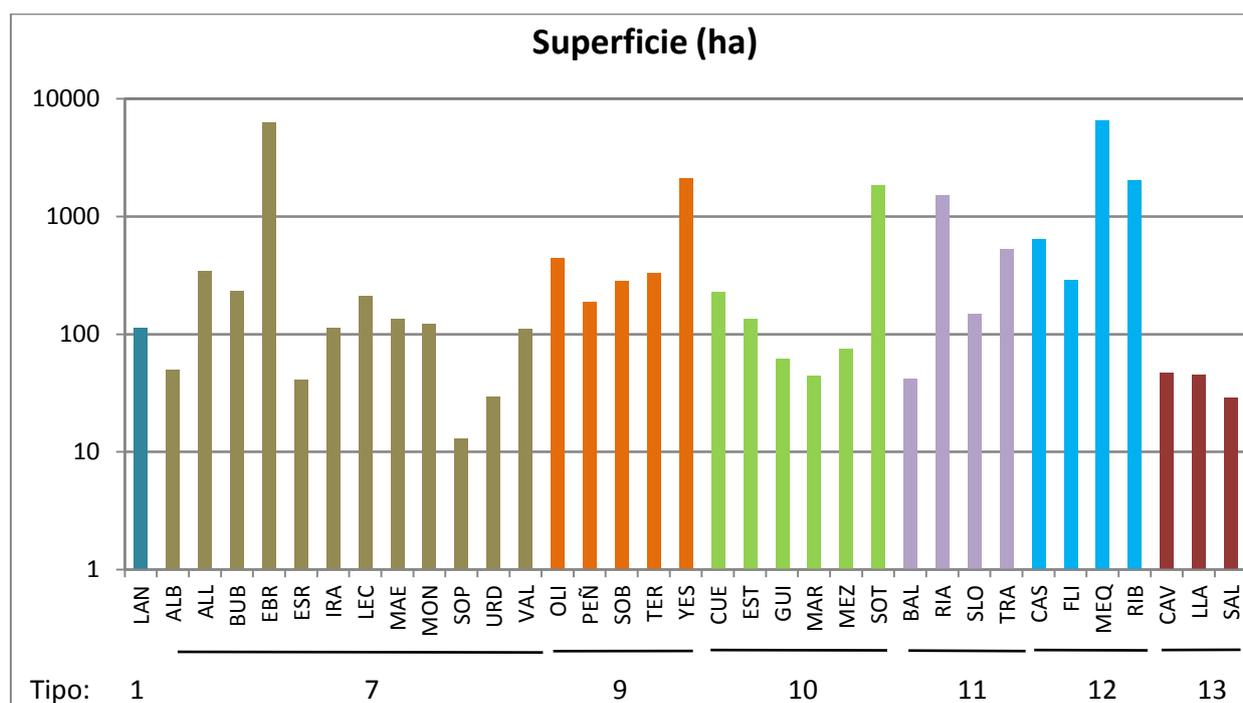


**Figura 4.** Distribución de la capacidad (hm<sup>3</sup>) de los embalses estudiados en 2015.

➤ Las masas de agua son de capacidad variable, con volúmenes inferiores a 10 Hm<sup>3</sup> en un 34,3 % de los casos (figura 4). El mismo porcentaje de embalses presentan volúmenes bajos, entre 10 y 30 Hm<sup>3</sup>, un 8,6 % presentan volúmenes intermedios, entre 30 y 70 Hm<sup>3</sup>; un 5,71 % presentan capacidades algo mayores entre 70 y 150 Hm<sup>3</sup>, un 8,57 % tiene un aforo entre 150 y 300 Hm<sup>3</sup> y finalmente, un 11,43 % tienen capacidad de embalsar entre 300 y 1600 Hm<sup>3</sup>, siendo el mayor de toda la cuenca el embalse de Mequinenza, con 1534 hm<sup>3</sup> 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:

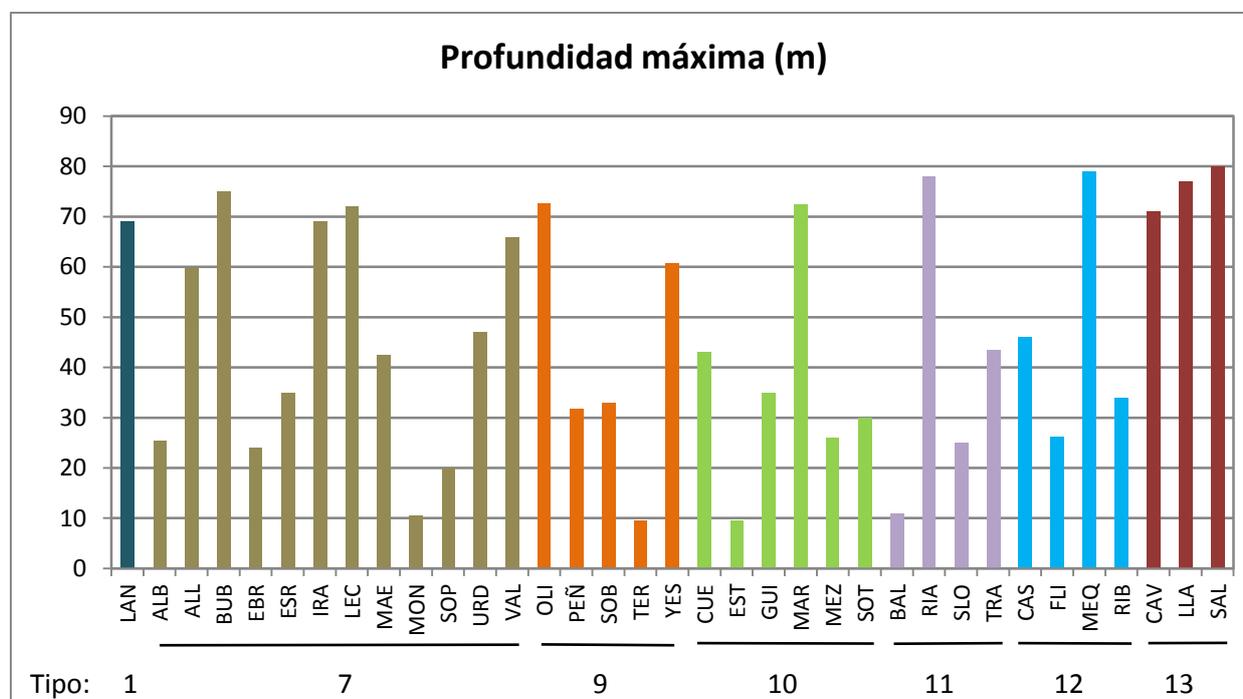


**Figura 5.** Superficie total (ha) de los embalses estudiados en 2015.

➤ Las masas de agua son de superficie muy variable, con un rango que oscila entre las 13 ha del embalse de Sopeira, hasta las 6478 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 no superan las 500 ha (77 % de los embalses).

### C) Profundidad máxima

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

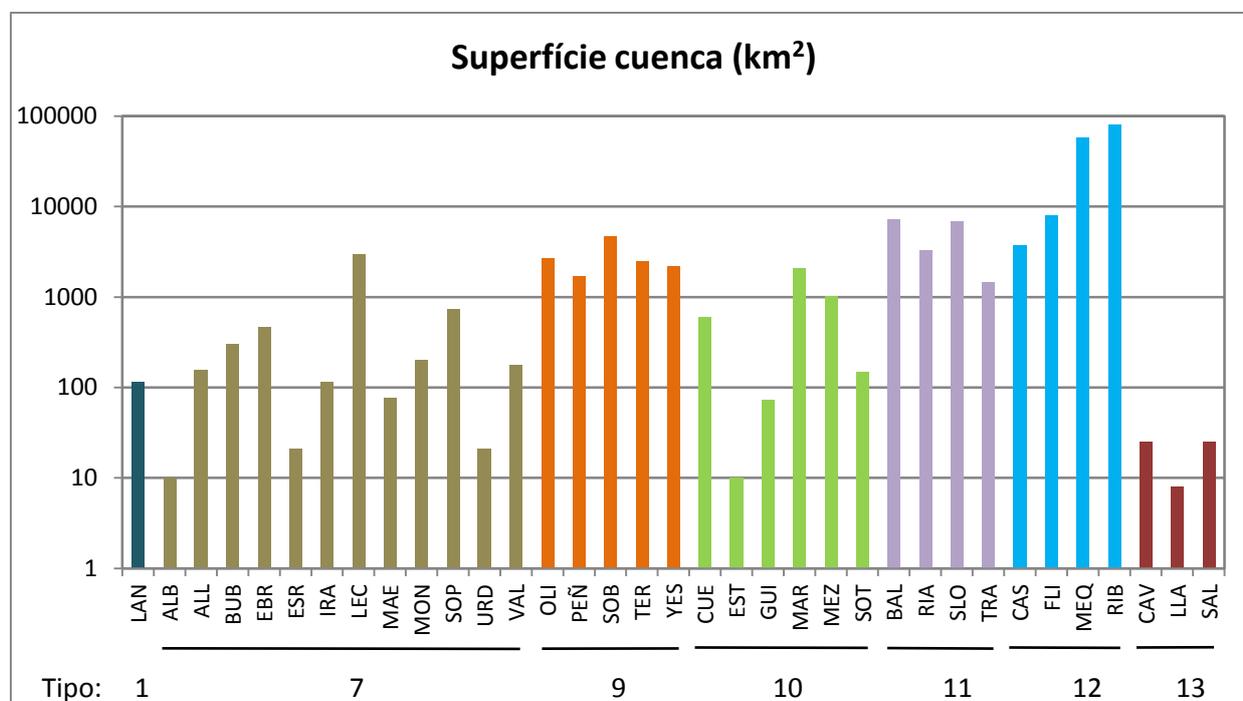


**Figura 6.** Profundidad máxima (m) de los embalses estudiados en 2015.

➤ Las masas de agua son de profundidad muy variable, con un rango de 9,5 a 80 m, valores registrados para los embalses de Terradets y La Estanca de Alcañiz con 9,5 m y Sallente con 80 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 50 m.

## D) Área de la cuenca

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

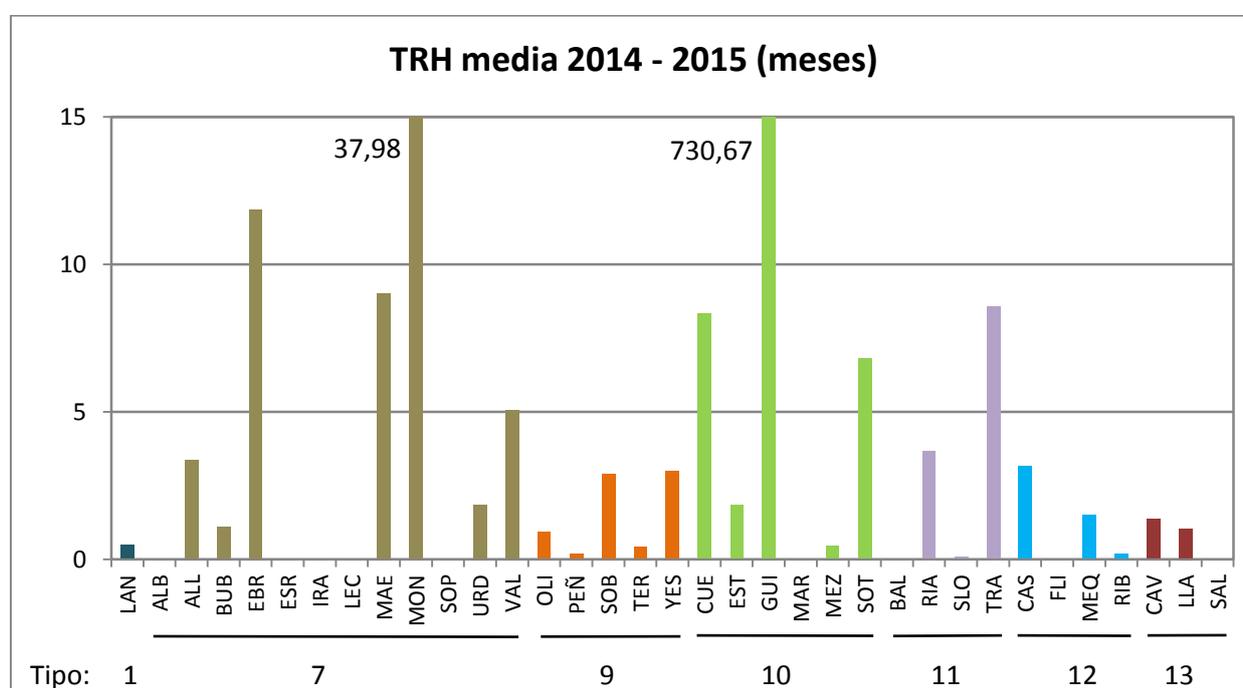


**Figura 7.** Extensión de la cuenca vertiente (km<sup>2</sup>) de los embalses estudiados en 2015.

➤ Los embalses estudiados durante 2015 reciben aportaciones desde cuencas vertientes con extensiones muy variables. El rango de áreas de cuenca va desde los 10 km<sup>2</sup> de los embalses de Albiña y La Estanca de Alcañiz, hasta los 81.045 km<sup>2</sup> 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 km<sup>2</sup>. Alrededor de un 49 % tienen cuencas de más de 1.000 km<sup>2</sup>, siendo ésta, por tanto, la clase predominante. Un 23 % de los embalses estudiados tienen un tamaño de cuenca entre los 100 y los 1.000 km<sup>2</sup>, mismo porcentaje que hay para los embalses con un tamaño de cuenca inferior a los 100 km<sup>2</sup>.

## 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 de cursos fluviales importantes, siendo los mínimos, inferiores a un mes, en Flix, Balaguer, San Lorenzo, Sopeira, Terradets y La Peña. 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 Oliana, Ribarroja y Lanuza, donde el TRH es inferior a un mes.



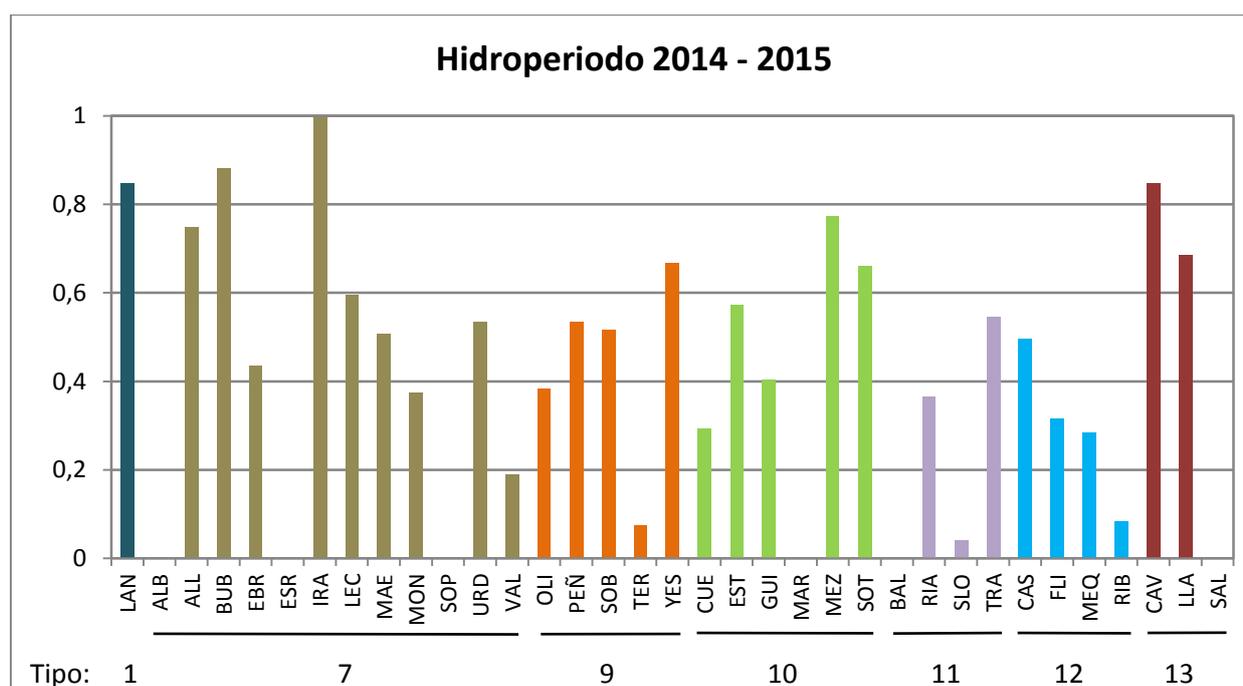
**Figura 8.** Tiempo de renovación de los embalses estudiados en 2015.

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 Monteagudo de las Vicarías (37,98 meses) y Guiamets, siempre el más elevado en todos los años que se ha estudiado (máximo absoluto con 730,67 meses para 2015).

## F) Características del hidropериодо

El hidropериодо 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 y de alguna manera podrá influir 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.** Hidropериодо de los embalses estudiados en 2015.

El patrón estacional del nivel del agua es muy variable para nueve embalses, con un hidropериодо superior a 0,6. Destacar el embalse de Irabia con un hidropериодо de variación máxima. Seis embalses son cero, porque no hay datos de la renovación de sus aguas. Destacar la estabilidad de Ribarroja, San Lorenzo y Terradets a pesar de su bajo tiempo de renovación.

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

CÓDIGO MAS	NOMBRE DEL EMBALSE	CÓDIGO ESTACIÓN	VOLUMEN TOTAL (hm <sup>3</sup> )	SUPERFICIE (ha)	PROFUNDIDAD MÁXIMA (m)	PROFUNDIDAD MEDIA (m)	SUPERFICIE CUENCA (km <sup>2</sup> )	TRH* MEDIO 2014 - 2015 (meses)	Hidroperiodo
EB0000001	Embalse del Ebro	EBR	540	6253	24	8,6	466	11,86	0,43
EB0000004	Embalse de Irabia	IRA	13,81	114	69	17,5	116	-	1,00
EB0000005	Embalse de Albiña	ALB	5,67	50	25,43	12,5	10	-	-
EB0000019	Embalse de Lanuza	LAN	16,86	114	69	-	116	0,47	0,85
EB0000022	Embalse de Sobrón	SOB	20,11	282	33	7,1	4660	2,90	0,52
EB0000025	Embalse de Búbal	BUB	64,26	234	75	23,9	306	1,11	0,88
EB0000027	Embalse de Alloz	ALL	65,32	347	59,8	28,5	155	3,35	0,75
EB0000037	Embalse de Yesa	YES	447	2089	60,7	22,5	2170	2,97	0,67
EB0000044	Embalse de La Peña	PEÑ	15,4	189	31,7	9,1	1721	0,19	0,53
EB0000045	Embalse de Sopeira	SOP	1	13	20	-	733	-	-
EB0000053	Embalse de Oliana	OLI	101,1	443	72,7	22,8	2675	0,94	0,38
EB0000059	Embalse de Terradets	TER	23	330	9,5	7	2511	0,42	0,07
EB0000062	Embalse de Sotoner	SOT	189,38	1840	30	10,3	150	6,82	0,66
EB0000063	Embalse de Rialb	RIA	402	1505	78	28	3320	3,68	0,37
EB0000067	Embalse de San Lorenzo	SLO	9,48	147	25	6,9	6845	0,08	0,04
EB0000068	Embalse de El Val	VAL	25	112	66	-	179	5,05	0,19
EB0000070	Embalse de Mequinenza	MEQ	1534	6478	79	10	57908	1,51	0,29
EB0000071	Embalse de Mezalocha	MEZ	3,92	75	26	10	1033	0,45	0,77
EB0000072	Embalse de Margalef	MAR	2,98	44	72,5	25,1	2078	-	-
EB0000074	Embalse de Flix	FLI	11	290	26,3	-	8127	0,00	0,32
EB0000076	Embalse de La Tranquera	TRA	84,26	530	43,5	15,8	1470	8,58	0,55
EB0000078	Embalse de Caspe	CAS	81,62	638	46	12,7	3705	3,16	0,50
EB0000079	Embalse de Guiamets	GUI	9,7	62	34,9	16,1	72	730,67	0,40
EB0000080	Embalse de Cueva Foradada	CUE	22,08	229	43	12,7	600	8,32	0,29
EB0000087	Embalse de Lechago	LEC	18,16	210	72	17	2957	-	0,60
EB0000550	Embalse de Urdalur	URD	5,5	29,5	47	-	21,2	1,85	0,54
EB0000823	Embalse de Maidevera	MAE	18,33	134,46	42,5	16	77	9,03	0,51
EB0000949	Embalse de Ribarroja	RIB	210	2029	34	10,3	81045	0,19	0,08
EB0000951	Embalse de Escarra	ESR	5	41	35	-	21	-	-
EB0000952	Embalse de Sallente	SAL	6	29	80	20	25	-	-
EB0000953	Embalse de Llauset	LLA	17	45	77	30,8	8	1,04	0,69

CÓDIGO MAS	NOMBRE DEL EMBALSE	CÓDIGO ESTACIÓN	VOLUMEN TOTAL (hm <sup>3</sup> )	SUPERFICIE (ha)	PROFUNDIDAD MÁXIMA (m)	PROFUNDIDAD MEDIA (m)	SUPERFICIE CUENCA (km <sup>2</sup> )	TRH* MEDIO 2014 - 2015 (meses)	Hidroperiodo
EB0001022	La Estanca de Alcañiz	EST	6,88	135	9,5	5	10	1,83	0,57
EB0001043	Embalse de Cavallers	CAV	16	47	71	33,8	25	1,36	0,85
EB0001049	Embalse de Balaguer	BAL	1	42	11	2,5	7200	-	-
EB0001681	Embalse de Monteagudo de las Vicarías	MON	9,73	123	10,5	5	199	37,98	0,38

Fuente: Confederación Hidrográfica del Ebro / CEDEX.

\*TRH: Tiempo de Residencia Hidráulica

-: Datos no disponibles

## 4.2. Características fisicoquímicas

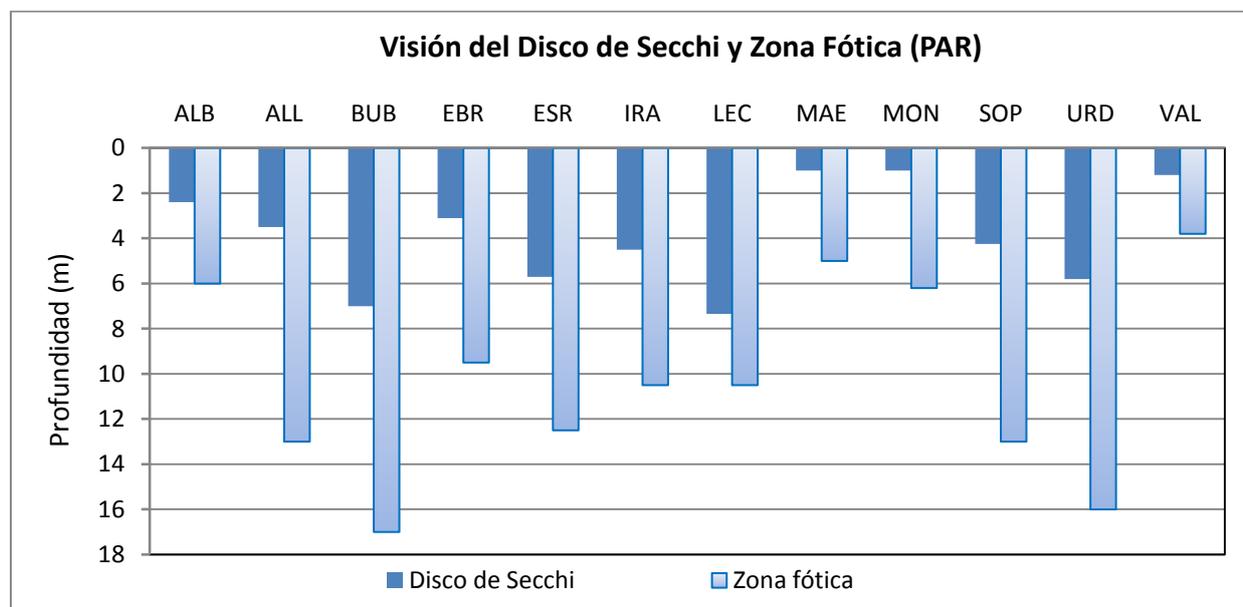
### 4.2.1. Transparencia, temperatura, pH y conductividad

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 y fichas individuales elaborados para cada uno de los embalses. Asimismo, en el anexo 1, se muestran las tablas de datos de cada uno de los embalses, ordenados por el código MAS y las gráficas individualizadas.

**A tipo 1. Embalse de Lanuza.** *Monomítico, silíceo de zonas húmedas, con temperatura media anual menor de 15° C, pertenecientes a ríos de cabecera y tramos altos.*

- La profundidad del Disco de Secchi (DS) muestra una medida de 7,60 m, lo que supone una profundidad de la capa fótica en torno a 19 metros, muy similar a la obtenida mediante medidor de PAR, de 18 metros.
- La temperatura media en la zona fótica es de 15,7 °C. En el momento del muestreo el embalse se encuentra estratificado.
- El pH en este embalse de tipo 1 desciende con la profundidad a partir de los 10 m; encontrándose el valor máximo a esta profundidad, 8,68.
- La conductividad registrada es muy baja, se observa un descenso de la conductividad hasta los 23 m de profundidad, a partir de aquí se observa una tendencia ascendente con la profundidad. La conductividad oscila entre un mínimo de 115  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 23 m de profundidad y un máximo de 152  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en el fondo. La geología silíceo es la responsable de la débil mineralización de este embalse.

**B Tipo 7. Embalses de Albiña, Alloz, Búbal, Ebro, Escarra, Irabia, Lechago, Maidevera, Monteagudo de las Vicarías, Sopeira, Urdalur y El Val.** *Monomíctico, calcáreo de zonas húmedas, con temperatura media anual menor de 15 °C, pertenecientes a ríos de cabecera y tramos altos.*

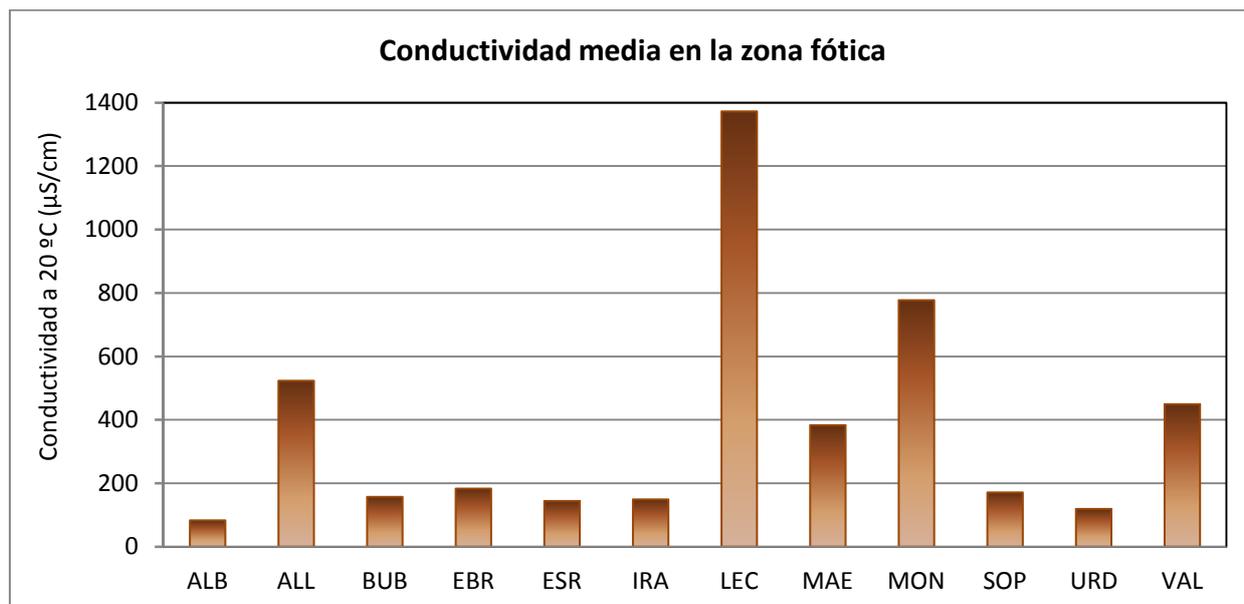


**Figura 10.** Profundidad de visión del Disco de Secchi (m) y de la Zona Fótica medida por PAR en los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 7.

➤ **La transparencia del agua** medida con el disco de Secchi (figura 10) varía entre 1 m en los embalses de Maidevera y Monteagudo de las Vicarías y los 7,4 m en Lechago. La media obtenida para este tipo de embalses (3,9 m) es inferior al valor medio del total de embalses (4,5 m). Por otro lado, la zona fótica, 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 13 m de profundidad, en lugar de 8,8 m, siendo el embalse con mayor diferencia entre los dos métodos de obtención de la ZF.

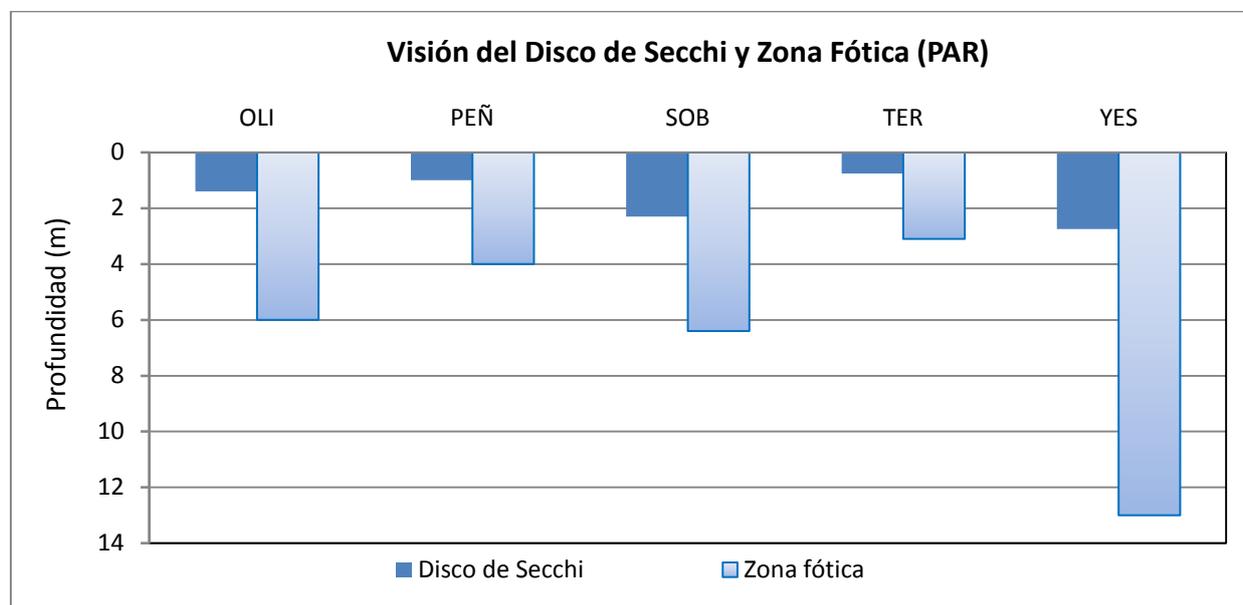
➤ Los valores de **la temperatura** media en la ZF de los embalses del tipo 7 es de 18,8 °C, con un mínimo de 11,6 en Sopeira, debido a estar alimentado por el agua de fondo proveniente del desembalse de Escales, y un máximo de 24,7 °C en Maidevera. En el momento del muestreo no presentan estratificación térmica 4 de los 12 embalses: Búbal, Ebro Monteagudo de las Vicarías y Sopeira.

- En general, **los valores de pH** de este grupo en la ZF presentan una media de 7,9. Se alcanza un máximo de 8,6 en el embalse de Búbal y un mínimo de 7,4 en el embalse de Albiña.
- Asimismo, los datos de **la conductividad** media en la ZF (figura 11) varían de los 83  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en el embalse de Albiña, a los 1372  $\mu\text{S}/\text{cm}$  del embalse de Lechago (valor máximo de todo el ESTUDIO). El valor medio del tipo es de 375  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .



**Figura 11.** Conductividad media de la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 7.

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



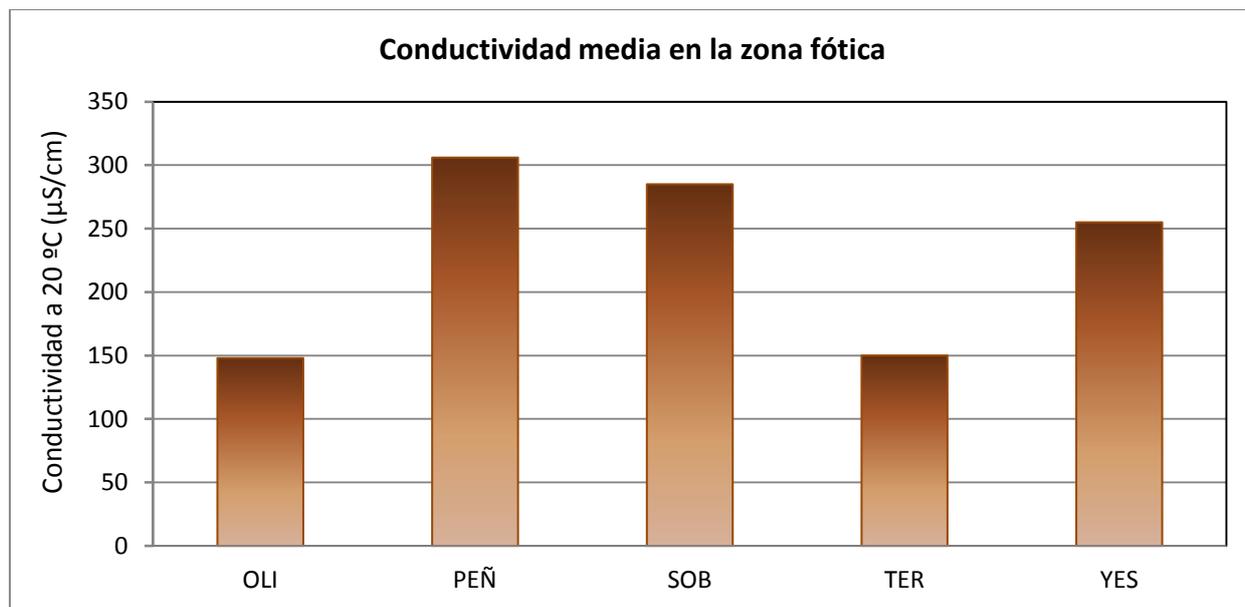
**Figura 12.** Profundidad de visión del Disco de Secchi (m) y de la Zona Fótica medida por PAR en los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 9.

➤ **La transparencia media del agua** de los embalses de tipo 9 es la más baja de todos los tipos, siendo su media de 1,6 m. El embalse de Terradets presenta la menor transparencia en el grupo con 0,8 m y el valor mínimo absoluto del ESTUDIO. 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 13,0 m.

➤ **La temperatura** media en la ZF de los embalses de tipo 9 es de 21 °C. Las temperaturas mínima y máxima se han medido en Terradets y Oliana respectivamente (15,3 y 23,3 °C). En cuanto a la estratificación térmica, en el momento de los muestreos solo Terradets no mostraba una termoclina definida.

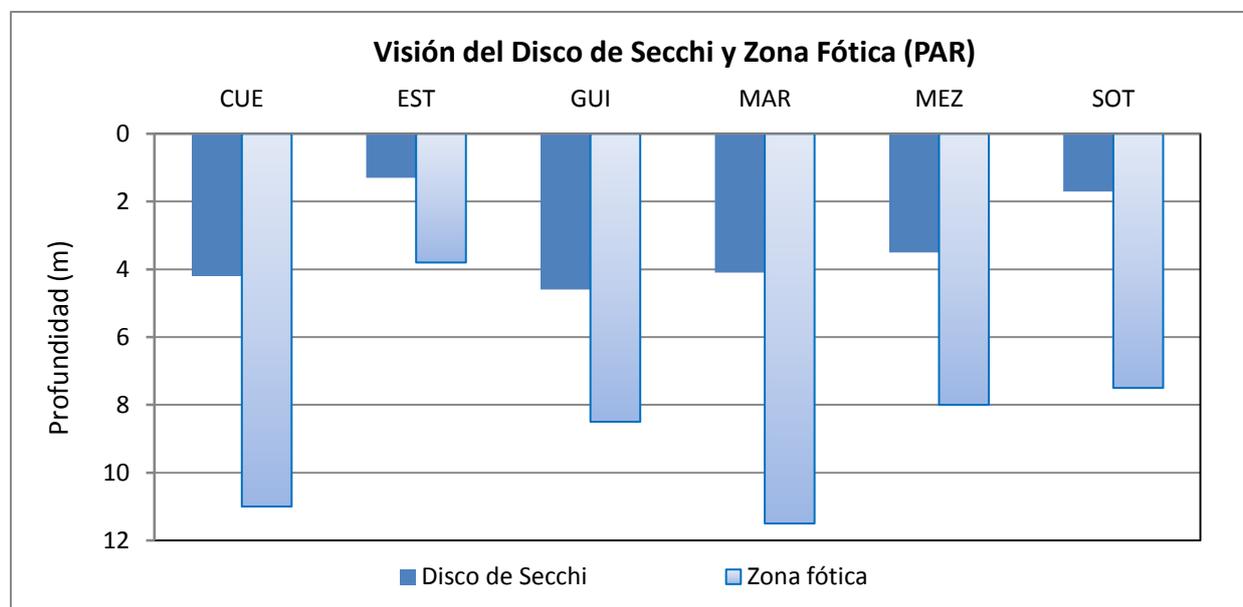
➤ **El pH** es en todos ligeramente alcalino, con un valor promedio de 8,1. Los valores medios obtenidos para la ZF oscilan entre los 7,8 de Sobrón y los 8,2 de Terradets

➤ **La conductividad** registrada en este tipo presenta un valor medio de 229  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con poca dispersión de valores, entre los 148  $\mu\text{S}/\text{cm}$  de Oliana y los 306  $\mu\text{S}/\text{cm}$  de La Peña.



**Figura 13.** Conductividad media de la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 9.

**D Tipo 10. Embalses de Cueva Foradada, La Estanca de Alcañiz, Guiamets, Margalef, Mezalocha y La Sotonera.** *Monomítico, calcáreo de zonas no húmedas, pertenecientes a ríos de cabecera y tramos altos.*



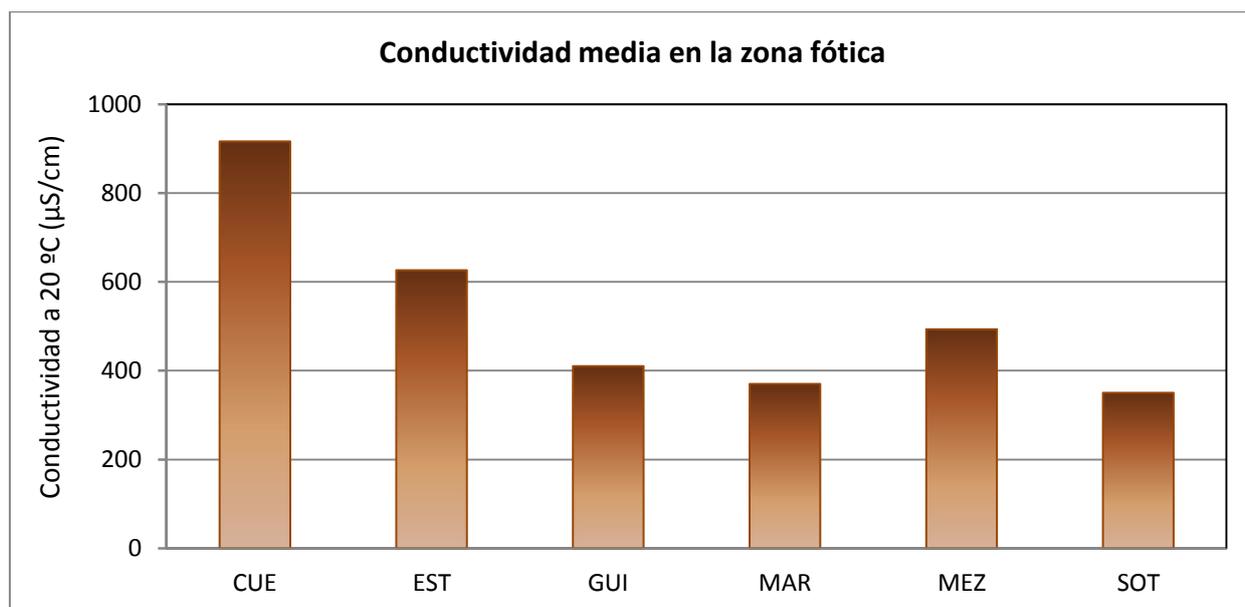
**Figura 14.** Profundidad de visión del Disco de Secchi (m) y de la Zona Fótica medida por PAR en los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 10.

➤ **La transparencia del agua** es muy variable. Toma el valor máximo para este tipo de embalses en el de Guiamets con 4,6 m, seguido de Margalef (4,1 m). El valor mínimo se ha obtenido en el embalse de La Estanca de Alcañiz con 1,3 m. El valor medio se sitúa en 3,2 m. Excepto para el embalse de Guiamets, la ZF medida con luxómetro es mayor que el valor dado por el Disco de Secchi.

➤ **La temperatura** media en la ZF de los embalses del tipo 10 presenta una media de 20,68 °C y que oscila desde los 18,51 °C de Pena hasta los 22,72 °C de Guiamets. Los embalses que no se encuentran estratificados son Gallipué, La Loteta y Mezalocha.

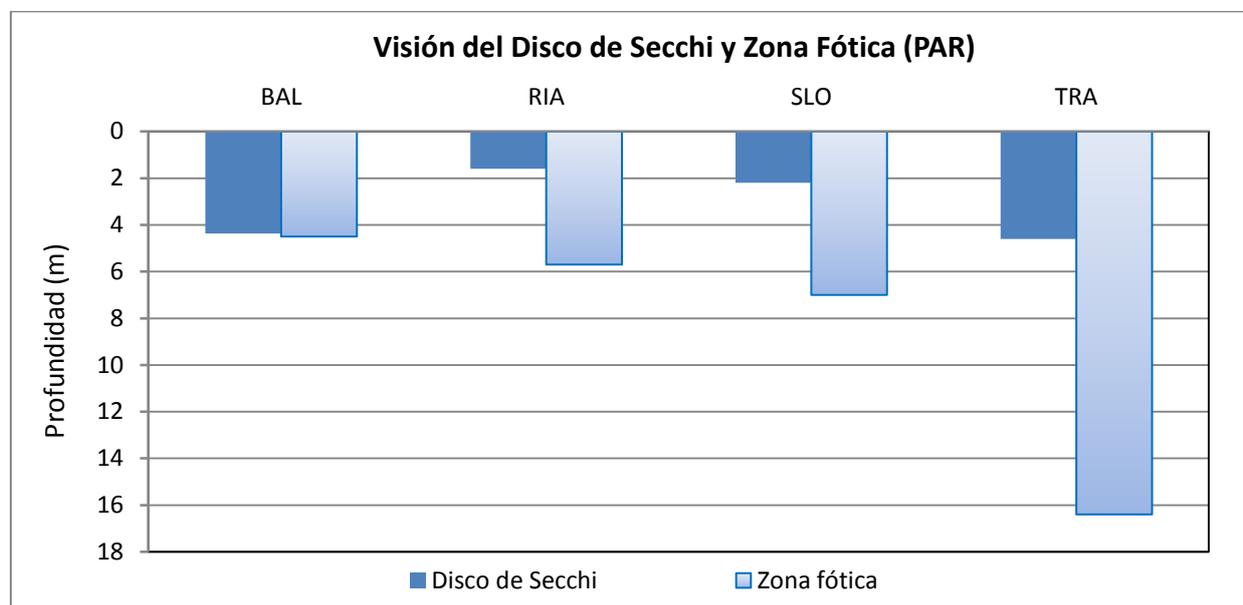
➤ **El pH** de los embalses de tipo 10 es, en general, alcalino, con un valor promedio de 8,1 para este tipo, con una variación muy pequeña entre embalses.

➤ **La conductividad** registrada en los embalses de este tipo presenta un valor medio de 527  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . El valor más bajo corresponde a La Sotonera, con 350  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , mientras que el valor máximo se ha medido en el embalse de Cueva Foradada con 916  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .



**Figura 15.** Conductividad media de la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 10.

**E Tipo 11. Embalses de Balaguer, Rialb, San Lorenzo y La Tranquera.** *Monomítico, calcáreo de zonas no húmedas, pertenecientes a ríos de la red principal.*



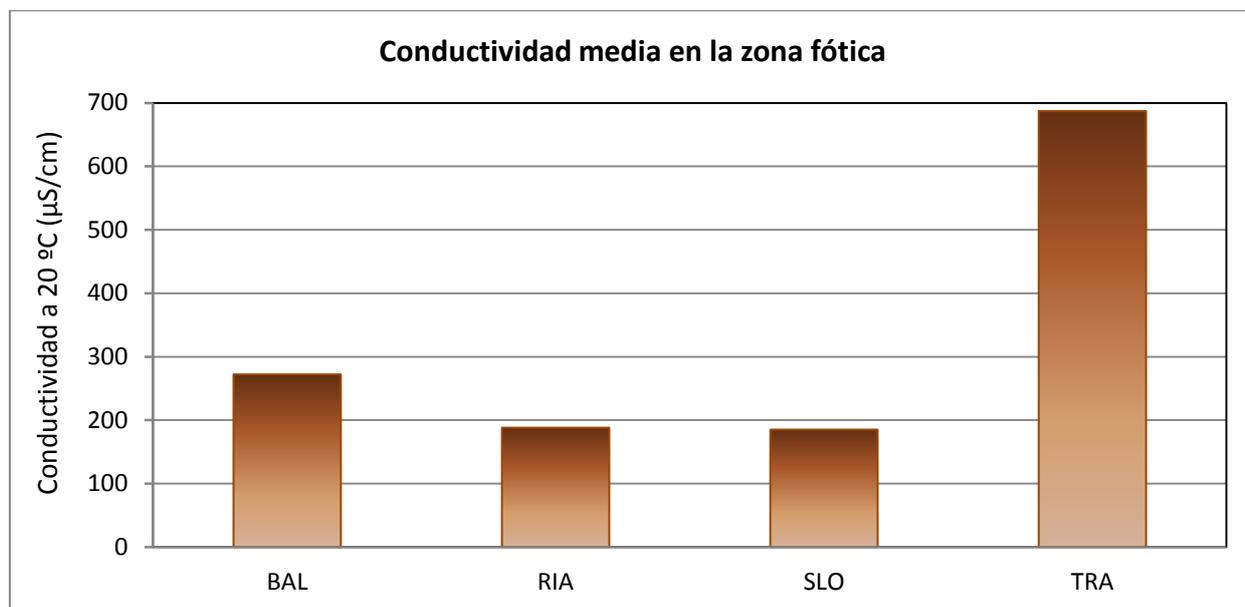
**Figura 16.** Profundidad de visión del Disco de Secchi (m) y de la Zona Fóptica medida por PAR en los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 11.

➤ En los embalses del tipo 11, **la transparencia (DS)** alcanza un valor medio de 3,2 m, un metro menor a la media general de los embalses. El valor más elevado de la ZF estimada por el medidor de PAR, con un valor superior a 16 m se encuentran en el embalse de La Tranquera. La similitud entre el valor de profundidad del disco de Secchi y el de la ZF en el embalse de Balaguer, se debe a que el disco es visible hasta el fondo.

➤ **La temperatura** en la ZF de los embalses de tipo 11 presenta una media de 22,1 °C. La temperatura máxima para la media de la ZF fue medida en el embalse de Rialb, con 24,1 °C y la mínima en el embalse de Balaguer, con 19,1 °C. Solo Rialb se encontraba estratificado en el momento del muestreo.

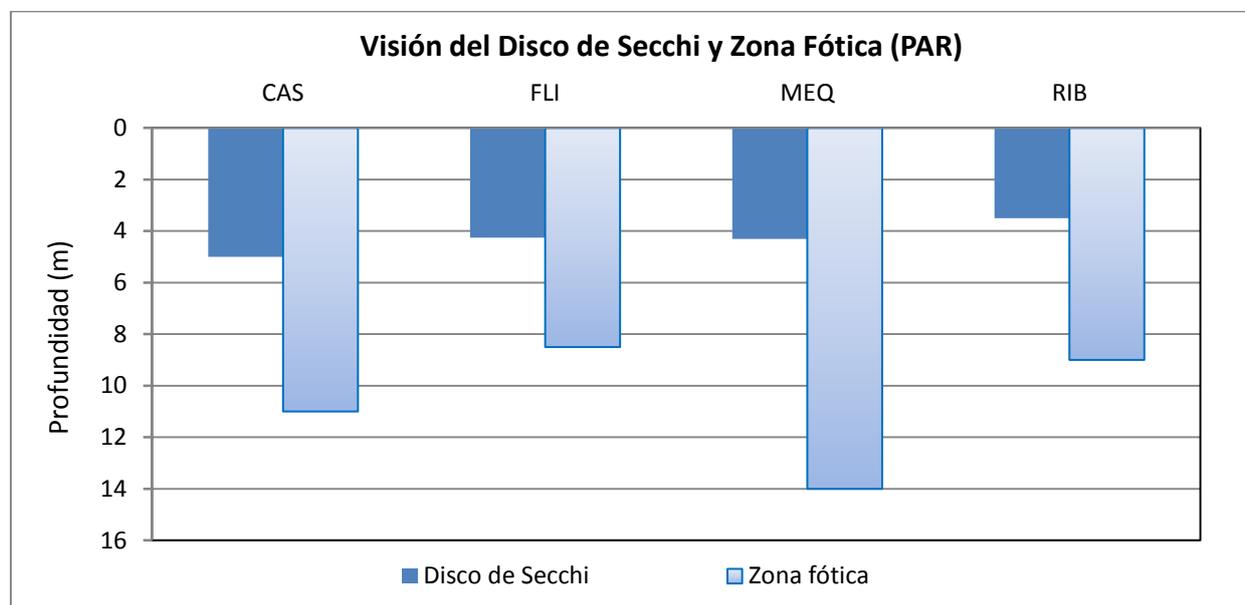
➤ Asimismo, **los valores de pH** registrados en la ZF presentan una media de 8,0. Se ha observado el valor mínimo en Balaguer, con un pH de 7,8, y el valor máximo de 8,1 se encuentra tanto en Rialb como en San Lorenzo.

➤ **Los valores de conductividad** alcanzaron sus niveles más altos en los embalses de Balaguer y La Tranquera, con valores medios en la capa fóptica de 272  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 687  $\mu\text{S}/\text{cm}$  respectivamente. Los valores más bajos se han presentado en los embalses de Rialb y San Lorenzo con 188 y 185  $\mu\text{S}/\text{cm}$  respectivamente.



**Figura 17.** Conductividad media de la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 11.

**F Tipo 12. Embalse de Caspe, 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 Fótica medida por PAR en los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 12.

- En los embalses del tipo 12, **la transparencia (DS)** alcanza un valor medio de 4,3 m, muy parecida a la media general de los embalses. El valor más elevado de la ZF estimada por el medidor de PAR, con un valor de 14 m es el embalse de Mequinenza.
- **La temperatura** en la ZF de los embalses de tipo 12 presenta una media de 26,1 °C, la media más alta de todos los tipos. La temperatura máxima para la media de la ZF fue medida en el embalse de Flix, con 27,9 °C, la más alta de todo el ESTUDIO. La temperatura mínima se observó en el embalse de Caspe, con 25,0 °C. Dos de los cuatro embalses se encontraban estratificados en el momento de muestreo, Caspe y Mequinenza.
- Asimismo, **los valores de pH** registrados en la ZF presentan una media de 7,8, la más baja de todos los tipos, exceptuando los de alta montaña. Se ha observado el valor mínimo en Ribarroja, con un pH de 7,5, y el valor máximo de 8,1 se encuentra en Caspe.
- **Los valores de conductividad** alcanzaron sus niveles más altos en los embalses de Flix, Ribarroja y Mequinenza, con valores medios en la capa fótica superiores a los 1.000 µS/cm. El valor más bajo se ha presentado en el embalse de Caspe con 762 µS/cm.

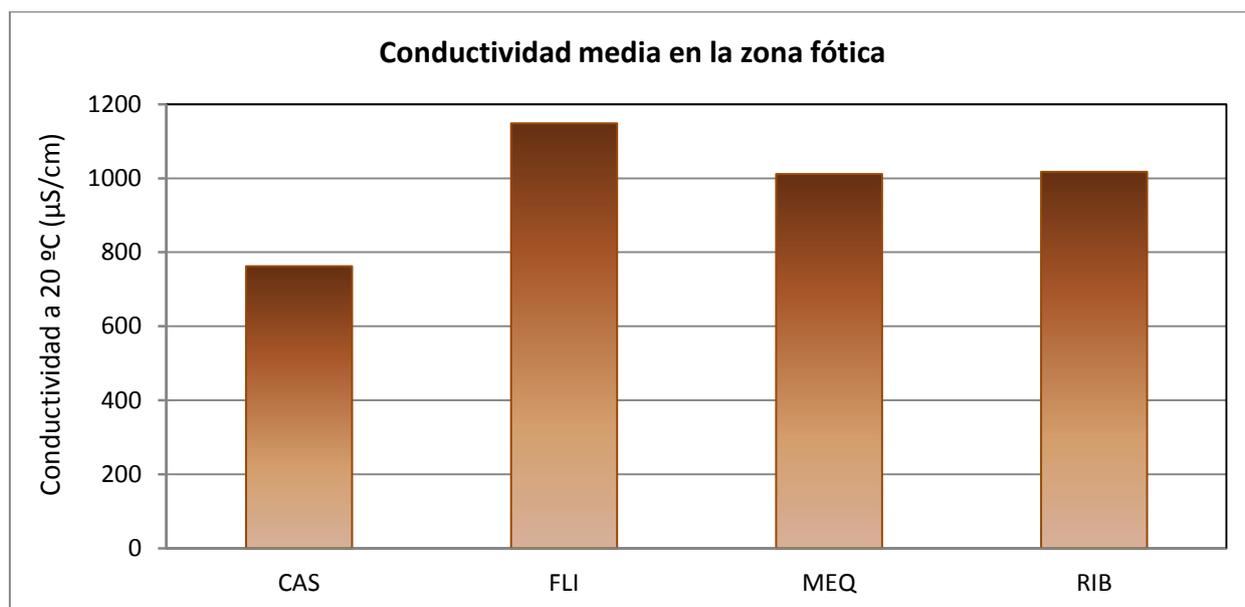
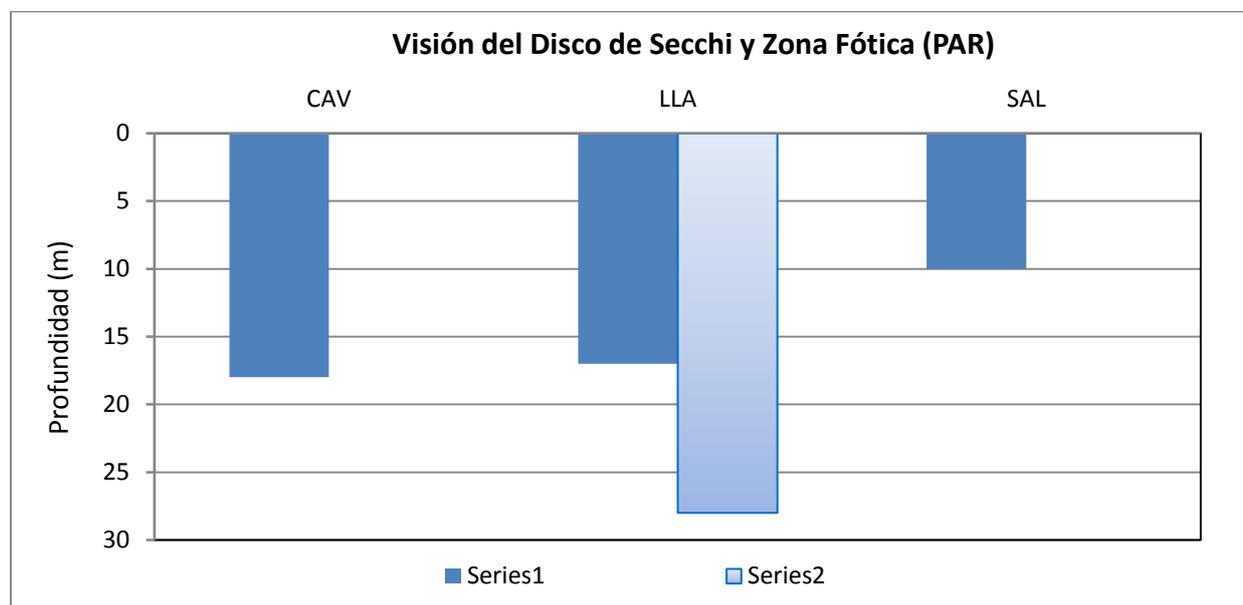


Figura 19. Conductividad media de la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 12.

**G Tipo 13. Embalse de Cavallers, Llauset y Sallente.** *Dimíctico, calcáreo de zona muy húmeda a más de 1.400 m de altitud.*



**Figura 20.** Profundidad de visión del Disco de Secchi (m) y de la Zona Fóptica medida por PAR en los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 13.

➤ En los embalses del tipo 13, **la transparencia (DS)** alcanza un valor medio de 15 m, la más alta de todos los tipos y muy superior a la media general de los embalses. El valor más elevado de la ZF estimada por el medidor de PAR de todo el ESTUDIO, con un valor de 28 m, se encuentran en el embalse de Llauset. En este tipo de embalses donde la transparencia es tan elevada, la determinación de la ZF mediante el disco de Secchi da valores muy sobreestimados.

➤ **La temperatura** en la ZF de los embalses de tipo 13 presenta una media de 15,8 °C, la más baja de todos los tipos junto al tipo 1. La temperatura máxima para la media de la ZF fue medida en el embalse de Sallente, con 18,6 °C y la mínima en el embalse de Llauset, con 12,2 °C. Solo Llauset se encontraba estratificado en el momento del muestreo.

➤ Asimismo, **los valores de pH** registrados en la ZF presentan una media de 7,2, la más baja de todos los tipos. Se ha observado el valor mínimo en Cavallers, con un pH de 6,9, y el valor máximo de 7,6 se encuentra en Llauset.

➤ **Los valores de conductividad** son los más bajos de todo el ESTUDIO, con un valor medio para el tipo 13 de 38 µS/cm. El valor más bajo se observa en el embalse de Cavallers, con una conductividad de 14 µS/cm.

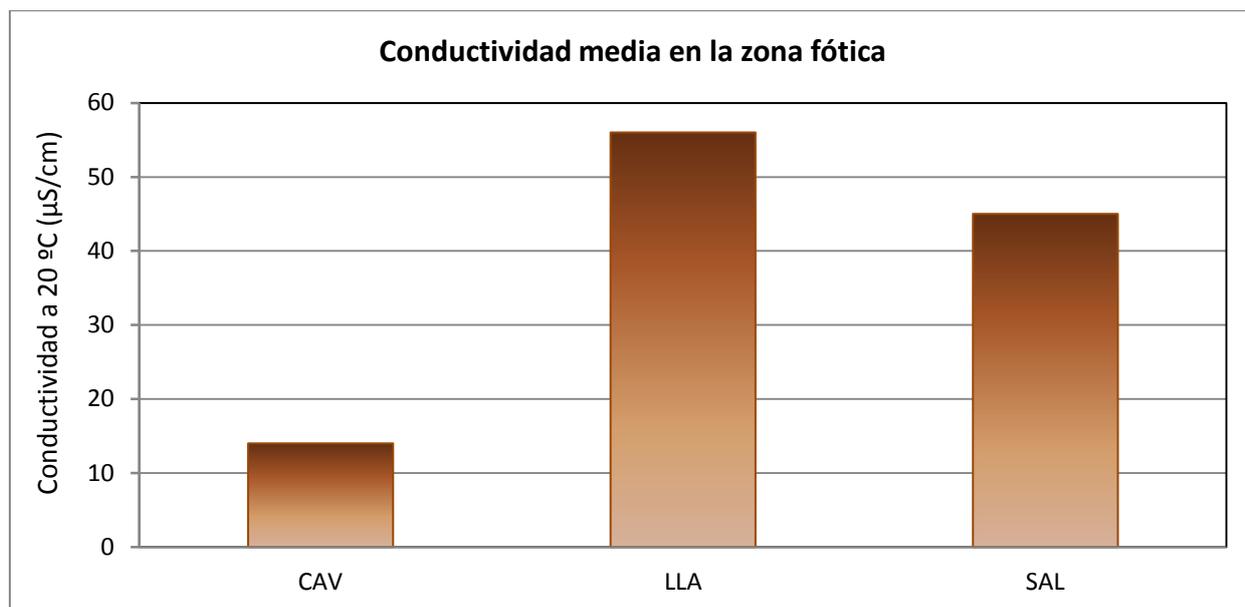
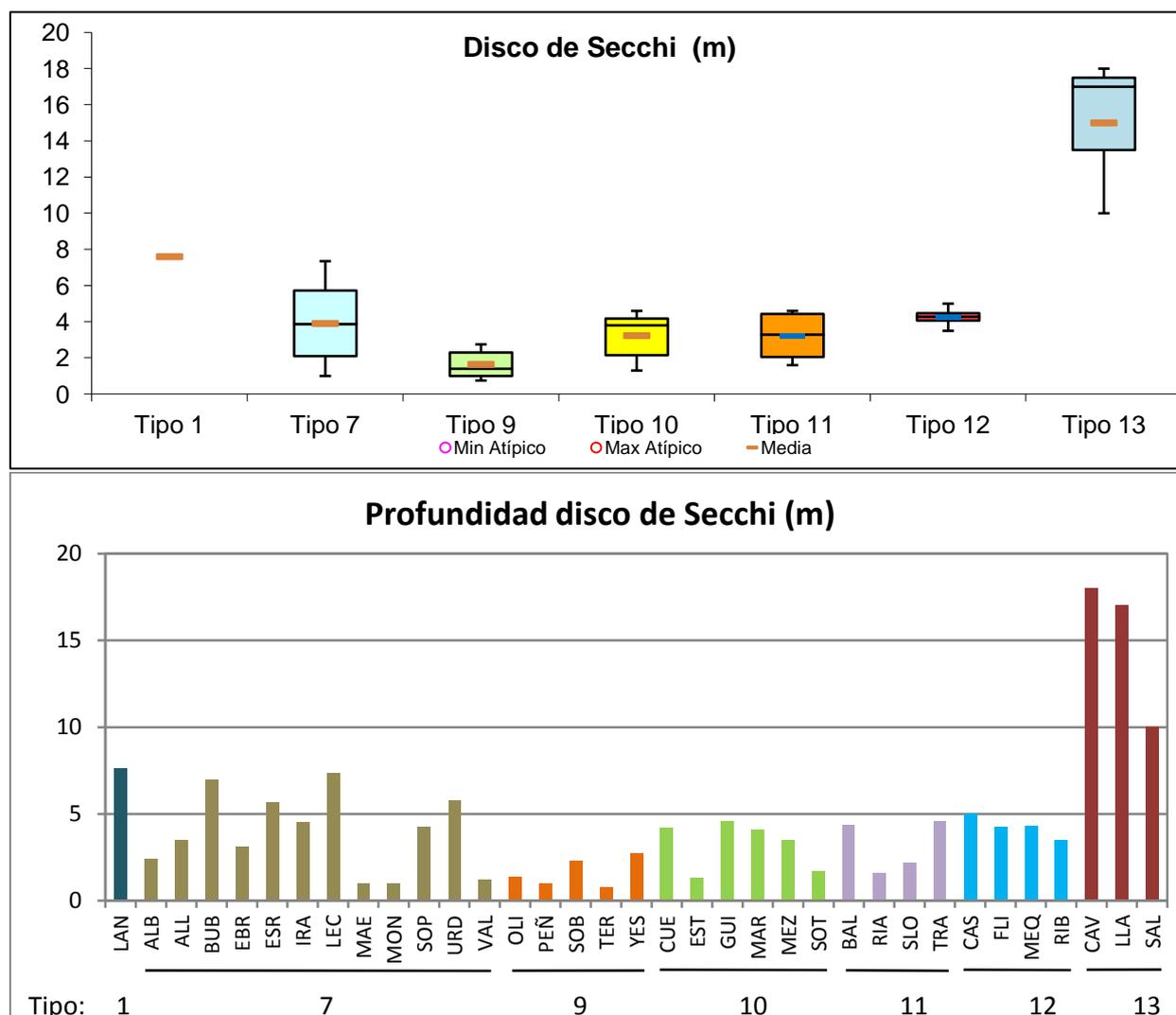


Figura 21. Conductividad media de la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 13.

## Análisis global de resultados por tipos de embalses.

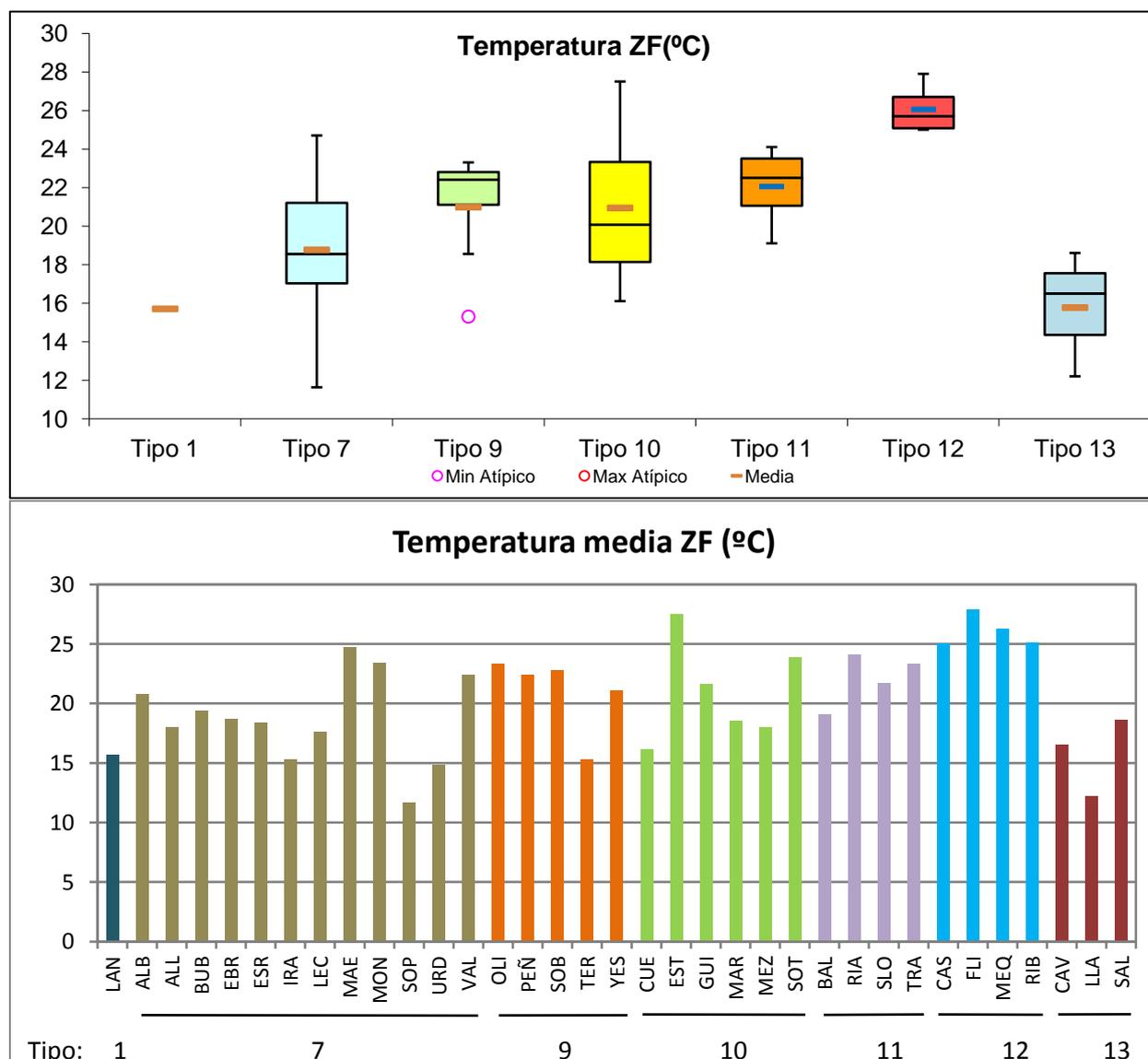
La transparencia del agua evaluada por el Disco de Secchi en los embalses de tipo 13 presentan los valores más elevados, seguidos del tipo 1, frente al tipo 9 que presenta los valores más bajos, cabe destacar la transparencia de los embalses del tipo 12 (figura 22).

El máximo absoluto correspondió a Cavallers (tipo 13), con 18 m. El mínimo absoluto de transparencia (0,8 m) correspondió al embalse de Terradets, del tipo 9.

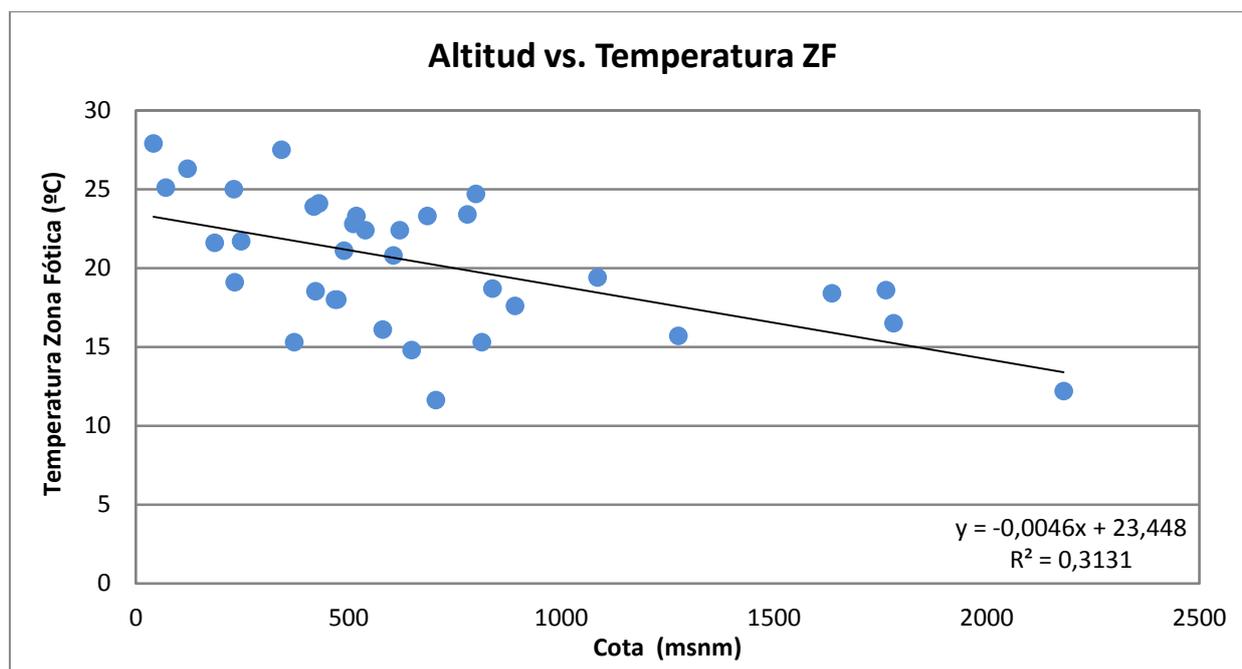


**Figura 22.** Transparencia (DS) para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Tipos: 1: silíceo / húmedo / cabecera / frío; 7: calcáreo / húmedo / cabecera / frío; 9: calcáreo / húmedo / red principal; 10: calcáreo / no húmedo / cabecera; 11: 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 que las temperaturas medias de los tipos aumentan progresivamente del tipo uno al tipo 12, y las mínimas se dan en el tipo 1 y 13, embalses de alta montaña. La diferencia entre la temperatura mínima del tipo 1 (15,7 °C) y la máxima del tipo 12 (26,08 °C), es de más de 10 grados. Destacar la temperatura mínima absoluta del tipo 7 en el embalse de Sopeira con 11,6 °C. La relación directa y negativa de la temperatura media en la ZF con la altitud del embalse se puede apreciar en la figura 24. Esta relación es significativa ( $r=0,56$ ;  $n=35$ ;  $p<0,001$ ).

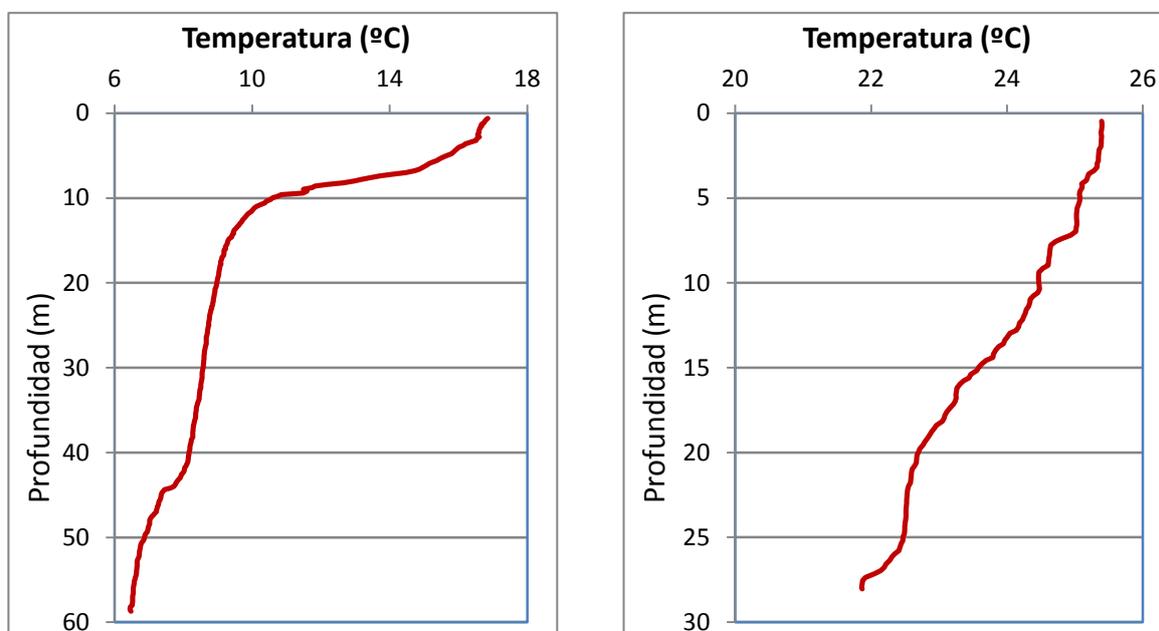


**Figura 23.** Valores de temperatura (media en la zona fótica) para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 22.



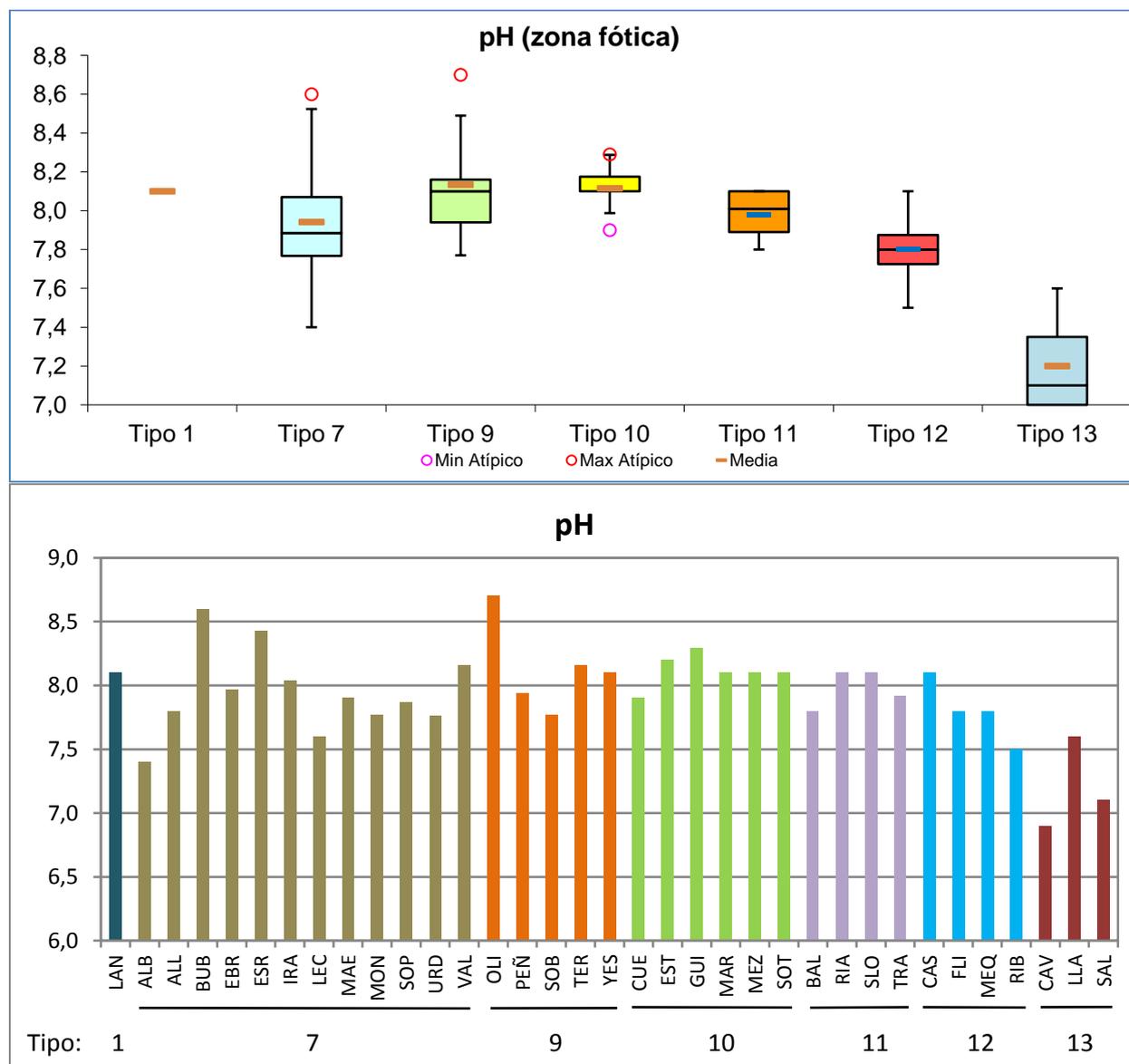
**Figura 24.** Regresión lineal de la temperatura (media zona fótica) frente a la altitud (en la presa).

En la siguiente figura 25 se muestran dos ejemplos de perfiles térmicos, un embalse bien estratificado (Llauset) y otro no estratificado (Ribarroja).



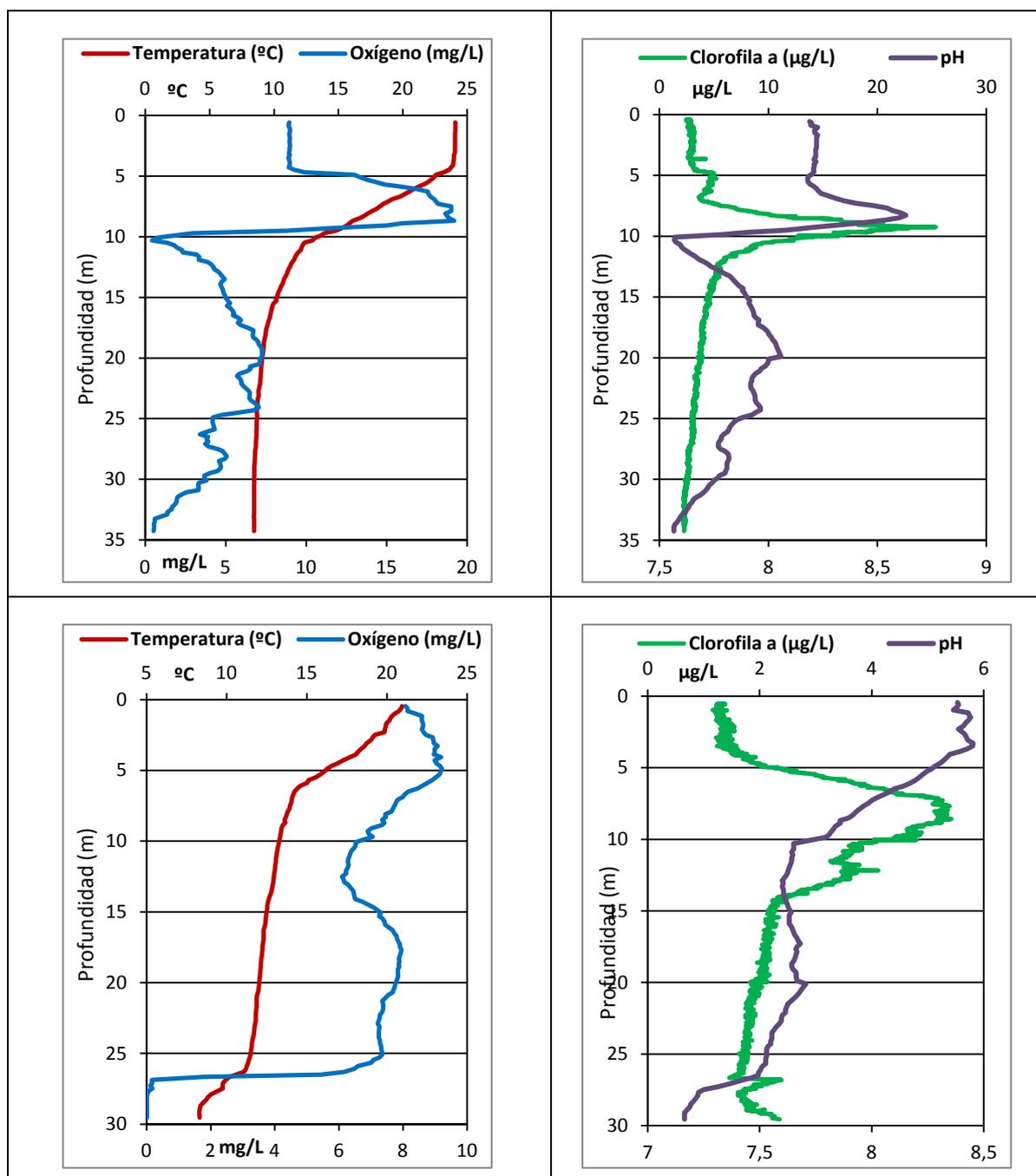
**Figura 25.** Perfiles de temperatura para los embalses de Llauset (izquierda) y Ribarroja (derecha) en 2015.

Respecto al **pH** (media de la ZF), resaltan los valores de pH más bajos en el tipo 13 y tipo 1 (figura 26). El resto de los tipos tienen medias similares, los promedios más elevados son los del tipo 9, 10 y 1. El valor puntual más alto se ha observado en el embalse de Búbal (tipo 7) en superficie, con un valor de 8,91.



**Figura 26.** 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 22.

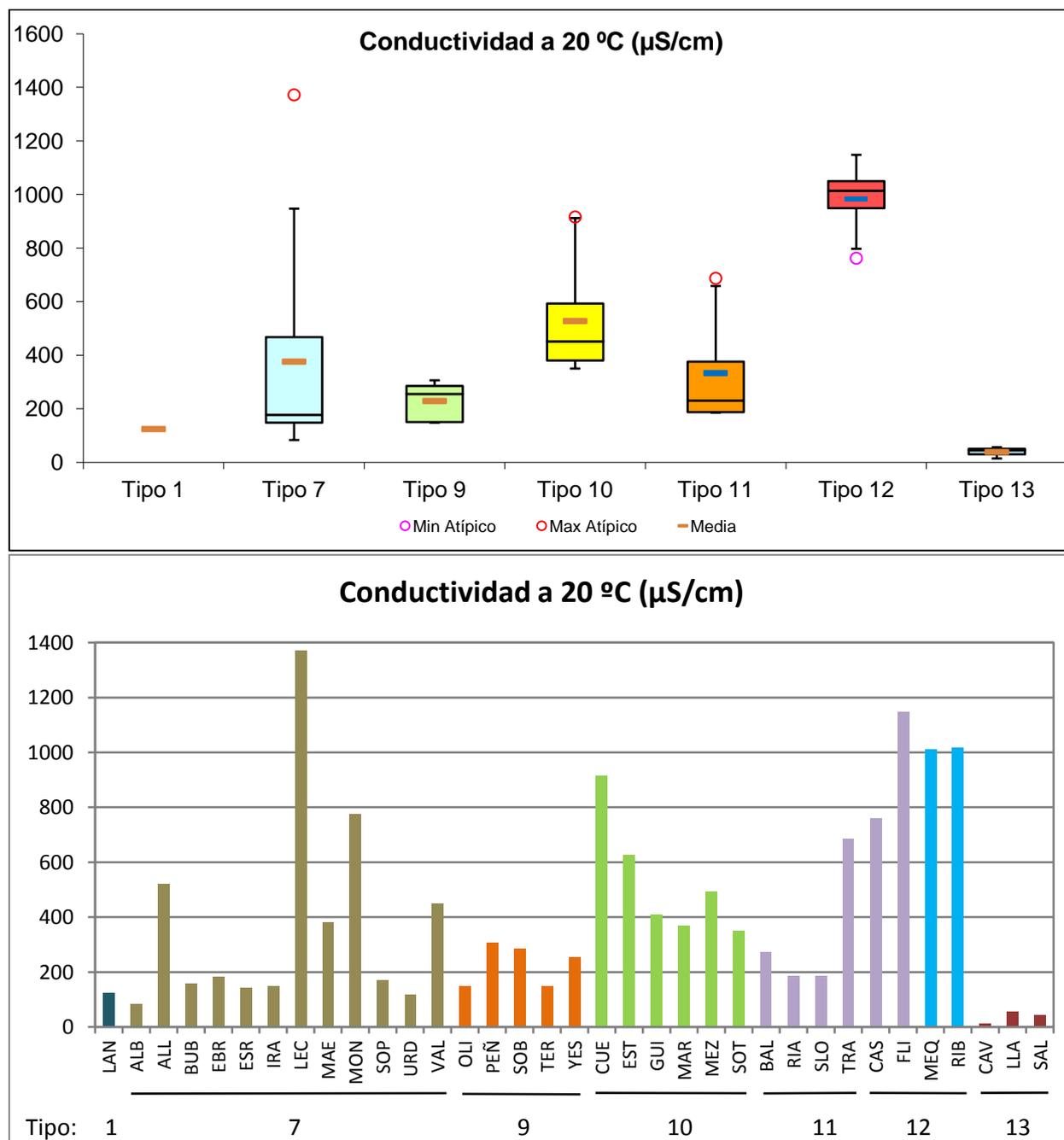
La tendencia general observada en los perfiles de pH es un descenso con la profundidad, detectando un máximo epilimnético coincidente con la zona de máximo oxígeno. Los ejemplos de la figura 27, muestran los embalses de Guiamets con un máximo y un mínimo metalimnéticos e Irabia con un máximo epilimnético y un mínimo hipolimnético.



**Figura 27.** Perfiles verticales de oxígeno, temperatura, Clorofila a y pH para los embalses de Guiamets (arriba) e Irabia (abajo), en la campaña de 2015.

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.

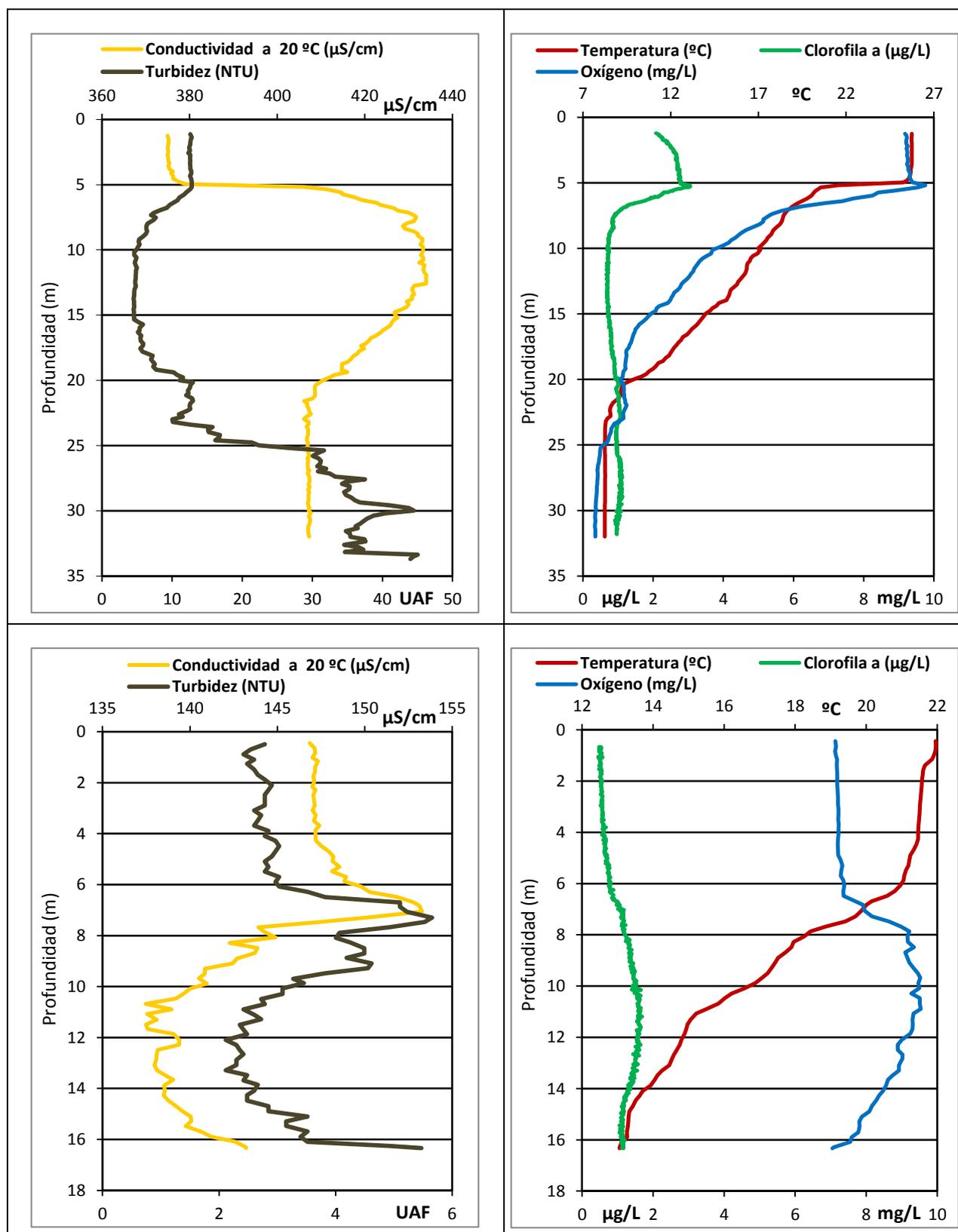
Respecto a la **conductividad** media en la zona fótica (figura 28), los valores más elevados se dan en el tipo 12 con 984  $\mu\text{S}/\text{cm}$  de media. Pero destaca el dato extremo en el tipo 7, de 1372  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en el embalse de Lechago. Mientras que el valor más bajo se da en el tipo 13, en embalses de alta montaña, con 38  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .



**Figura 28.** 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 22.

El dato extremo, máximo absoluto del ESTUDIO, se encuentra en Alloz a 11,5 m de profundidad, con un valor de 2096  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , no en vano se encuentra en el río Salado. 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 Albiña, Búbal, Escarra, Mezalocha y Urdalur donde la conductividad del fondo es menor que la de superficie. En los embalses de Caspe, Escarra, Guiamets, Lanuza y Llauset se alcanzan mínimos de conductividad ya sea en el metalimnion o en el hipolimnion. En cambio, en los embalses de Albiña, Caspe, Ebro, Escarra, Maidevera, Mezalocha, Rialb y Urdalur el máximo de conductividad se registra cerca de la superficie, entre los 5 y los 12 metros de profundidad. En los demás embalses las variaciones son poco relevantes.

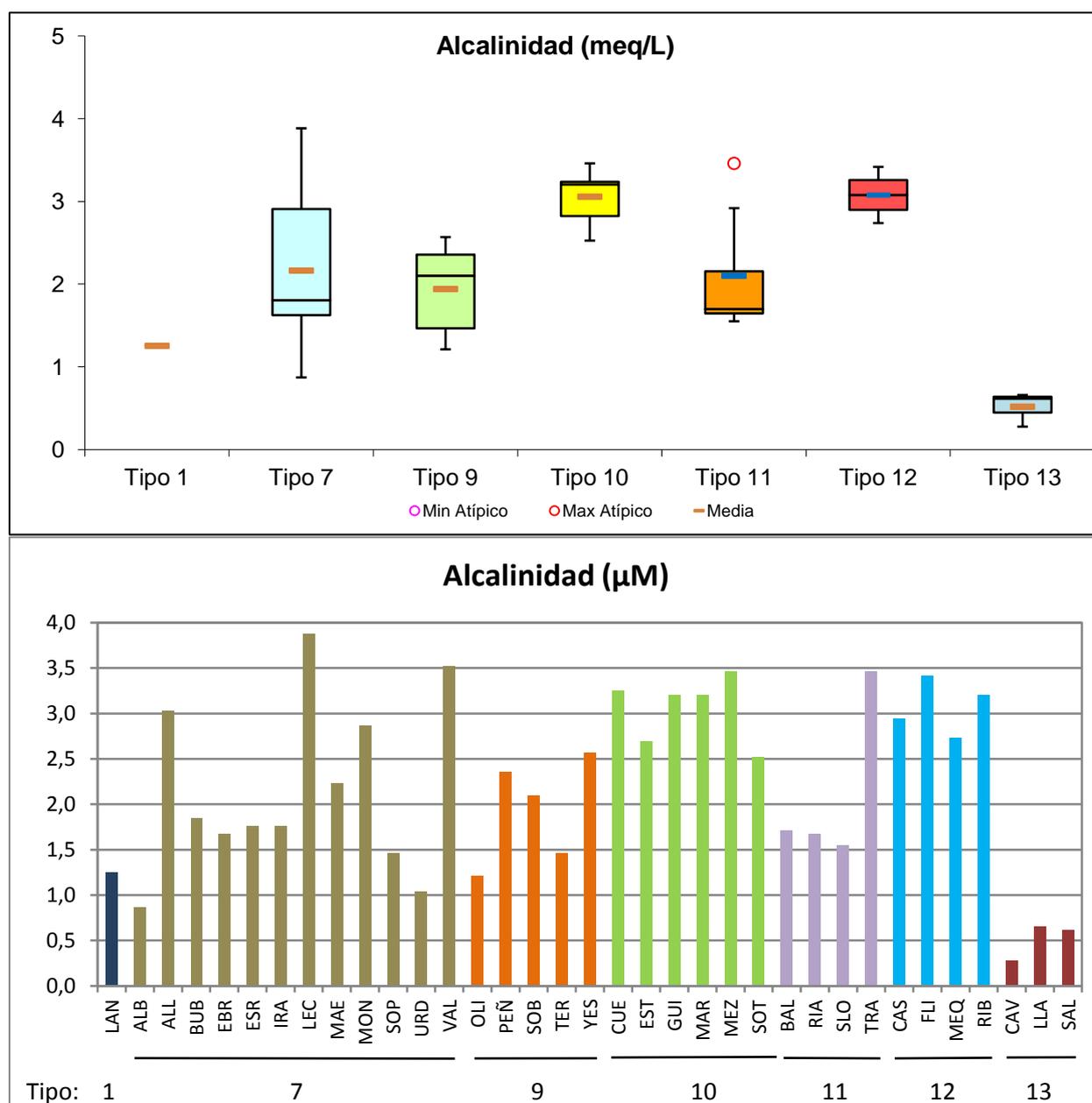
Las anomalías de la conductividad en el perfil vertical hay que explicarlas ayudándonos del perfil de valores de otras variables, para tratar de establecer la existencia de corrientes de densidad en capas concretas del perfil o aumentos debidos a la disolución de sales del sustrato o a la redisolución 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  $\text{CO}_2$  y el pH, entre otras muchas causas a estudiar en cada caso concreto.



**Figura 29.** Perfiles de conductividad, temperatura, Clorofila a y oxígeno para los embalses de Escarra en la parte superior, y Maidevera en la parte inferior, durante la campaña de 2015.

#### 4.2.2. Alcalinidad

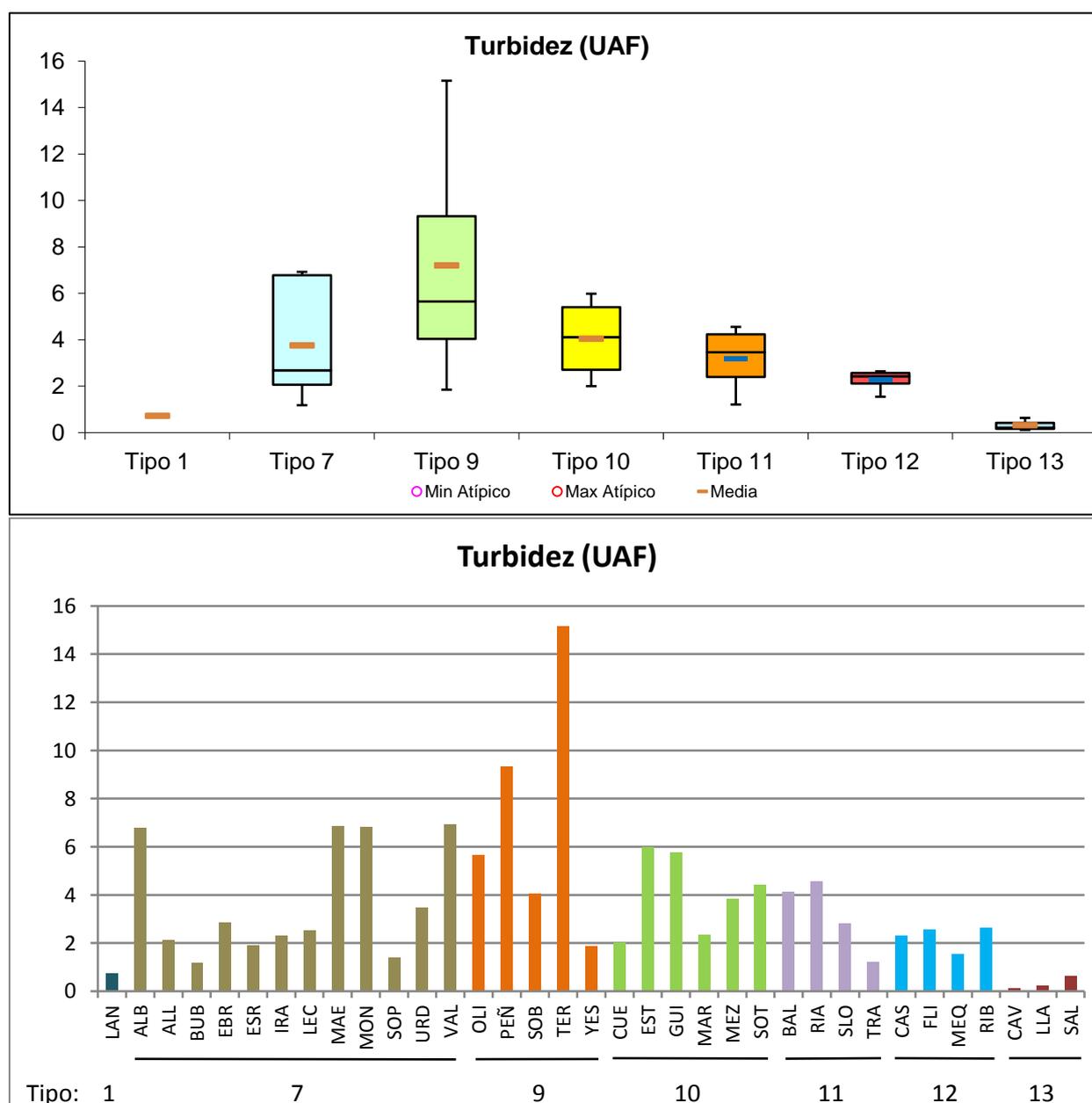
Las tendencias observadas en relación a la alcalinidad medida en la ZF (muestra integrada) se muestran en la figura 30. El tipo 13 muestra el valor más bajo de alcalinidad, con 0,5 meq/L. Los embalses de tipo 10 (calcáreo / no húmedo / en cabecera) y 12 (calcáreo / no húmedo / zonas bajas) muestran las alcalinidades más elevadas con valores de 3,1 meq/L. Puntualmente, los valores más elevados se han registrado en las muestras integradas de Lechago y El Val (ambos del tipo 7) con 3,88 y 3,52 meq/L respectivamente. El valor más alto de todo el ESTUDIO se ha encontrado en el fondo de embalse de Sobrón con 4,2 meq/L.



**Figura 30.** Valores de alcalinidad para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 22.

### 4.2.3. Turbidez

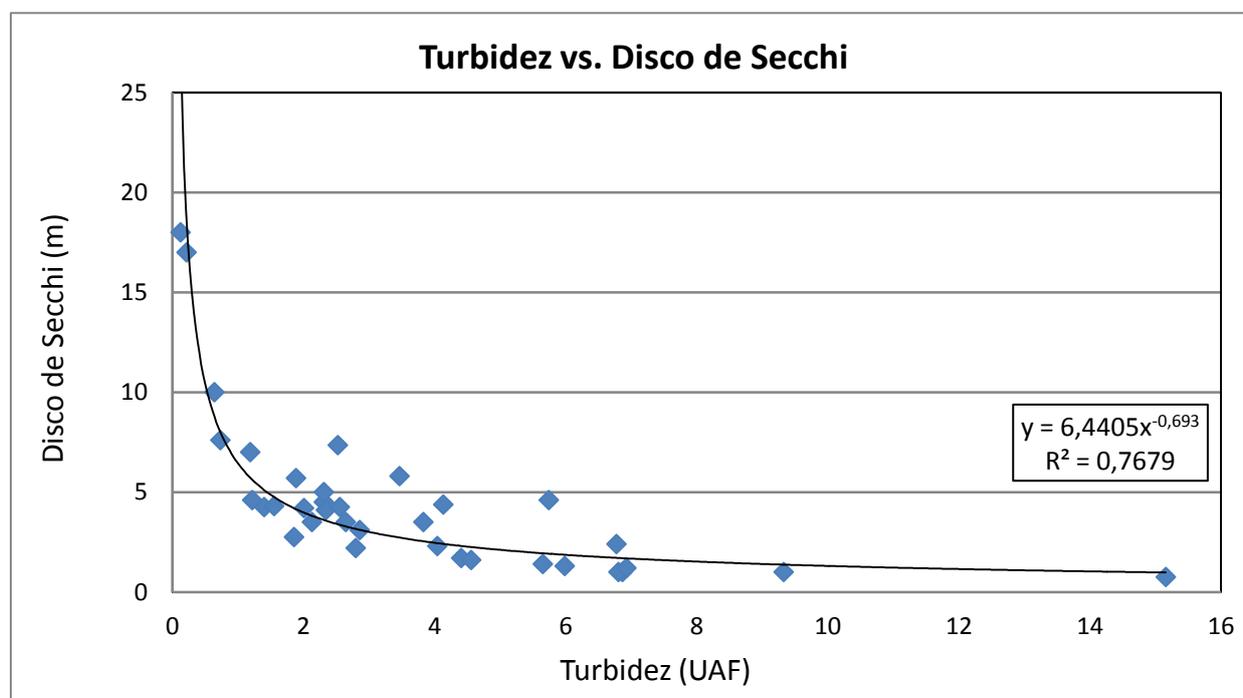
La turbidez fue baja en casi todos los tipos de embalses (figura 31), aunque si se aprecia un valor bastante más bajo en el tipo 13, con una media de 0,3 UAF. El valor más alto es el del tipo 9 con 7,2 UAF. El valor promedio para todos los embalses se encuentra en 3,68 UAF. El valor más bajo en la muestra integrada corresponde a Cavallers con 0,12 UAF, tipo 13, mientras que el valor máximo de todos los embalses es para el embalse de Terradets con 15,16 UAF, tipo 9, seguido de La Peña, también del tipo 9, con 9,33 UAF.



**Figura 31.** 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 22.

Los embalses de Terradets y La Peña, son cuerpos de agua someros y sujetos a una fuerte corriente de agua, además La Peña esta sometido a fuertes vientos predominantes que hacen resuspender los sedimentos.

Las medidas observadas en relación a la turbidez en la zona fótica (muestra integrada analizada en laboratorio) muestran una relación negativa, de tipo potencial, significativa ( $r=0,876$ ;  $n=35$ ;  $p<0,001$ ) con la transparencia medida en campo (disco de Secchi, DS). Dicha relación se muestra en la figura 32. Así, los embalses antes citados con mayor turbidez son también los que han presentado menor profundidad de visión del Disco de Secchi, con valores cercanos o inferiores a 1 m.



**Figura 32.** 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 O<sub>2</sub> 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 O<sub>2</sub> /L
- *Buenas condiciones*: concentración entre 8 y 6 mg O<sub>2</sub>/L
- *Moderadas condiciones*: concentración entre 6 y 4 mg O<sub>2</sub>/L
- *Deficientes condiciones*: concentración de entre 4 y 2 mg O<sub>2</sub>/L
- *Malas condiciones*: concentraciones hipóxicas o anóxicas (<2 mg O<sub>2</sub> /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 y Chiaduani, 1992).

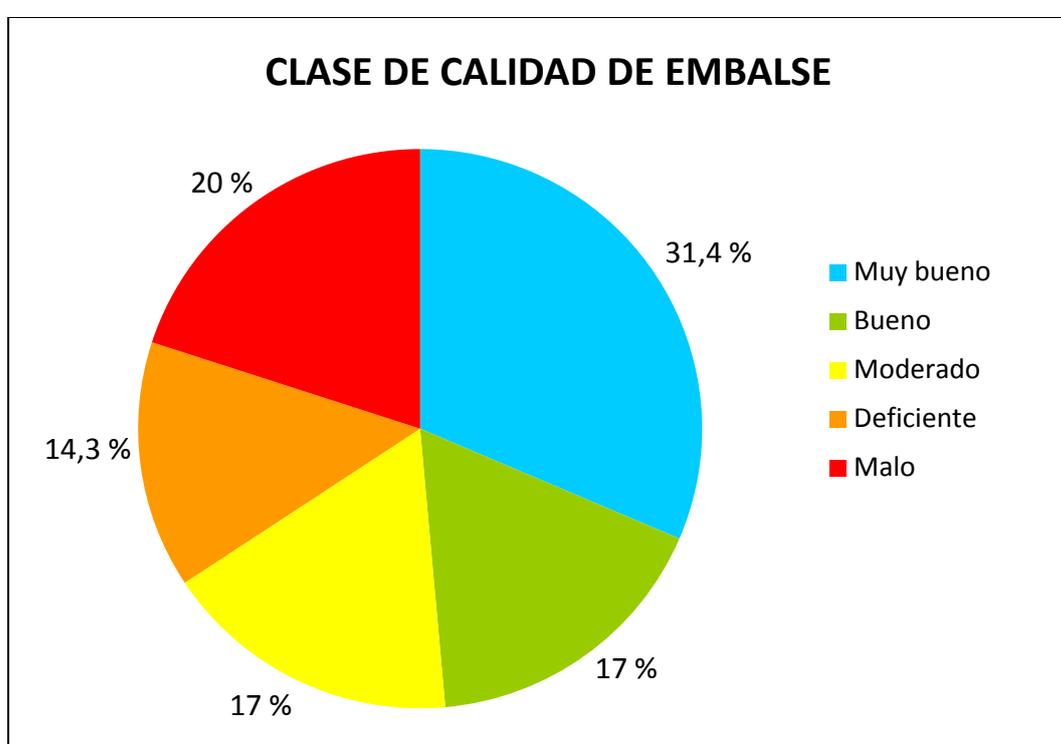
En la tabla 8 y la figura 33, se resumen los resultados obtenidos.

**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 <sub>2</sub> /L)	OXÍGENO HIPOLIMNION (mg O <sub>2</sub> /L)	CLASE CALIDAD
EB 1	Ebro	24/06/2015	5,90	No estratificado	Moderado
EB 4	Irabia	23/06/2015	8,76	1,09	Malo
EB 5	Albiña	23/06/2015	8,41	2,84	Deficiente
EB 19	Lanuzá	20/07/2015	8,58	7,84	Bueno
EB 22	Sobrón	29/07/2015	6,55	0,52	Malo
EB 25	Búbál	21/07/2015	8,07	No estratificado	Muy bueno
EB 27	Alloz	01/07/2015	8,86	5,03	Moderado
EB 37	Yesa	30/06/2015	8,96	6,86	Bueno
EB 44	La Peña	30/06/2015	6,80	No estratificado	Bueno
EB 45	Sopeira	14/07/2015	9,19	No estratificado	Muy bueno
EB 53	Oliana	6/07/2015	9,26	4,48	Moderado
EB 59	Terradets	16/06/2015	8,41	No estratificado	Muy bueno
EB 62	Sotonera	28/07/2015	5,31	No estratificado	Moderado
EB 63	Rialb	27/07/2015	5,41	4,65	Moderado
EB 67	San Lorenzo	28/07/2015	8,11	No estratificado	Muy bueno
EB 68	El Val	29/06/2015	9,71	3,11	Deficiente
EB 70	Mequinenza	03/08/2015	7,88	0,36	Malo
EB 71	Mezalocha	09/06/2015	7,11	No estratificado	Bueno
EB 72	Margalef	17/06/2015	9,70	2,30	Deficiente
EB 74	Flix	04/08/2015	3,62	No estratificado	Deficiente
EB 76	La Tranquera	22/07/2015	7,62	No estratificado	Bueno
EB 78	Caspe	05/08/2015	7,47	0,41	Malo
EB 79	Guiamets	16/06/2015	9,35	4,50	Moderado
EB 80	Cueva Foradada	08/06/2015	9,01	1,51	Malo
EB 87	Lechago	08/07/2015	7,12	0,68	Malo
EB 550	Urdalur	22/06/2015	8,60	8,50	Muy bueno
EB 823	Maidevera	07/07/2015	9,28	0,66	Malo
EB 949	Ribarroja	04/08/2015	2,97	No estratificado	Deficiente
EB 951	Escarra	21/07/2015	7,22	8,47	Muy bueno
EB 952	Sallente	13/07/2015	8,36	Sin datos	Muy bueno
EB 953	Llauset	15/07/2015	7,80	9,20	Muy bueno
EB 1022	La Estanca de Alcañiz	04/08/2015	9,21	No estratificado	Muy bueno
EB 1043	Cavallers	14/07/2015	10,26	Sin datos	Muy bueno
EB 1049	Balaguer	16/06/2015	8,84	No estratificado	Muy bueno
EB 1681	Monteagudo de las Vicarías	07/07/2015	6,01	No estratificado	Bueno

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

- De las masas de agua estudiadas, presentaron estratificación 19, que suponen el 54 %.
- La calidad de las masas de agua según la oxigenación es óptima en un 31,4 % de los embalses, como se refleja en la figura 33, la clase más abundante.
- Las masas de agua con niveles bajos de oxigenación (nivel de calidad deficiente o mala, un 34 %) 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.

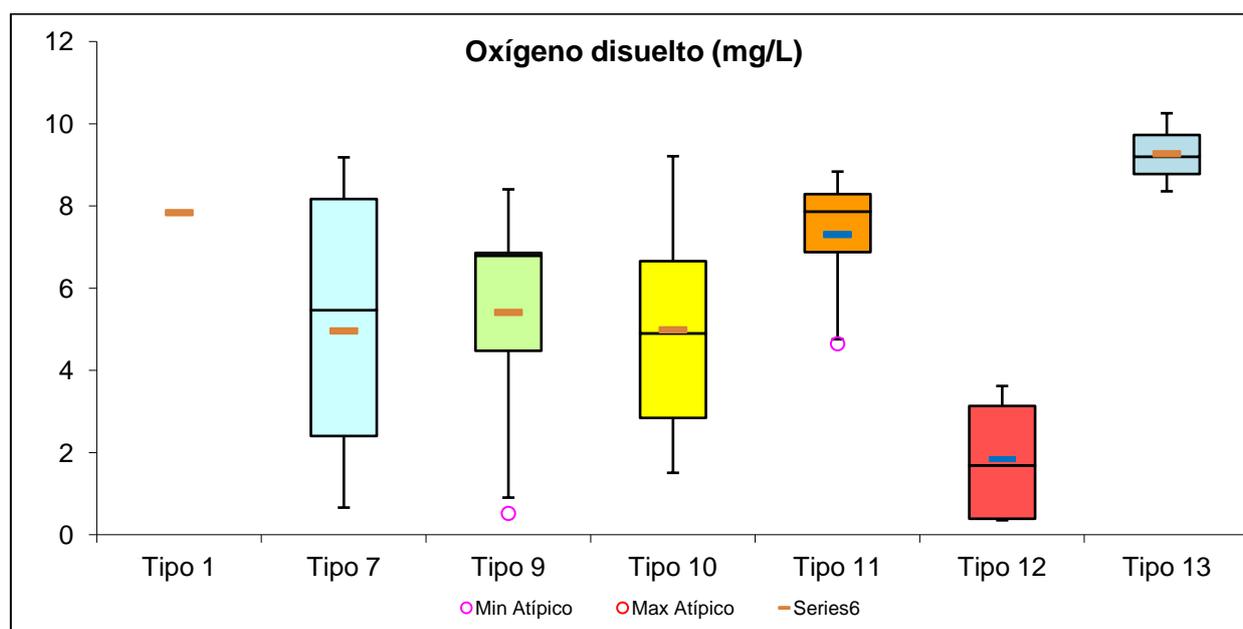


**Figura 33.** Estimaciones de la calidad de los embalses según el grado de oxigenación en 2015.

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 como, en general, los embalses estudiados presentan una oxigenación deficiente, siendo el valor más bajo para el tipo 12 (figura 34). Se destaca la baja oxigenación (valor inferior a 5 mg O<sub>2</sub>/L) en el promedio de la columna de agua en los embalses de Flix y Ribarroja del tipo 12. Los máximos de oxígeno se alcanzan normalmente a profundidades comprendidas entre los 2 y los 8 metros. El máximo de oxígeno puntual se encuentra en Guiamets (tipo 10) y se sitúa a unos 8,5 m de profundidad, con un valor de 19,2 mg/L. Los

tipos 7, 9, 10 y 12 presentan algún embalse con zona anóxica, siendo un total de 14 embalses con zona anóxica. Las más importantes por su espesor son las de Mequinzenza con 33 m, Caspe con 22 m, Maidevera con 16 m, y Sobrón con 12 m. En otros 21 embalses no existe zona anóxica.

Señalar el cambio producido en el embalse de Sobrón, en el cual ha vuelto a aparecer el hipolimnion anóxico, con 12,2 metros de agua con una concentración menor a 2 mg/L.



**Figura 34.** Concentraciones de oxígeno disuelto hipolimnético o de la columna para los diferentes tipos de embalses del ESTUDIO. Tipología de embalses: 1: silíceo / húmedo / cabecera / frío; 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 verano de 2015, 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.

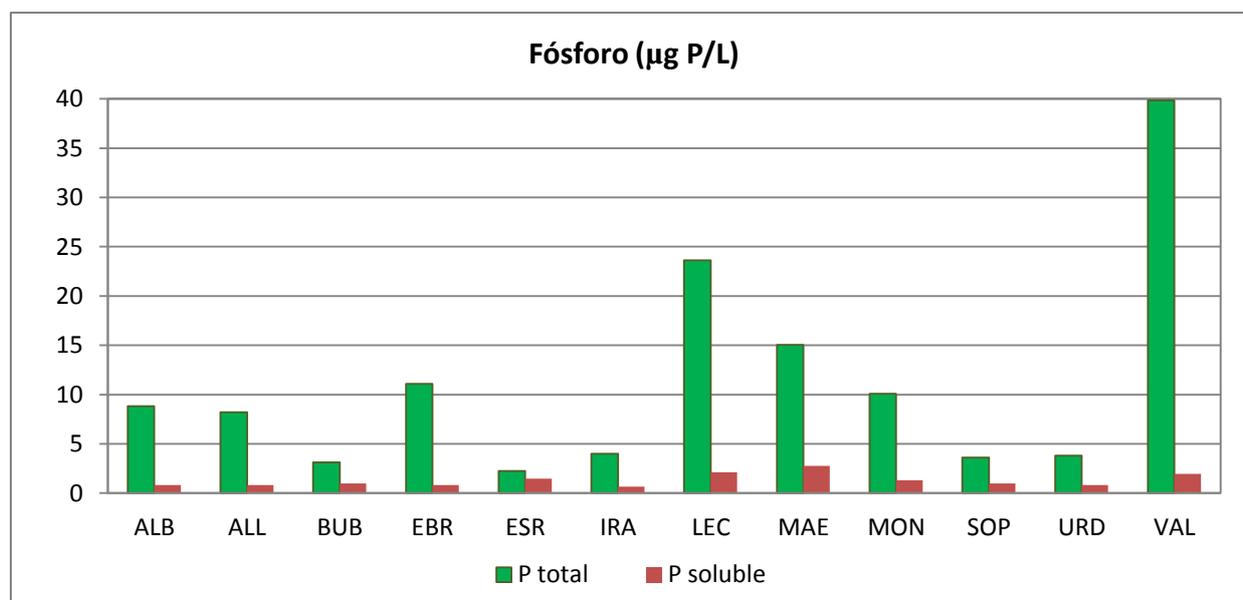
**Tabla 9.** Concentración de nutrientes en los embalses estudiados en 2015.

Abrev	Tipo	Nitrato (mg/L)	Nítrito (mg/L)	NIO (mg N/L)	Amonio (mg N/L)	NIT (mg N/L)	Ntot (mg N/L)	Ptot (µg P/L)	Psol (µg P/L)	Silicato (mg SiO <sub>2</sub> /L)
LAN	1	0,35	0,004	0,08	0,030	0,110	0,15	9,15	1,46	1,91
ALB	7	1,18	0,008	0,27	0,018	0,286	0,38	8,83	0,81	3,68
ALL	7	4,77	0,033	1,09	0,001	1,089	1,22	8,21	0,81	1,03
BUB	7	0,36	0,006	0,08	0,017	0,101	0,17	3,11	0,97	2,07
EBR	7	1,05	0,021	0,24	0,028	0,272	0,43	11,08	0,81	1,07
ESR	7	0,13	0,003	0,03	0,014	0,046	0,12	2,25	1,46	1,03
IRA	7	0,63	0,004	0,14	0,051	0,194	0,20	3,98	0,65	1,71
LEC	7	3,10	0,065	0,72	0,094	0,814	1,03	23,64	2,10	16,24
MAE	7	7,69	0,055	1,75	0,021	1,774	1,99	15,02	2,75	1,01
MON	7	5,83	0,077	1,34	0,035	1,375	1,59	10,07	1,29	2,62
SOP	7	0,90	0,031	0,21	0,012	0,223	0,26	3,59	0,98	3,95
URD	7	0,78	0,005	0,18	0,024	0,201	0,29	3,81	0,81	4,74
VAL	7	8,87	0,156	2,05	0,027	2,077	2,41	39,84	1,95	1,15
OLI	9	0,52	0,044	0,13	0,014	0,146	0,27	14,85	1,13	0,44
PEÑ	9	0,72	0,017	0,17	0,027	0,195	0,34	27,61	0,97	3,28
SOB	9	1,86	0,015	0,42	0,032	0,456	0,57	20,27	1,29	3,31
TER	9	1,05	0,032	0,25	0,004	0,251	0,27	21,20	0,81	4,48
YES	9	1,30	0,010	0,30	0,009	0,306	0,33	4,54	0,65	1,84
CUE	10	2,48	0,032	0,57	0,096	0,665	0,84	7,14	1,49	1,02
EST	10	3,41	0,046	0,78	0,023	0,807	0,88	9,08	0,80	9,83
GUI	10	0,00	0,001	0,00	0,002	0,003	0,23	13,10	1,47	1,12
MAR	10	0,33	0,004	0,07	0,007	0,082	0,25	6,21	2,44	4,20
MEZ	10	12,09	0,081	2,75	0,058	2,812	3,26	12,02	1,16	2,70
SOT	10	1,43	0,023	0,33	0,007	0,336	0,45	11,09	1,29	3,35
BAL	11	1,74	0,015	0,40	0,013	0,410	0,48	15,00	0,65	4,60
RIA	11	0,42	0,011	0,10	0,032	0,131	0,29	19,23	0,81	1,21
SLO	11	1,18	0,011	0,27	0,022	0,291	0,31	13,51	1,78	4,80
TRA	11	7,63	0,063	1,74	0,027	1,768	1,89	12,44	0,81	2,94
CAS	12	3,97	0,153	0,94	0,060	1,003	1,02	9,25	0,32	1,90
FLI	12	8,06	0,155	1,87	0,038	1,905	2,04	40,43	31,39	4,84
MEQ	12	6,82	0,146	1,58	0,019	1,603	1,73	5,65	1,13	2,57
RIB	12	8,37	0,066	1,91	0,032	1,942	2,08	31,52	6,44	5,33
CAV	13	0,59	0,003	0,14	0,008	0,143	0,19	2,56	2,45	2,04
LLA	13	0,76	0,004	0,17	0,010	0,182	0,22	0,85	0,82	3,06
SAL	13	0,38	0,005	0,09	0,020	0,107	0,18	1,88	0,65	3,28

## A Tipo 1. Embalse de Lanuza.

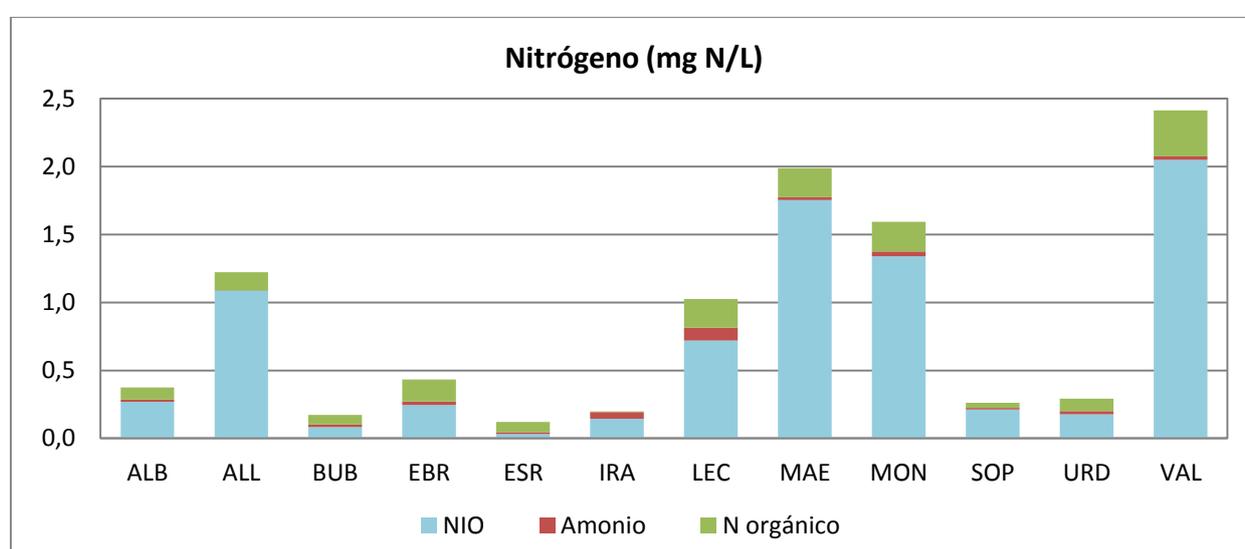
- El fósforo total presenta un valor muy por debajo de la media de todos los embalses, con una concentración de 9,15 µg P/L. Los valores de P soluble son también bajos, 1,46 µg P/L.
- En este embalse, la concentración media de nitrógeno inorgánico oxidado o NIO (nitratos + nitritos) en la ZF fue de 0,08 mg N/L.
- El amonio presenta valores bajos, 0,03 mg N-NH<sub>4</sub>/L.
- El nitrógeno inorgánico total alcanza un valor de 0,11 mg N/L
- El nitrógeno total presentó valores muy bajos, siendo la concentración en el embalse de Lanuza de 0,15 mg N/L.
- La sílice soluble presenta en este embalse valores bajos, en comparación con el conjunto de embalses estudiados. El embalse de Lanuza presenta una concentración de 1,91 mg SiO<sub>2</sub>/L.

## B Tipo 7. Embalses de Albiña, Alloz, Búbal, Ebro, Escarra, Irabia, Lechago, Maidevera, Monteagudo de las Vicarías, Sopeira, Urdalur y El Val.



**Figura 35.** Valores de Fósforo total y soluble en la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 7.

➤ El fósforo total en los embalses de tipo 7 presenta una media de 11,12 µg P/L. El rango de variación oscila entre los 2,25 µg P/L del embalse de Escarra, hasta los 39,84 µg P/L del embalse de El Val, muy por encima de la media, como puede verse en la figura 35. También la superan el embalse de Lechago y Maidevera. Además, se puede observar que cinco de los doce embalses se sitúan muy por debajo de la media, Búbal, Escarra, Irabia, Sopeira y Urdalur. La concentración de P soluble se sitúa, a nivel global, por debajo de la media de todos los embalses con una media de 1,28 µg P/L. Los valores más elevados se encontraron en los embalses de Lechago y Maidevera, con valores de 2,10 y 2,75 µg P/L respectivamente. Hay que destacar el bajo P soluble registrado en El Val, 1,95 µg P/L, ya que solo supone el 4,89 % del P total, el más bajo para este tipo.



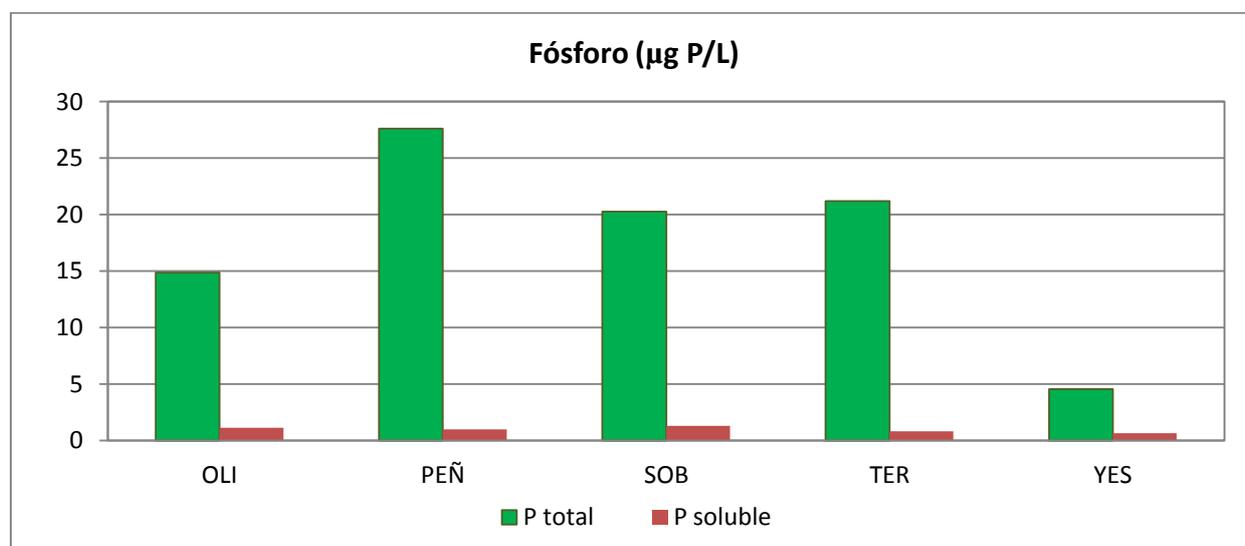
**Figura 36.** Valores de N Total indicando Nitrógeno Inorgánico Oxidado (NIO), Amonio y N orgánico en la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 7.

➤ En cuanto al contenido en NIO, la media es de 0,68 mg N/L. Destacan tres embalses muy por encima de la media, el embalse de El Val, con una concentración de 2,05 mg N/L, seguido del embalse de Maidevera con una concentración de 1,75 mg N/L y Monteagudo de las Vicarías con 1,34 mg N/L. El valor mínimo corresponde al embalse de Escarra con un valor de 0,03 mg N/L.

➤ En los embalses de tipo 7 el amonio presenta valores promedio de 0,029 mg N-NH<sub>4</sub>/L. El valor más elevado corresponde a Lechago con 0,094 mg N-NH<sub>4</sub>/L. Destacar el porcentaje de amonio sobre el nitrógeno total de Irabia, el más elevado de todo el ESTUDIO con el 25,6 %. Un embalse, Alloz, presenta un valor por debajo de límite de detección.

- 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 Maidevera con 1,77 mg N/L, mientras que los más bajos corresponden al embalse de Escarra con 0,046 mg N/L.
- El nitrógeno total (NT) presentó un valor medio de 0,84 mg N/L, valor muy similar a la media de todos los embalses. El rango de variación fue desde los 0,12 mg N/L del embalse de Escarra, hasta los 2,41 mg N/L de El Val. Para los embalses del tipo 7, el porcentaje de la fracción inorgánica ha variado mucho, pero fue mayor del 50 % de N total en todos los embalses.
- La máxima concentración de sílice de este tipo se presenta en el embalse de Lechago, con 16,24 mg SiO<sub>2</sub>/L, seguido de Urdalur con 4,74 mg SiO<sub>2</sub>/L. La media del tipo es de 3,36 mg SiO<sub>2</sub>/L.

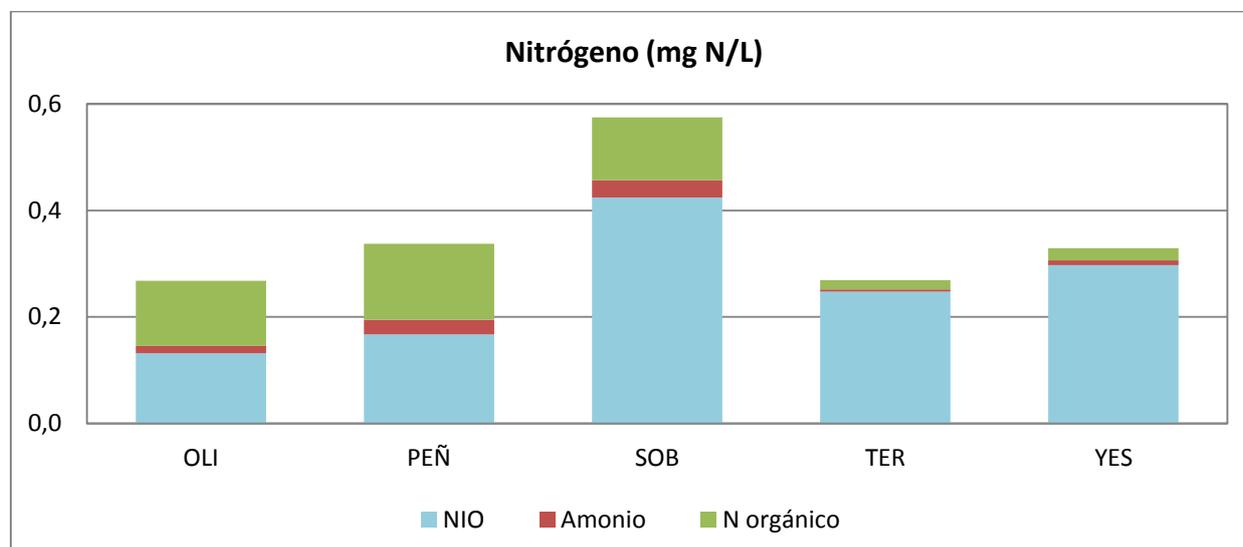
### C Tipo 9. Embalses de Oliana, La Peña, Sobrón, Terradets y Yesa.



**Figura 37.** Valores de Fósforo total y soluble en la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 9.

- El fósforo total en las muestras de los embalses de tipo 9 presenta un valor medio de 17,69 µg P/L, por encima de la media global de todos los embalses. El rango de variación oscila entre los 4,54 µg P/L en el embalse de Yesa, hasta el valor del embalse de La Peña, de 27,61 µg P/L. La media de los valores de P soluble en este tipo de embalses es la más baja de todos los tipos, con un valor de 0,97 µg P/L, respecto a la media de 2,22 µg P/L para el

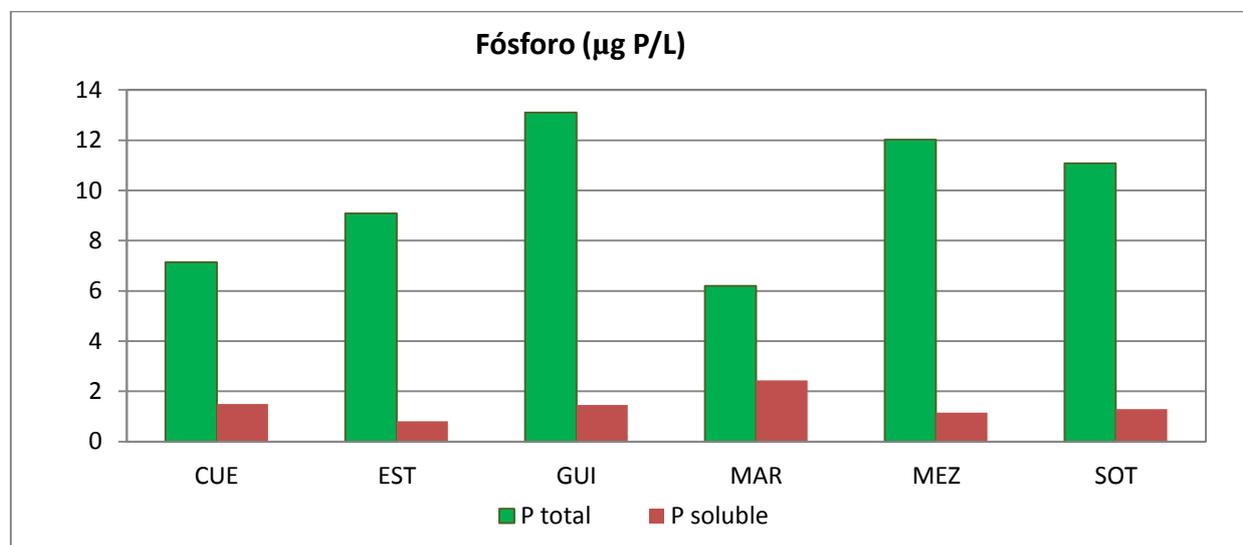
conjunto de los 35 embalses de 2015. Además, el porcentaje de P soluble frente al total, en todos los embalses es bajo, solo destacaría con un 14,28 % el embalse de Yesa.



**Figura 38.** Valores de N Total indicando Nitrógeno Inorgánico Oxidado (NIO), Amonio y N orgánico en la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 9.

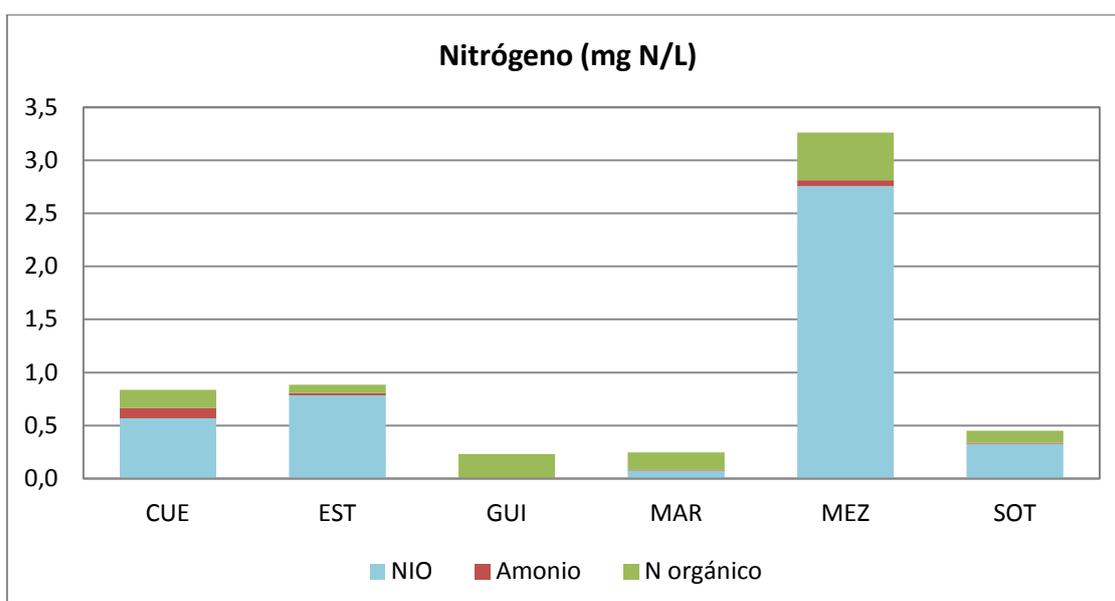
- El NIO en las muestras de los embalses de tipo 9 presenta concentraciones moderadas respecto a la media total de 0,66 mg N/L, con un valor medio de 0,25 mg N/L y oscila entre los 0,13 de Oliana y los 0,42 mg N/L de Sobrón.
- En los embalses de tipo 9 el valor promedio de amonio es de 0,017 de mg N-NH<sub>4</sub>/L, el tercero más alto de todos los tipos, aunque dos embalses, Terradets y Yesa tienen valores por debajo del límite de detección.
- El NT presentó un valor medio moderado a bajo, de 0,36 mg N/L. El rango de variación fue desde los 0,27 mg N/L en los embalses de Oliana y Terradets, hasta los 0,57 mg N/L de Sobrón. La aportación de la fracción orgánica al N total en este tipo de embalses es del 24 % de media.
- El contenido en sílice presenta una media en los embalses del tipo 9 de 2,67 mg SiO<sub>2</sub>/L, la segunda más baja de todos los tipos. La concentración fluctúa entre el valor mínimo de 0,44 mg SiO<sub>2</sub>/L (embalse de Oliana) y la máxima de 4,48 mg SiO<sub>2</sub>/L en el embalse de Terradets.

### D Tipo 10. Embalses de Cueva Foradada, La Estanca de Alcañiz, Guiamets, Margalef, Mezalocha y La Sotonera.



**Figura 39.** Valores de Fósforo total y soluble en la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 10.

➤ El fósforo total en las muestras integradas de los embalses de tipo 10 presenta un valor medio de 9,77 µg P/L, el tercero más bajo de todos los tipos. El rango de variación oscila entre los 6,21 µg P/L en el embalse de Margalef hasta los 13,10 µg P/L del embalse de Guiamets. Los valores de P soluble en este tipo de embalses, tienen una media de 1,44 µg P/L. El valor más bajo es el de La Estanca de Alcañiz, con un valor de 0,8 µg P/L. El porcentaje de P soluble solo supera el 12 % del P total en los embalses de Cueva Foradada (20,9%) y Margalef (39,4%).



**Figura 40.** Valores de N Total indicando Nitrógeno Inorgánico Oxidado (NIO), Amonio y N orgánico en la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 10.

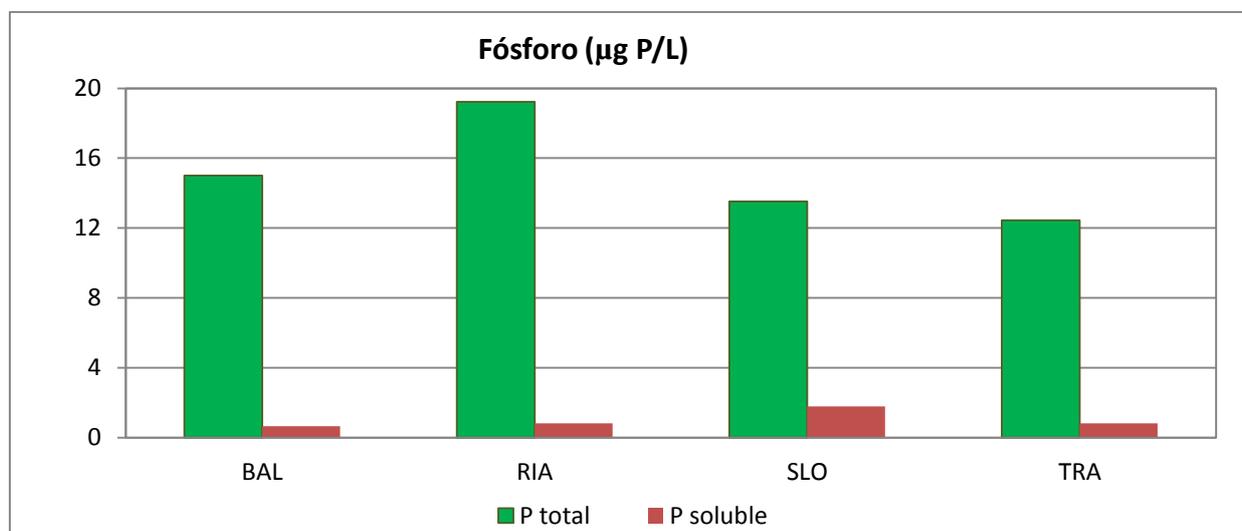
➤ El contenido en NIO, con un valor medio de 0,75 mg N/L, es ligeramente superior a la media de todos los tipos. Los valores oscilan entre los 2,75 mg N/L en el embalse de Mezalocha, el valor más alto de todo el ESTUDIO, y la concentración por debajo del nivel de detección del embalse de Guiamets. En relación al porcentaje del N total representado por esta fracción inorgánica, el embalse de Guiamets presenta porcentajes inferiores al 1 %, mientras que Mezalocha y La Estanca de Alcañiz superan el 80 %.

➤ El amonio presenta una concentración media de 0,032 N-NH<sub>4</sub>/L, siendo el tipo con la segunda media más alta por detrás del tipo 12. Dos embalses, Margalef y La Sotonera, presentan concentraciones por debajo del nivel de detección. Los valores más elevados son los de los embalses de Cueva Foradada y Mezalocha con 0,096 y 0,058 mg N-NH<sub>4</sub>/L respectivamente.

➤ El NT presentó un valor medio de 0,99 mg N/L, el segundo más alto de todos los tipos. El rango de variación fue amplio, desde los 0,23 mg N/L del embalse de Guiamets, hasta los 3,26 mg N/L de Mezalocha, el más alto de todo el ESTUDIO. La aportación de la fracción orgánica al N total para este tipo de embalses ha presentado el porcentaje más elevado de todo el ESTUDIO con un 98,8 % en el embalse de Guiamets.

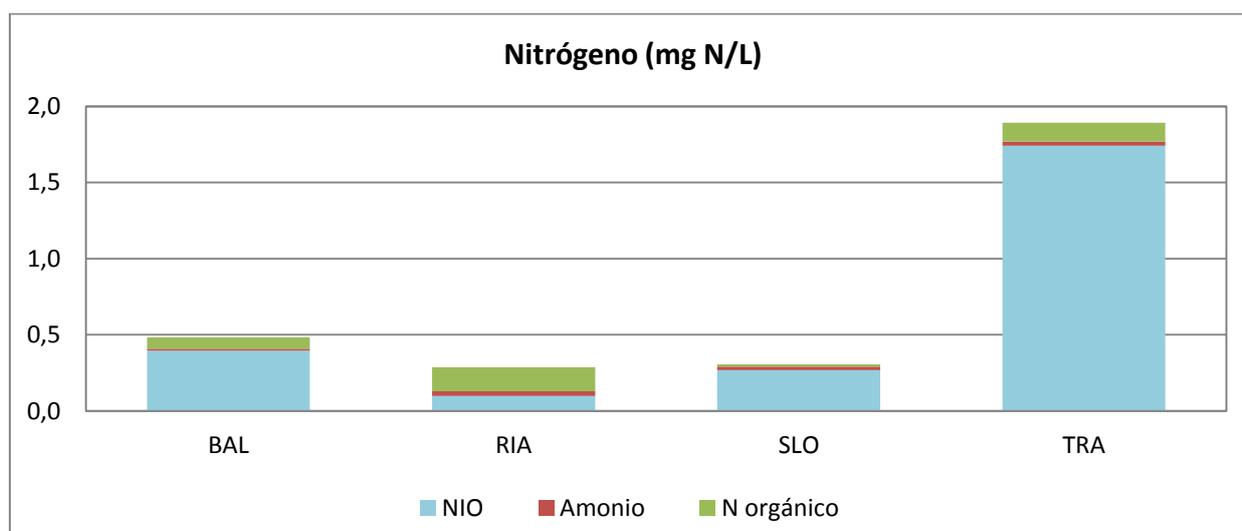
➤ Los valores medios de sílice son de 3,70 mg SiO<sub>2</sub>/L, la media más alta de todos los tipos. Los valores más elevados se encuentran en los embalses de Margalef con 4,20 y La Estanca de Alcañiz sobrepasando los 9 mg SiO<sub>2</sub>/L.

## E Tipo 11. Embalses de Balaguer, Rialb, San Lorenzo y La Tranquera.



**Figura 41.** Valores de Fósforo total y soluble en la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 11.

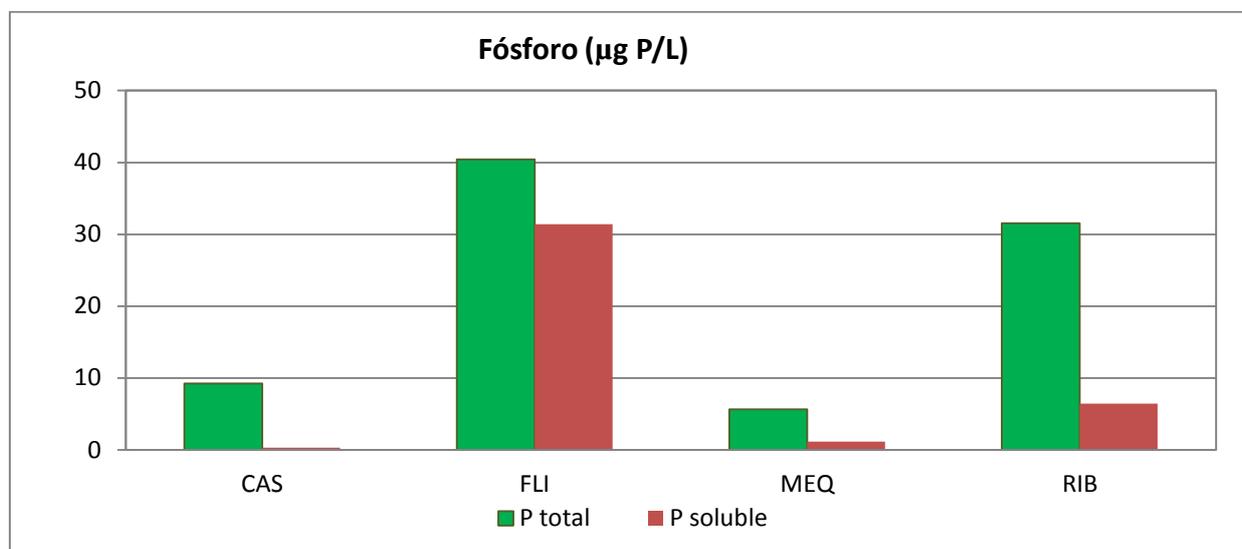
➤ El fósforo total en las muestras de los embalses de tipo 11 presenta un valor medio de 15,04 µg P/L, poco mayor que la media total. El embalse de Rialb destaca por tener la más elevada concentración de PT, de 19,23 µg P/L. El valor más bajo se presenta en La Tranquera con 12,44 µg P/L, por lo que la variación dentro de este grupo es pequeña. Los valores de P soluble son bajos en este tipo de embalses, con una media de 1,01 µg P/L. El valor más bajo se presenta con 0,65 µg P/L en el embalse de Balaguer. El porcentaje de P soluble es muy bajo, excepto en San Lorenzo que respresenta un 13,2 % del total.



**Figura 42.** Valores de N Total indicando Nitrógeno Inorgánico Oxidado (NIO), Amonio y N orgánico en la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 11.

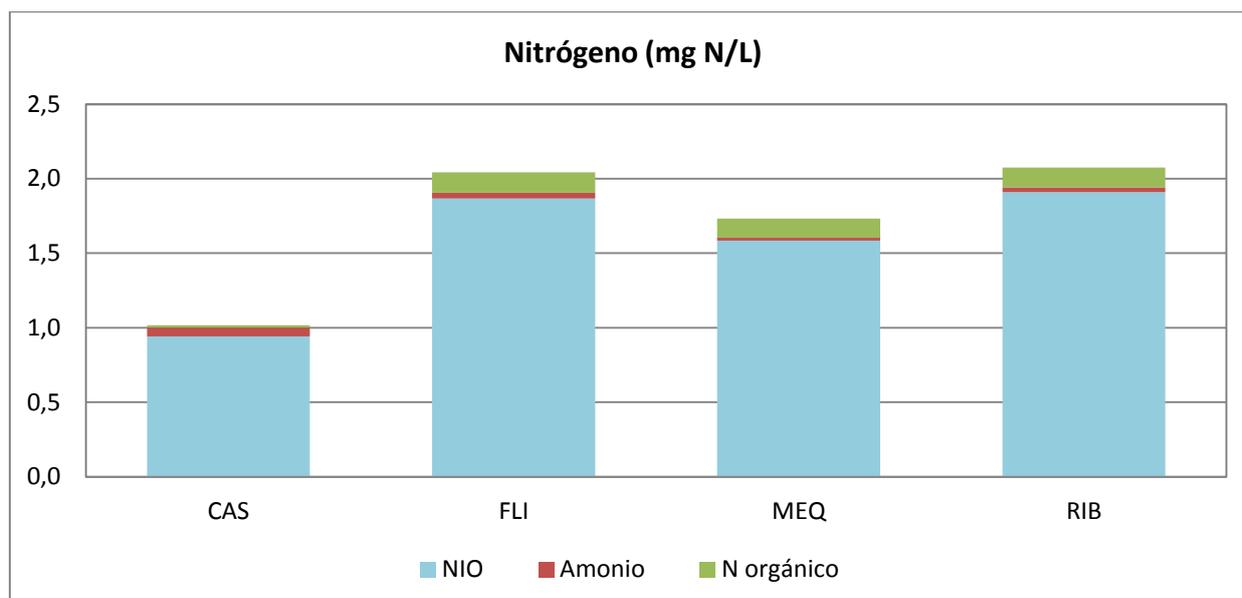
- El contenido en NIO presenta un valor medio de 0,63 mg N/L. La Tranquera ha presentado el valor más alto con 1,74 mg N/L, mientras que el valor más bajo, 0,10 mg N/L, se ha obtenido en el embalse de Rialb. La fracción inorgánica es la forma de nitrógeno mayoritaria en todos los embalses de este tipo, exceptuando el embalse de Rialb, dado la bajísima concentración de nitrato.
- En los embalses de tipo 11 el amonio se encuentra con un valor promedio de 0,024 mg N-NH<sub>4</sub>/L; por debajo de la media de todos los tipos. Rialb con 0,032 mg N-NH<sub>4</sub>/L, es el embalse con una mayor cantidad de amonio, mientras que el valor más pequeño lo encontramos en Balaguer con 0,013 mg N-NH<sub>4</sub>/L.
- El NT presentó un valor medio de 0,74 mg N/L. El rango de variación fue desde los 0,29 mg N/L del embalse de Rialb, hasta los 1,89 mg N/L de La Tranquera. La aportación de la fracción orgánica al N total en este tipo de embalses solo llega al 50 % en el embalse de Rialb.
- La sílice presenta una media de 3,39 mg SiO<sub>2</sub>/L. El valor más bajo es el de Rialb, con 1,21 mg SiO<sub>2</sub>/L, mientras que el de San Lorenzo, con 4,80 mg SiO<sub>2</sub>/L, es el más elevado.

## F Tipo 12. Embalses de Caspe, Flix, Mequinenza y Ribarroja.



**Figura 43.** Valores de Fósforo soluble y total en la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 12.

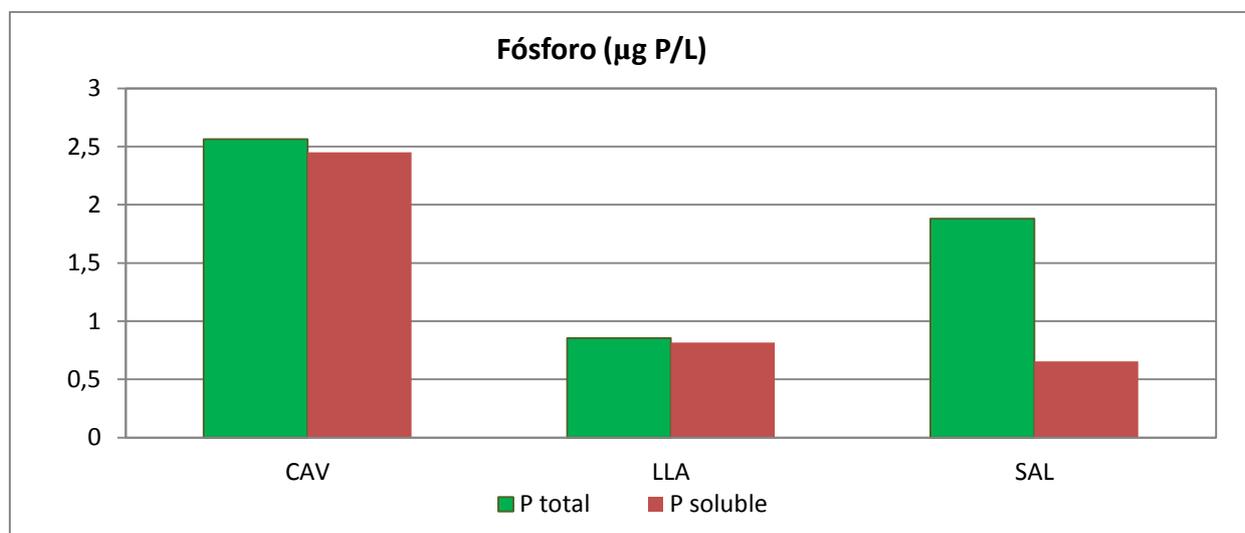
➤ El fósforo total en los embalses de tipo 12 alcanza una concentración media de 21,72 µg P/L, la más elevada de todos los tipos. El máximo valor en este tipo se ha detectado en el embalse de Flix con 40,43 µg P/L. Los valores mínimos se localizaron en los embalses de Mequinenza, donde la concentración fue de 5,65 µg P/L, y Caspe, con 9,25 µg P/L. Los valores de P soluble son dispares en este tipo de embalses, con una media de 9,82 µg P/L, la más alta, debido al embalse de Flix, el valor más alto de todo el ESTUDIO con 31,39 µg P/L. El embalse de Caspe el valor se sitúa en 0,32 µg P/L. Es probable que los trabajos de remoción de sedimentos en Flix o el posible desembalse hipolimnético del embalse de Ribarroja puedan ser responsables de esta elevada concentración de la fracción soluble del fósforo.



**Figura 44.** Valores de N Total indicando Nitrógeno Inorgánico Oxidado (NIO), Amonio y N orgánico en la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 12.

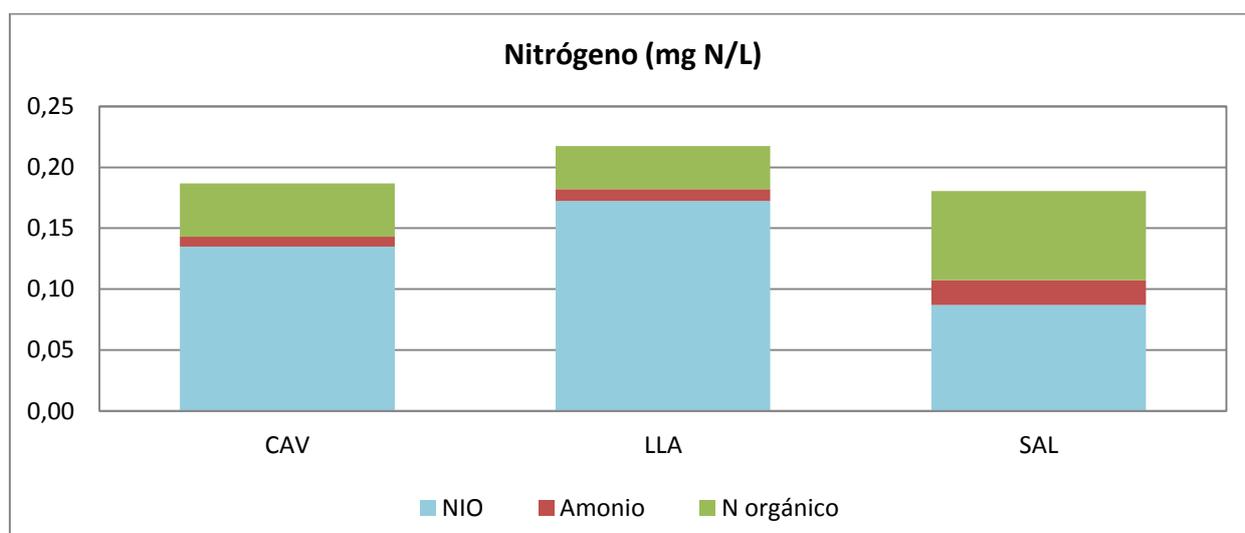
- El NIO (nitratos + nitritos) presenta una media de 1,58 mg N/L, siendo este tipo el más rico en esta fracción de N. Destaca la concentración en el embalse de Caspe, con 0,94 mg N/L, la más baja de los cuatro. El NIO supone más del 90 % del N total, en todos los embalses.
- El amonio presenta la concentración promedio más alta de todos los tipos, un 0,037 mg N-NH<sub>4</sub>/L, siendo el valor más bajo en Mequinenza con 0,019 mg N-NH<sub>4</sub>/L y el más elevado en Caspe con 0,060 mg N-NH<sub>4</sub>/L.
- El NT presentó el valor medio más alto de todos los tipos, de 1,72 mg N/L, el más alto de todo el ESTUDIO. El rango de variación fue desde los 1,02 mg N/L del embalse de Caspe, hasta los 2,08 mg N/L de Ribarroja. Mequinenza y Flix presentaron concentraciones de 1,73 y 2,04 mg N/L respectivamente.
- En cuanto al contenido en sílice, los embalses del tipo 12 presentan, de media, una concentración de 3,66 mg SiO<sub>2</sub>/L. Las concentraciones mínima y máxima, son 1,90 y 5,33 mg SiO<sub>2</sub>/L, y corresponden a los embalses de Caspe y Ribarroja respectivamente.

### G Tipo 13. Embalses de Cavallers, Llauset y Sallente.



**Figura 45.** Valores de Fósforo total y soluble en la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 13.

➤ El fósforo total en las muestras de los embalses de tipo 13 presenta un valor medio de 1,77 µg P/L, el más bajo de todos los tipos. El embalse de Cavallers destaca por tener la concentración más elevada de PT, de 2,56 µg P/L. El valor más bajo se presenta en Llauset con 0,85 µg P/L, el más bajo de todo el ESTUDIO. Los valores de P soluble son bajos en este tipo de embalses, con una media de 1,31 µg P/L. El valor más bajo se presenta con 0,65 µg P/L en el embalse de Sallente. El porcentaje de P soluble es muy alto, excepto en Sallente que representa un 34,8 % del total.



**Figura 46.** Valores de N Total indicando Nitrógeno Inorgánico Oxidado (NIO), Amonio y N orgánico en la Zona Fótica de los embalses estudiados en 2015 pertenecientes al tipo 13.

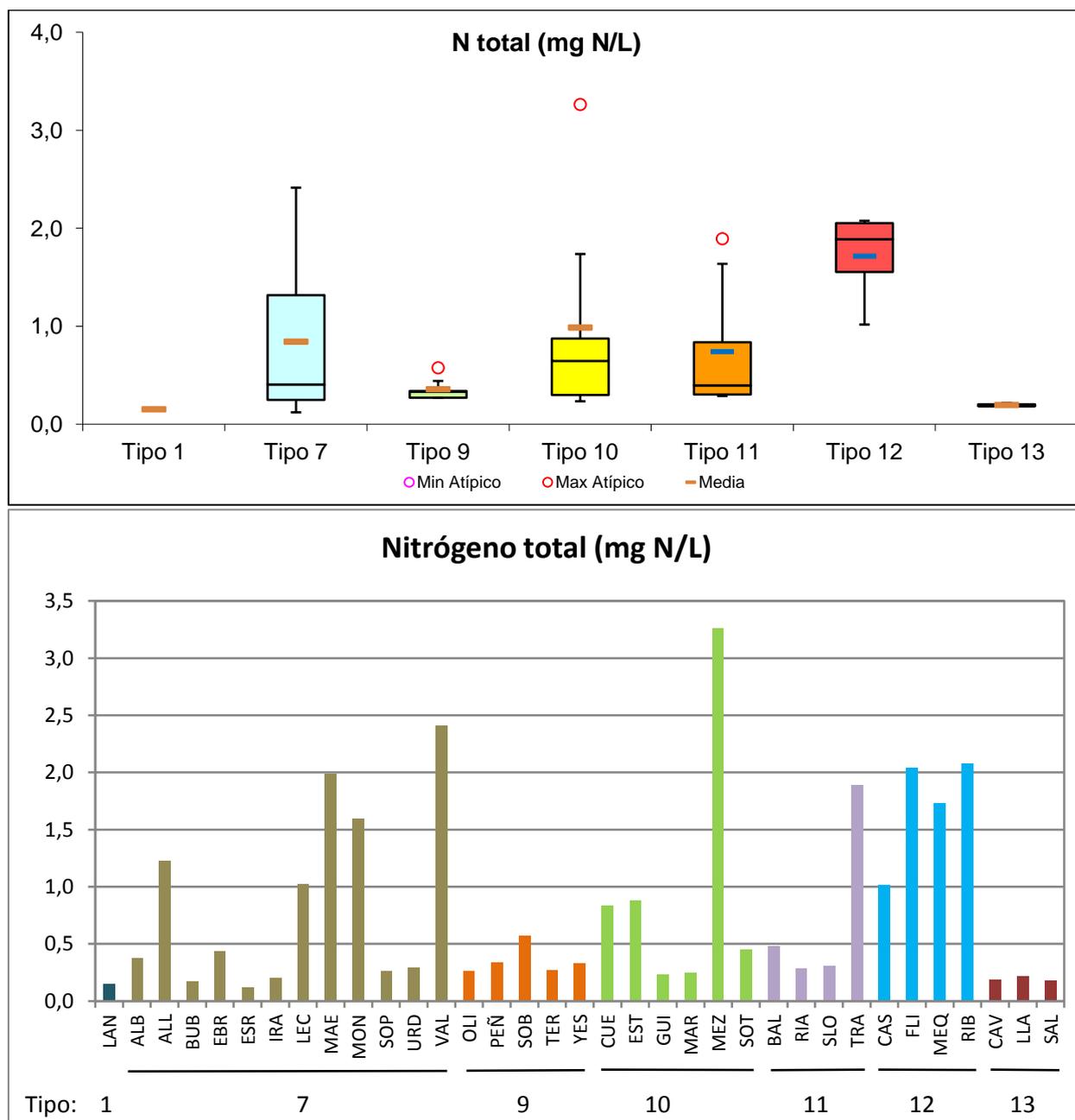
- El contenido en NIO presenta un valor medio de 0,14 mg N/L, solo mayor al del tipo 1. Llauset ha presentado el valor más alto con 0,17 mg N/L, mientras que el valor más bajo, 0,09 mg N/L, se ha obtenido en el embalse de Sallente. La fracción inorgánica es la forma de nitrógeno mayoritaria en todos los embalses de este tipo, exceptuando el embalse de Sallente, dado la bajísima concentración de nitrato.
- En los embalses de tipo 13 el amonio se encuentra con un valor promedio de 0,013 mg N-NH<sub>4</sub>/L; por debajo de la media de todos los tipos. Llauset con 0,02 mg N-NH<sub>4</sub>/L, es el embalse con una mayor cantidad de amonio, mientras que el valor más pequeño lo encontramos en Cavallers, por debajo del límite de detección.
- El NT presentó un valor medio de 0,19 mg N/L. El rango de variación fue desde los 0,18 mg N/L del embalse de Sallente, hasta los 0,22 mg N/L de Llauset. La aportación de la fracción orgánica al N total en este tipo de embalses es muy baja, solo llegando al 40 % en el embalse de Sallente.
- La sílice presenta una media de 2,79 mg SiO<sub>2</sub>/L. El valor más bajo es el de Cavallers, con 2,04 mg SiO<sub>2</sub>/L, mientras que el de Sallente, con 3,28 mg SiO<sub>2</sub>/L, es el más elevado.

## 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 en relación al **N total** en la ZF (figura 47) 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 o Lérida.

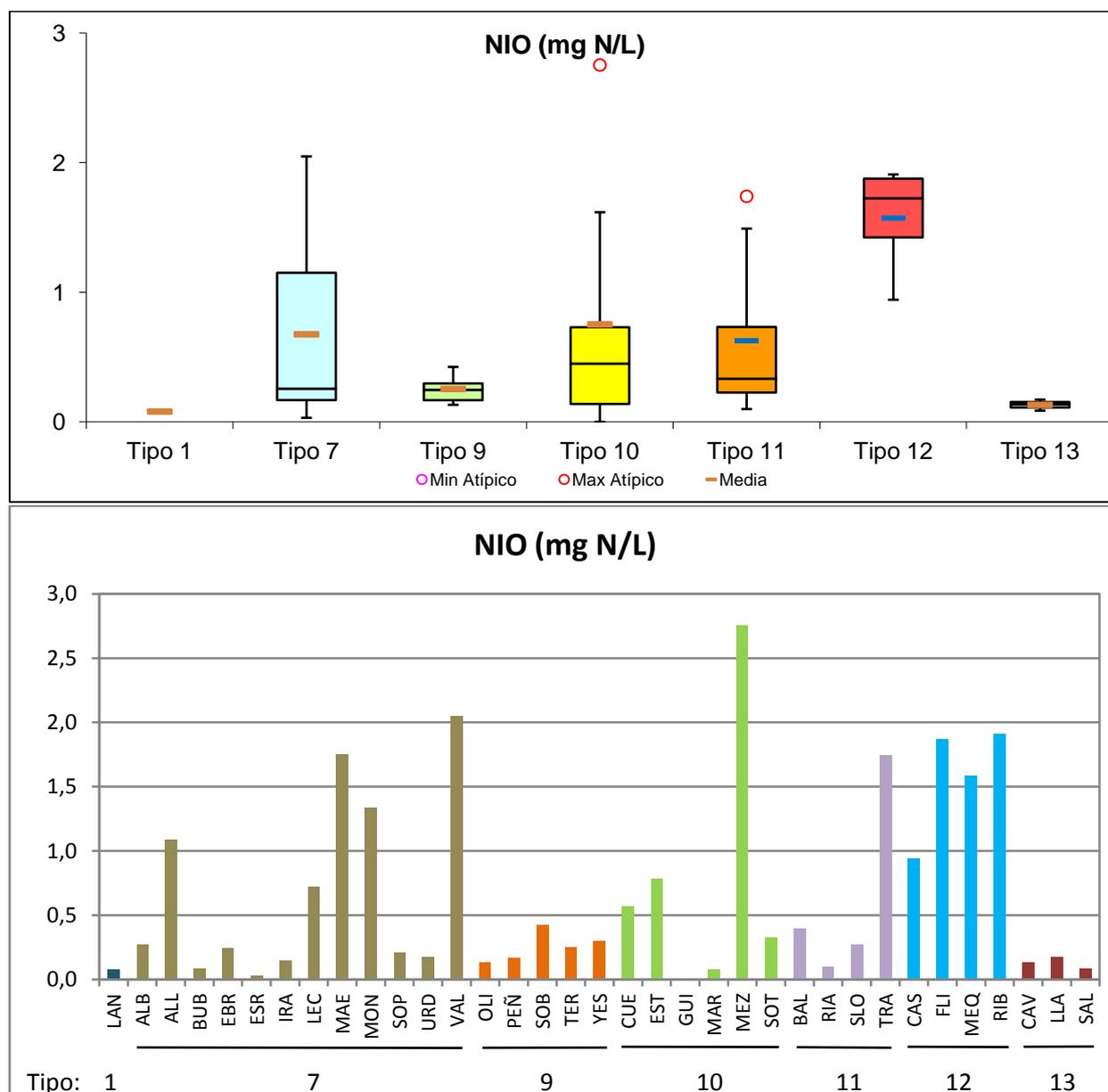
Los valores mínimos de N Total se dan en los tipos de montaña (tipo 1 y 13). Destacar el máximo atípico del tipo 10, Mezalocha con el máximo absoluto de 2015, 3,26 mg N/L. En líneas generales, las concentraciones aumentan conforme nos acercamos al tramo bajo del río. El caso del Mezalocha se explica por la elevada concentración de nitrato en las aguas, probablemente proveniente de las aguas de escorrentía de zonas agrícolas.



**Figura 47.** 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: 1: síliceo / húmedo / cabecera / frío; 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 48, 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.

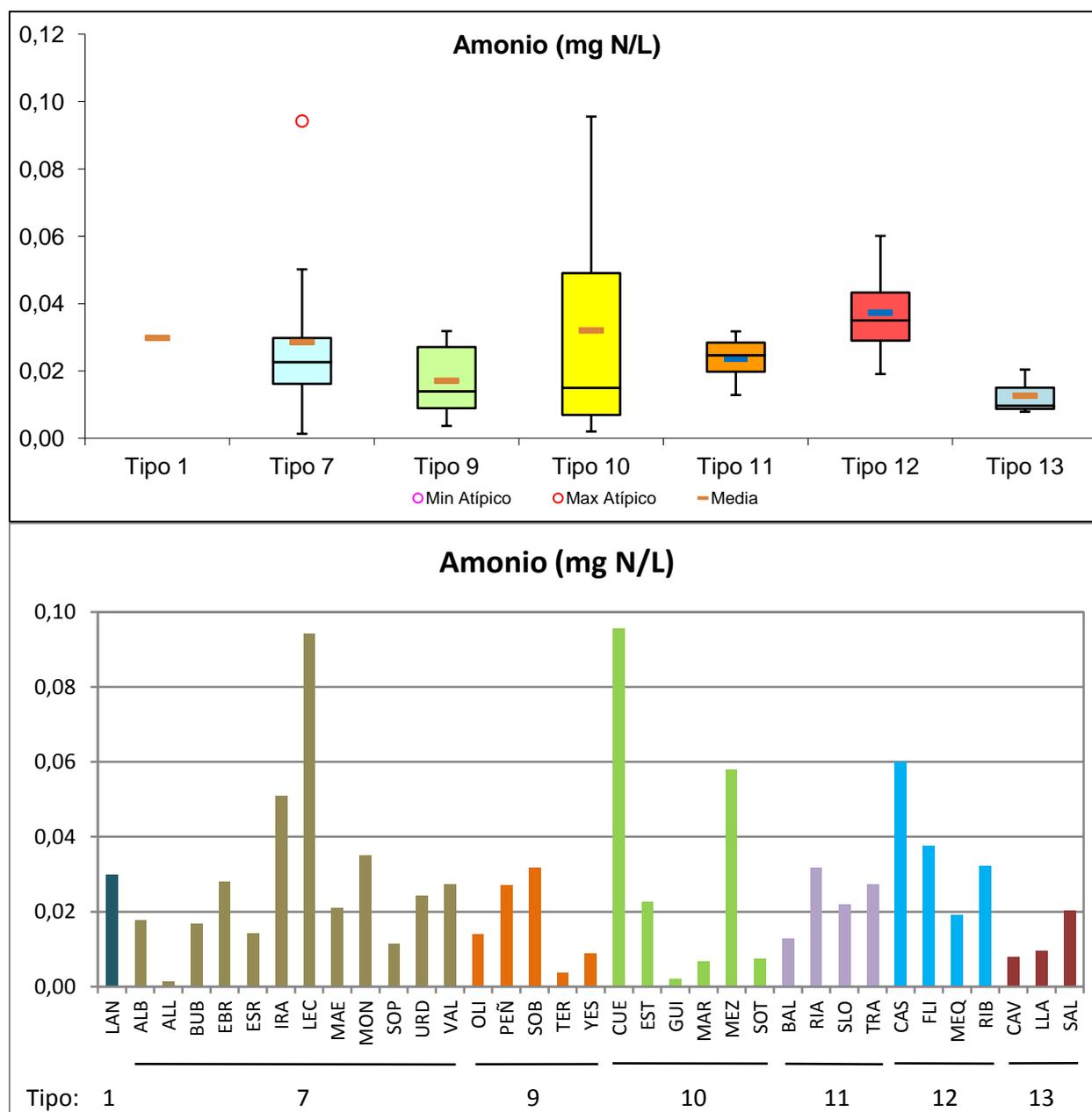
El dato mínimo se ha dado en el embalse de Guiamets, del tipo 10, por debajo del límite de detección y en Escarra, del tipo 7, con 0,03 mg N/L. Los mayores contrastes se encuentran entre los embalses del tipo 10, con Mezalocha a la cabeza con 2,75 mg N/L.



**Figura 48.** 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 47.

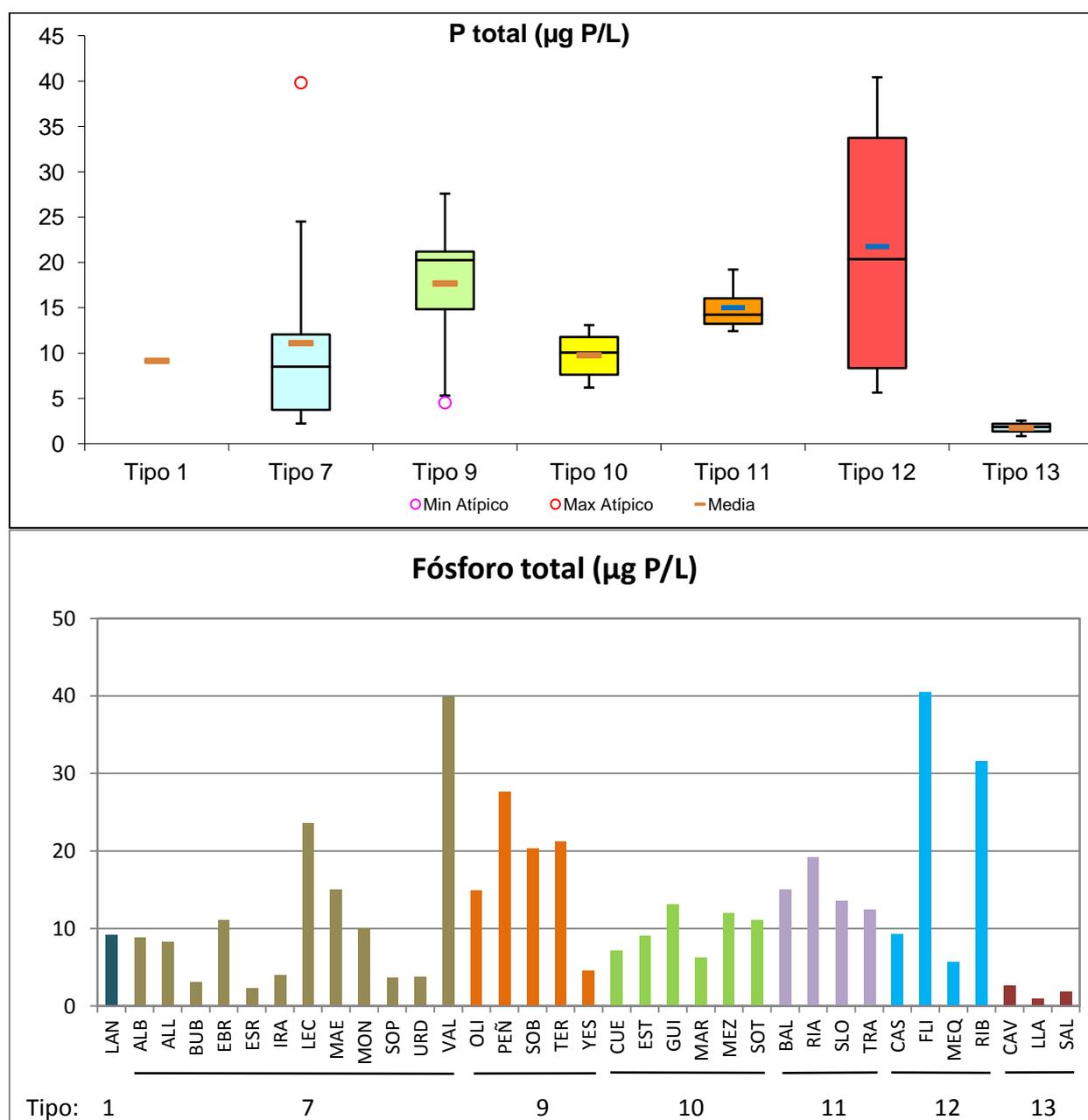
En cuanto al **amonio** (figura 49), los valores han sido inferiores a 0,07 mg N-NH<sub>4</sub>/L en todos los casos, excepto en 2, el embalse de Lechago en el tipo 7 y el embalse de Cueva Foradada del tipo 10. Los promedios más altos son los de los tipos 12 y 10, este último debido a los valores elevados de los embalses de Cueva Foradada y Mezalocha. El más bajo ha correspondido al tipo 13.

Entre los embalses, el valor más elevado ha sido el de Cueva Foradada, seguido de Lechago y Caspe; mientras que 7 embalses han registrado valores por debajo del límite de detección.



**Figura 49.** 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 47.

En las tendencias observadas en relación al **P total** en la ZF (figura 50), el tipo 12 muestra los valores más elevados, debido a los valores de Flix y Ribarroja, con 40 (máximo del ESTUDIO) y 31  $\mu\text{g P/L}$  respectivamente. Otros tres embalses más muestran concentraciones superiores a los 25  $\mu\text{g P/L}$ , El Val y La Peña; con 39,8 y 27,6  $\mu\text{g P/L}$  respectivamente. El valor mínimo se da, como en el caso del N total, en el tipo 13, de alta montaña. Los dos embalses con menor concentración han sido del tipo 13, Llauset y Sallente, ambos por debajo de los 2  $\mu\text{g P/L}$ .

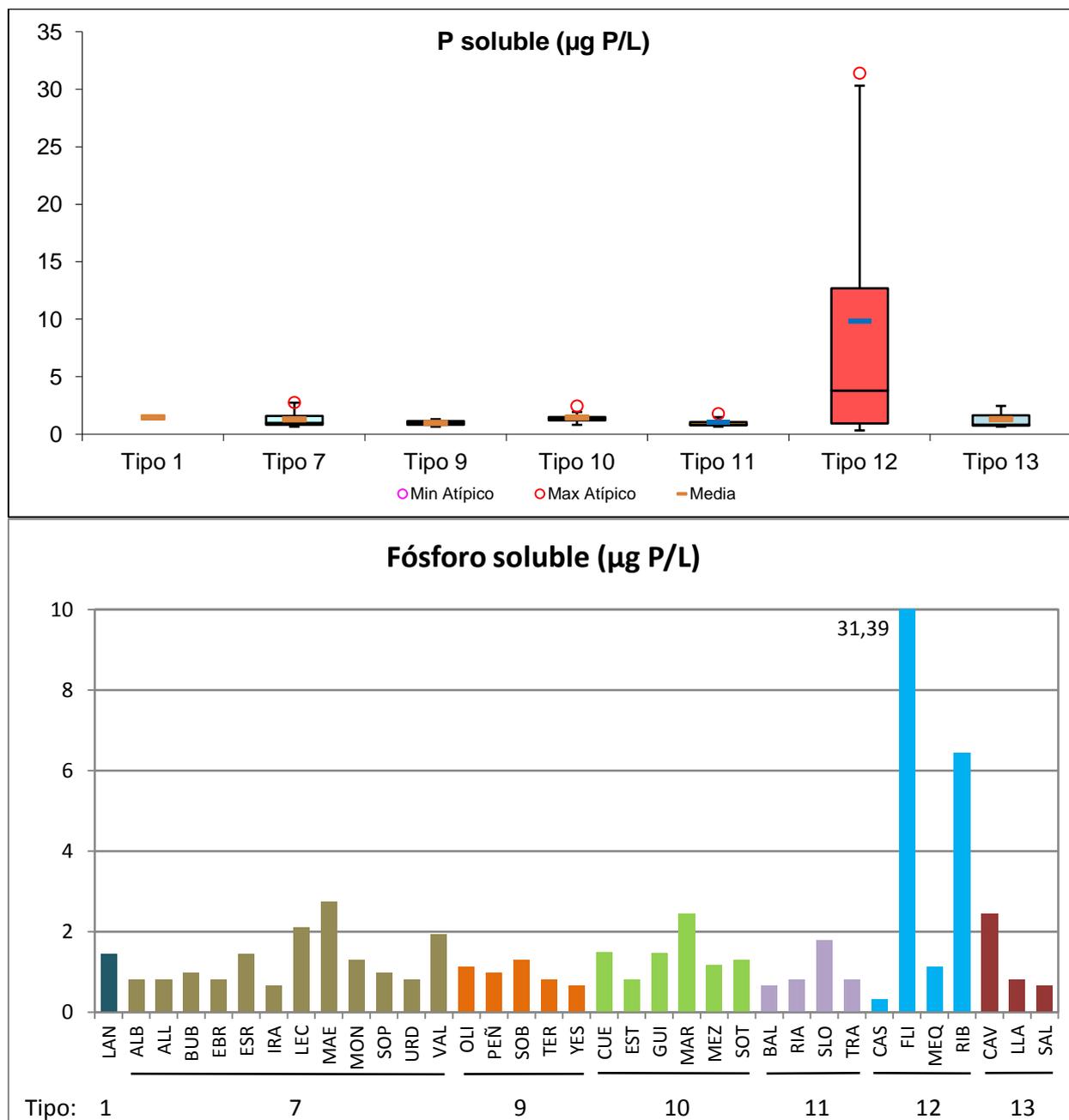


**Figura 50.** Valores de Fósforo Total en la Zona Fótica para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 47.

Como se observa en la figura 51, las tendencias para el **P soluble** son muy parecidas a las del P total, con la media más alta para el tipo 12, pero en este caso las medias de los otros tipos son mucho más parecidas, estando sus valores entre los 0,97 µg P/L del tipo 9 y los 1,46 µg P/L del tipo 1.

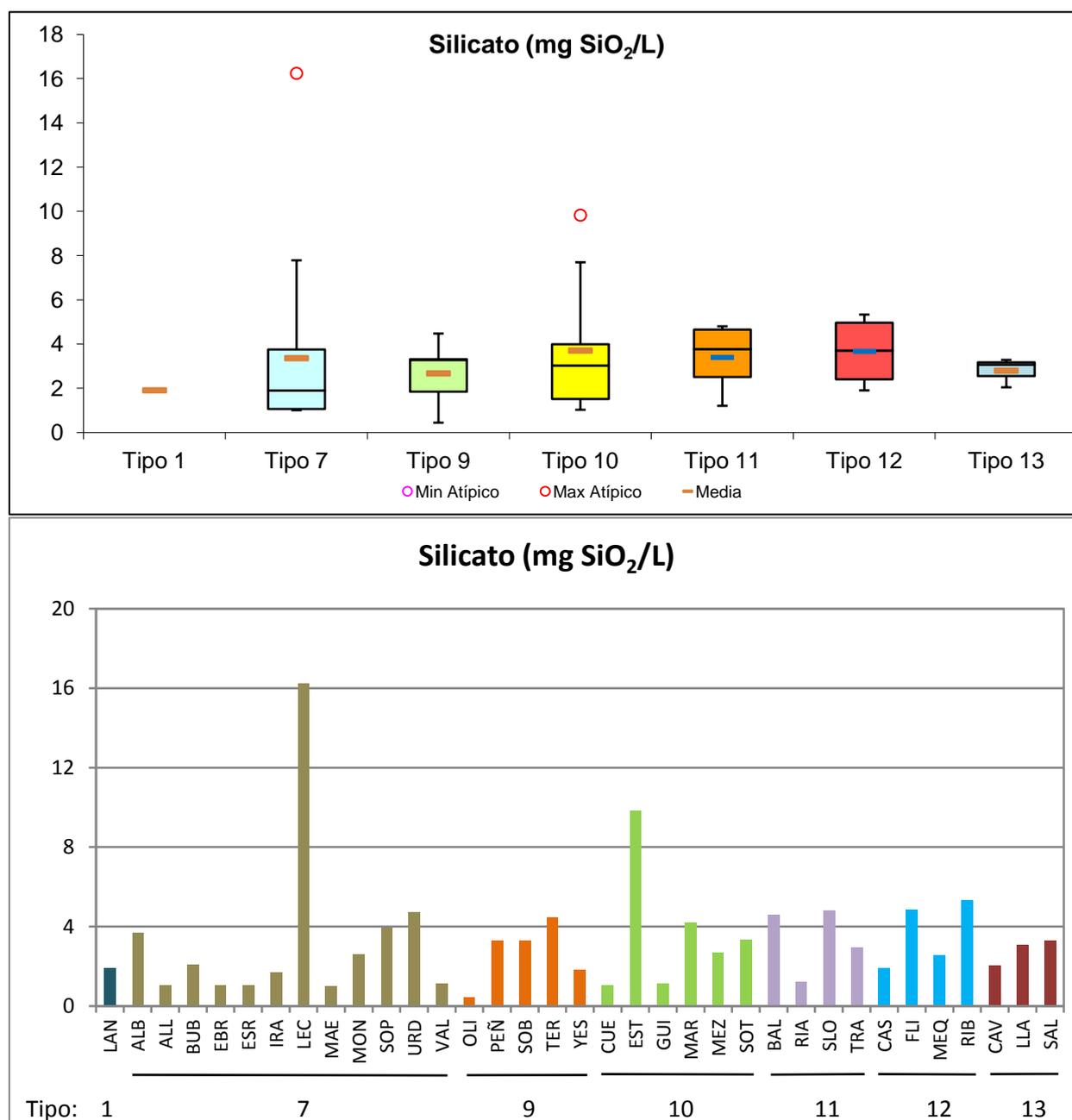
Cabe destacar los máximos del embalse de Flix y Ribarroja (tipo 12), como valores muy superiores al resto, que superan los 6 µg P/L, el caso de Flix es especial ya que llega a los 31,39 µg P/L. Es probable que los trabajos que se realizan en este embalse en los sedimentos puedan movilizar este elemento y mantenerlo en solución en el agua.

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 en el embalse.



**Figura 51.** 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 47.

Por último, las concentraciones de **silíce** ( $\text{SiO}_2$ ) por tipos, se sitúan generalmente en el rango 2-4 mg  $\text{SiO}_2/\text{L}$  (figura 52). Por embalses hay que destacar el valor mínimo del Oliana (tipo 9), que no llega a 0,5 mg  $\text{SiO}_2/\text{L}$ . En los valores máximos son los embalses de Lechago (tipo 7) y La Estanca de Alcañiz (tipo 10) los que presentan concentraciones por encima de 6 mg  $\text{SiO}_2/\text{L}$ .



**Figura 52.** 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 47.

### 4.3. Características Biológicas

#### 4.3.1. Fitoplancton

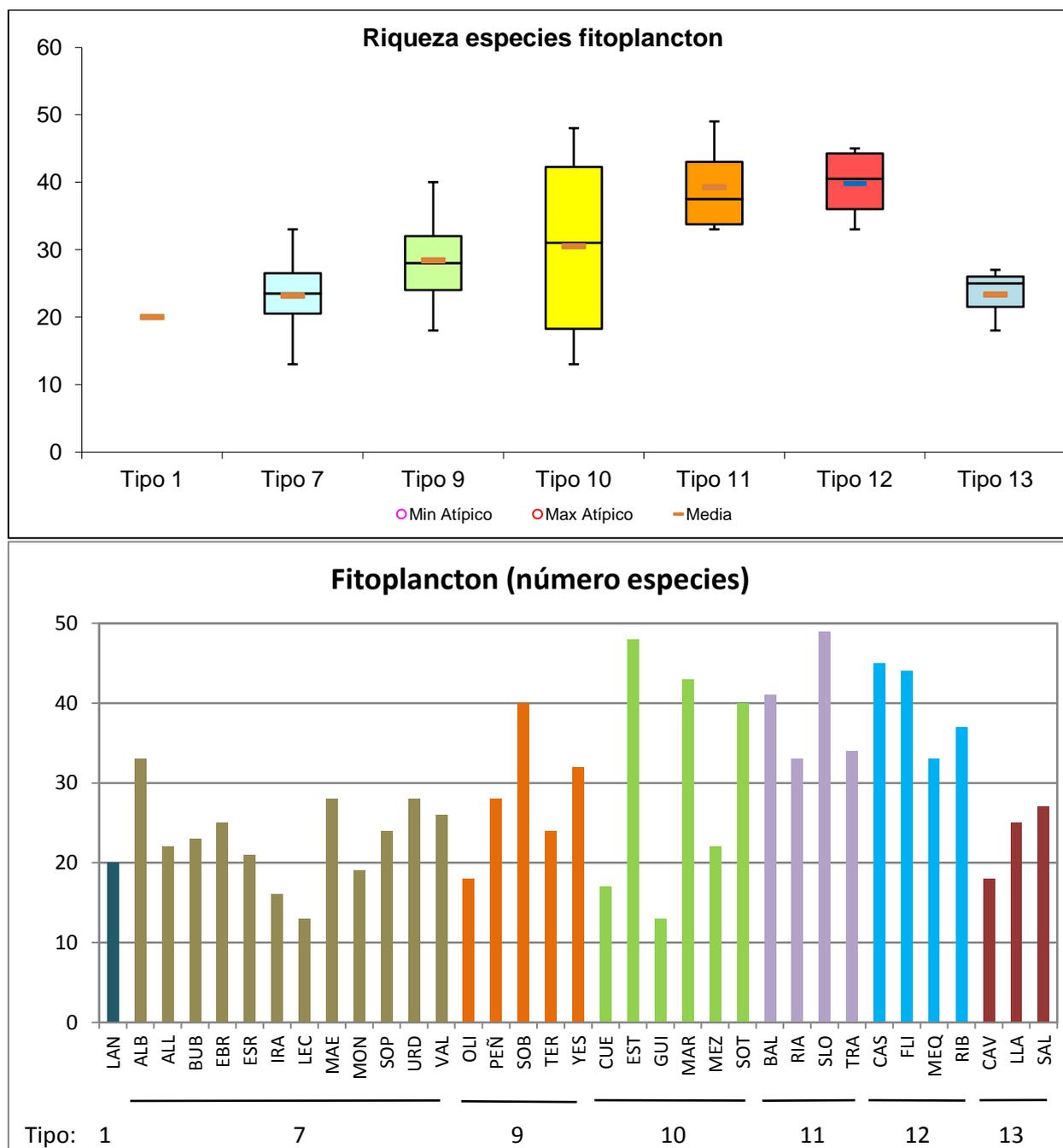
La comunidad fitoplanctónica estudiada (un total de 213 taxones en 35 embalses) está representada por diez grandes grupos algales, entre los que destacan, por su riqueza, los clorófitos (Chlorophyceae) y las diatomeas (Bacillariophyceae). La tabla siguiente resume la composición taxonómica global del fitoplancton en los embalses estudiados.

**Tabla 10.** Numero de especies encontradas en 2015 por grupo fitoplanctónico.

Grupo	nº especies
Chlorophyceae	75
Bacillariophyceae	38
Chrysophyceae	24
Cyanobacteria	22
Zygnematophyceae	13
Dinophyceae	12
Euglenophyceae	11
Cryptophyceae	10
Xantophyceae	5
Synurophyceae	2

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 (mm<sup>3</sup>/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.

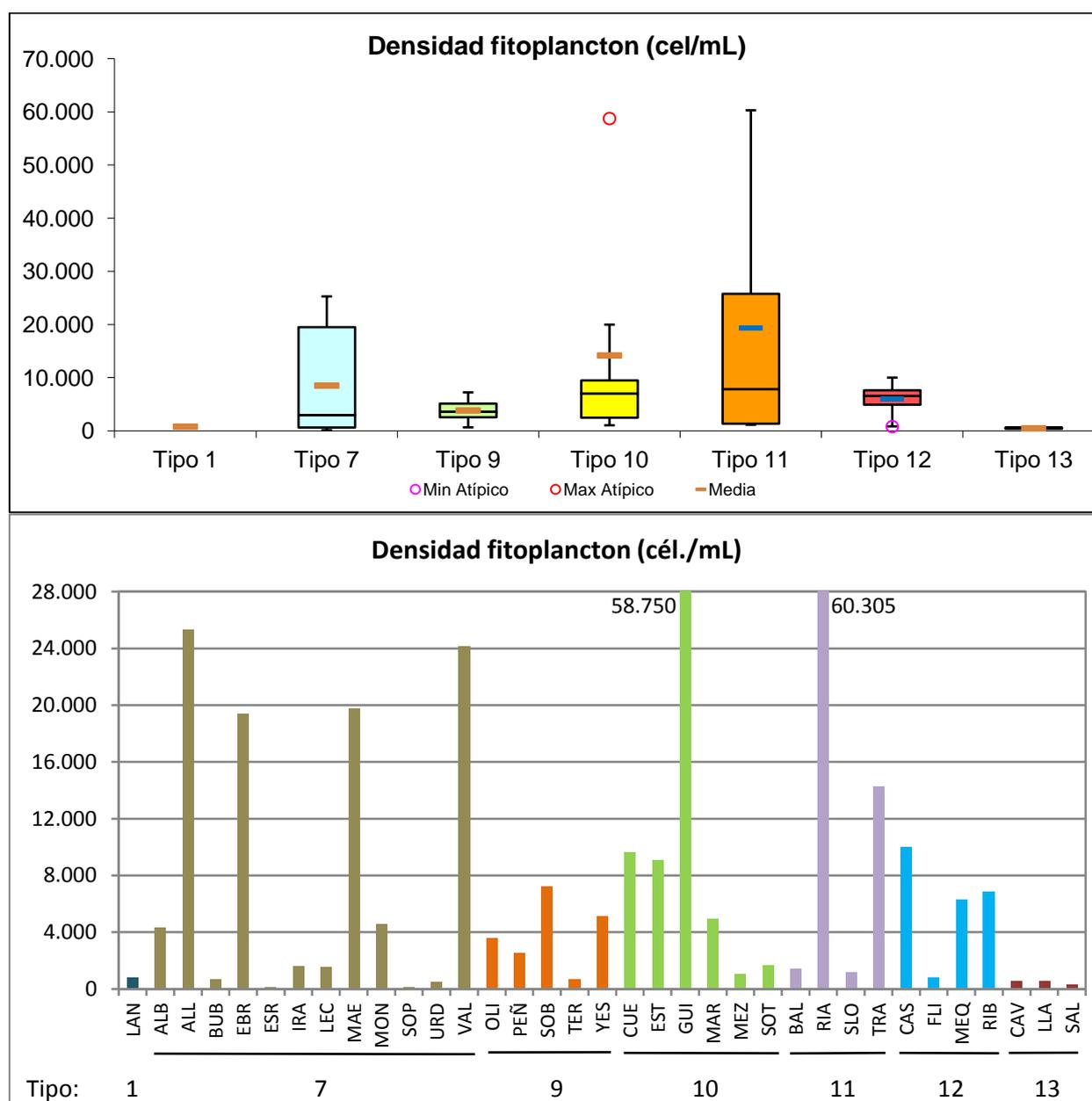
La **riqueza** media de especies de fitoplancton en los diferentes tipos (figura 53) ha sido mayor que el año 2014 para todos los tipos excepto para los tipos 1 y 7 que ha sido menor y para el tipo 13 que se ha mantenido constante. Las medias de los diferentes tipos muestran un claro ascenso de los valores hacia las tipologías de los tramos bajos. El máximo absoluto se registró en el embalse de San Lorenzo, del tipo 11, con 49 especies. Le siguieron La Estanca de Alcañiz con 38 especies y Caspe con 45. Los valores mínimos se han dado en los embalses de Guiamets y Lechago con 13 especies.



**Figura 53.** Riqueza de especies de fitoplancton para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Tipos: 1: silíceo / húmedo / cabecera / frío; 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.

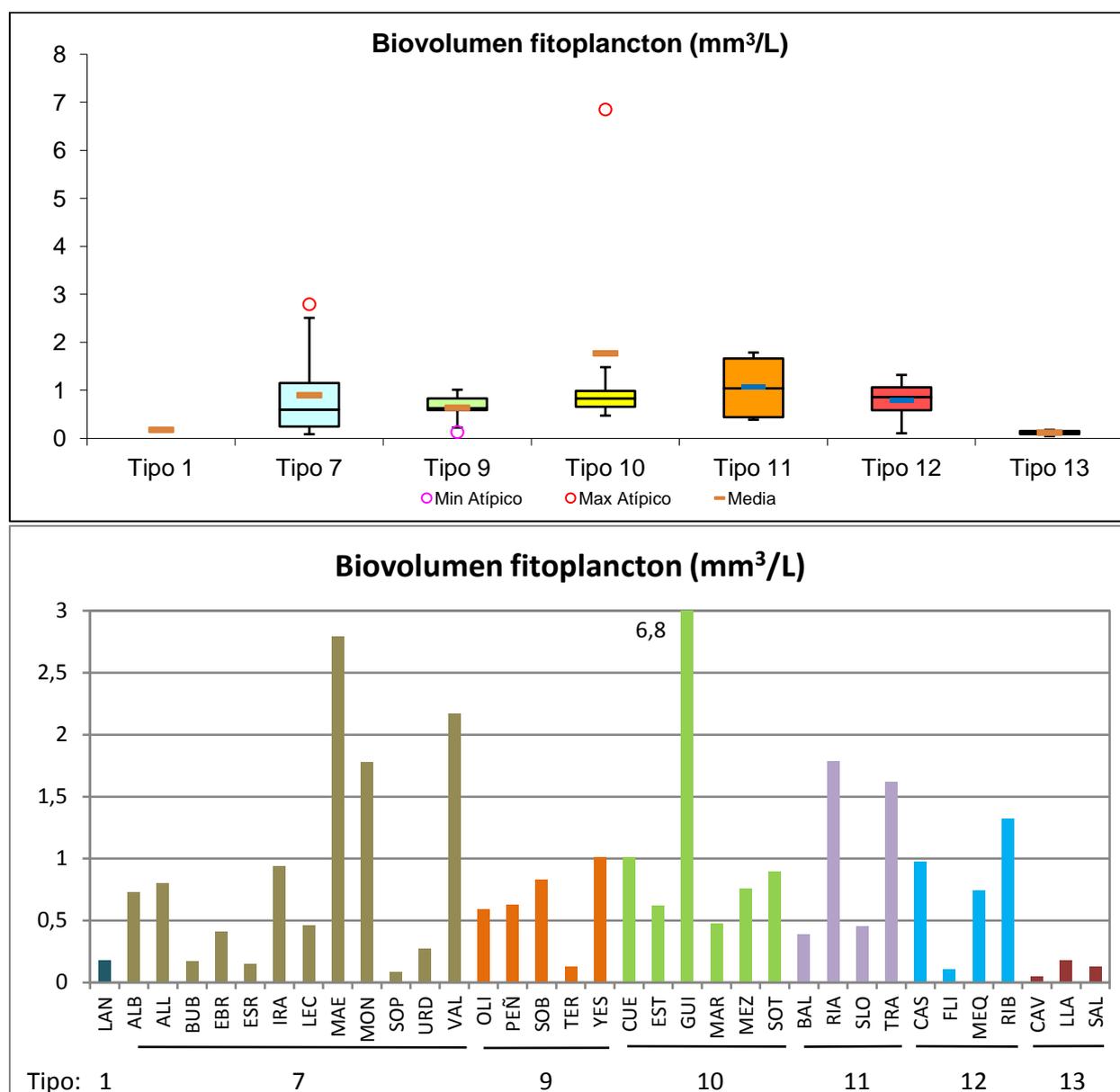
La **densidad** celular (figura 54) presenta una tendencia parecida a la riqueza de especies, si exceptuamos los tipos 9 y 12, con valores inferiores para la tendencia esperada, ya que ninguno de sus embalses supera las 10.000 cél./mL. Destacan los valores de Guiamets y Rialb con más de 50.000 cél./mL. Los promedios más bajos se presentan en el tipo 1 y 13, siendo este último el tipo con unos valores más similares entre embalses.

Los valores menores de densidad se han dado en el embalse de Sopeira (tipo 7), con una densidad de 125 cél./mL, seguido del embalse de Sallente (tipo 13) con 310 cél./mL.



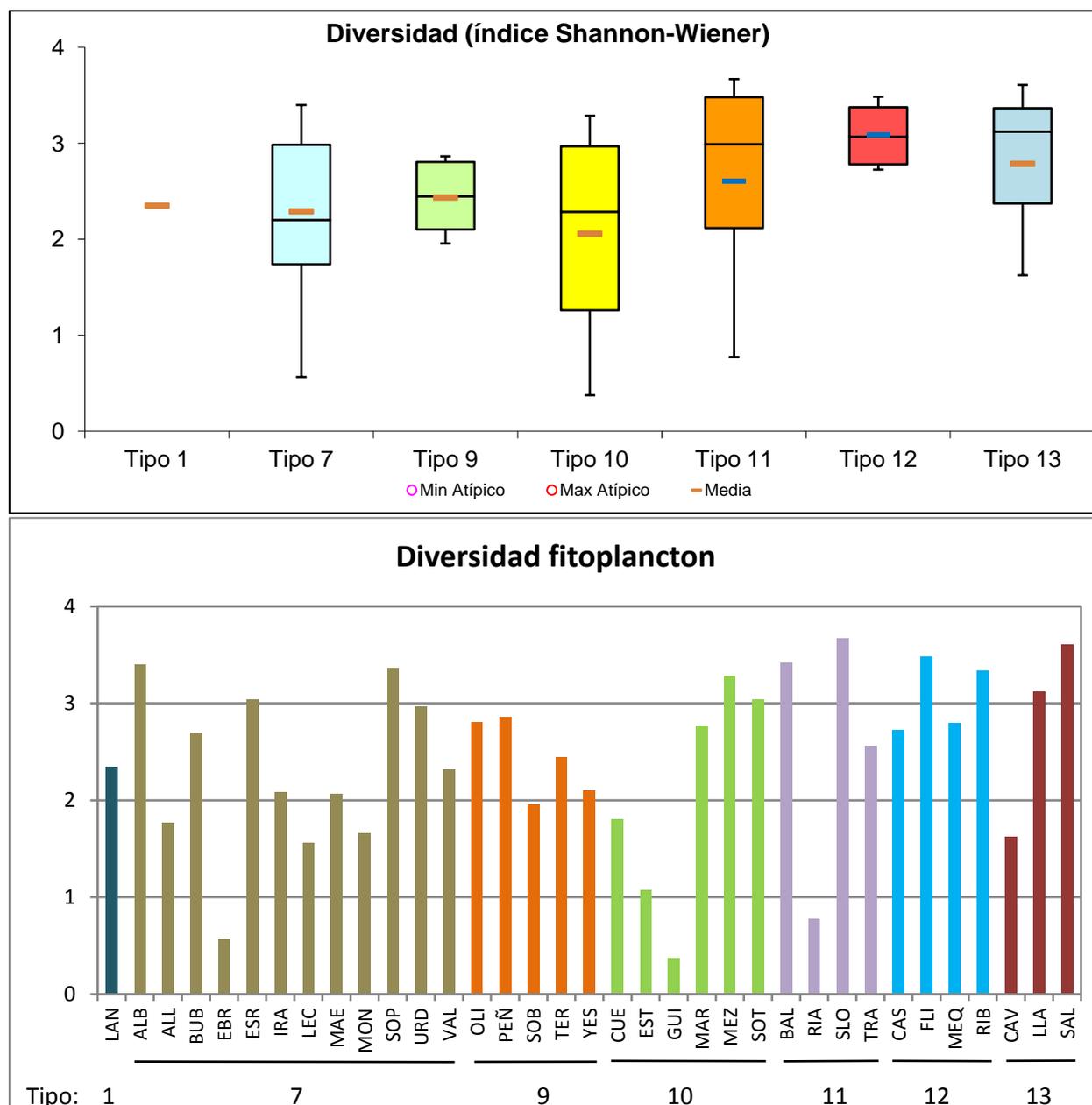
**Figura 54.** Densidad celular del fitoplancton para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 53.

El comportamiento de la variable **biovolumen** celular de fitoplancton (figura 55) fue similar al de la variable densidad, aunque debido al máximo atípico del embalse de Guiamets, la media del tipo 10 fue la más elevada. En este caso, el valor más elevado del ESTUDIO lo encontramos en el embalse del tipo 10, Guiamets con 6,8 mm<sup>3</sup>/L. En el lado contrario, los valores menores se han presentado en los embalses de Cavallers (tipo 13) y Sopeira (tipo 7), con valores inferiores a 0,1 mm<sup>3</sup>/L.



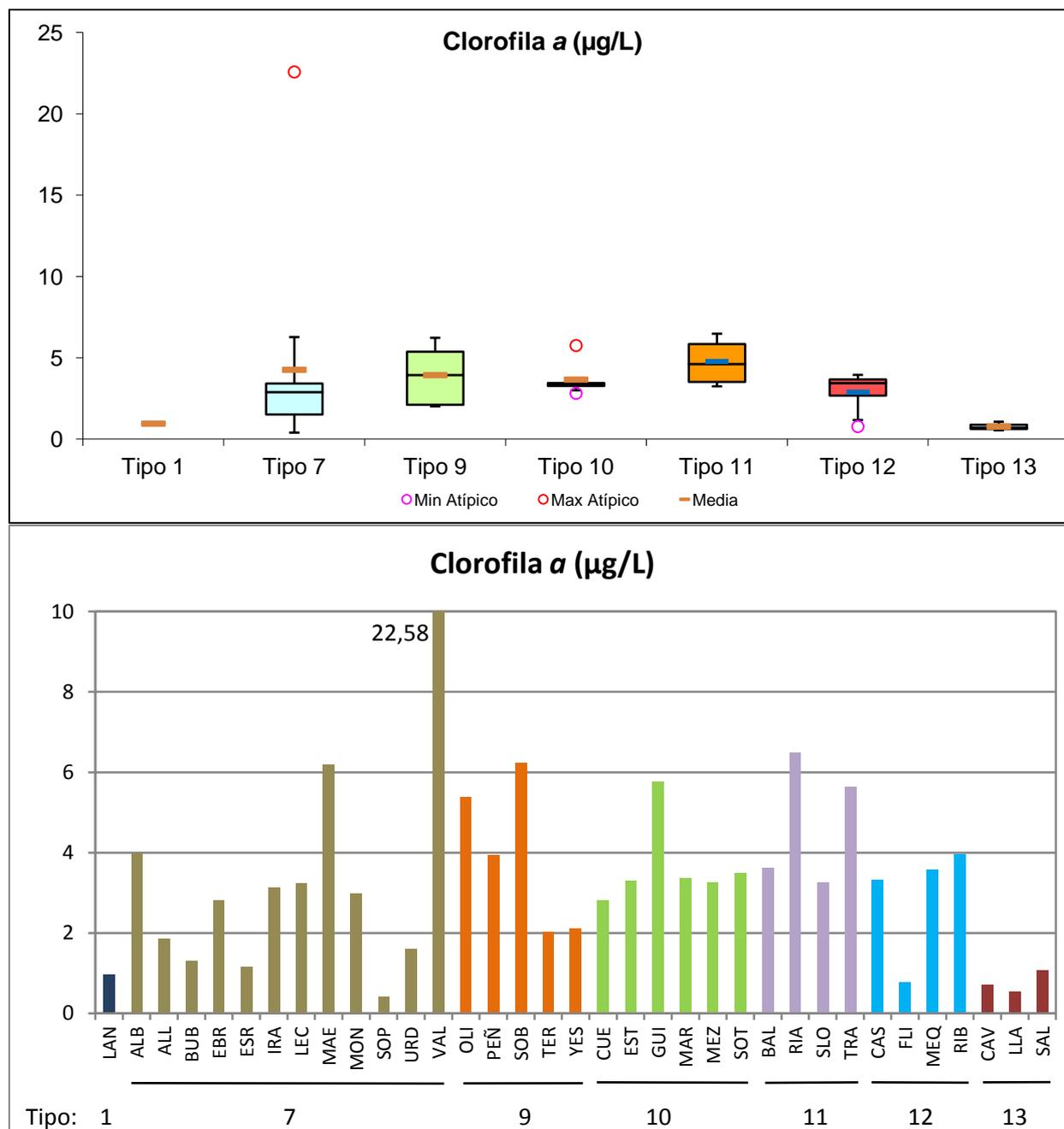
**Figura 55.** Biovolumen del fitoplancton para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 53.

Los valores de **diversidad** obtenidos en las muestras de fitoplancton (figura 56) se pueden considerar los habituales en este tipo de estudios, entre 2,5 y 3,5 bits, aunque en los tipos 1, 7, 9 y 10 encontramos una diversidad un poco inferior a 2,5 bits. El tipo 12 es el de mayor diversidad en promedio, con 3,1 bits. Señalar que la diversidad máxima de todos los embalses se ha presentado en el embalse de San Lorenzo con 3,67 bits y Sallente con 3,61 bits. El valor medio más bajo de diversidad se ha dado en el tipo 10. Pero el embalse con un valor más bajo ha sido el de Guiamets, con 0,37 bits. El Ebro, del tipo 7 y Rialb del tipo 11, tampoco han superado el valor de 1 bit. En todos los casos es debido a la abundancia de una especie.



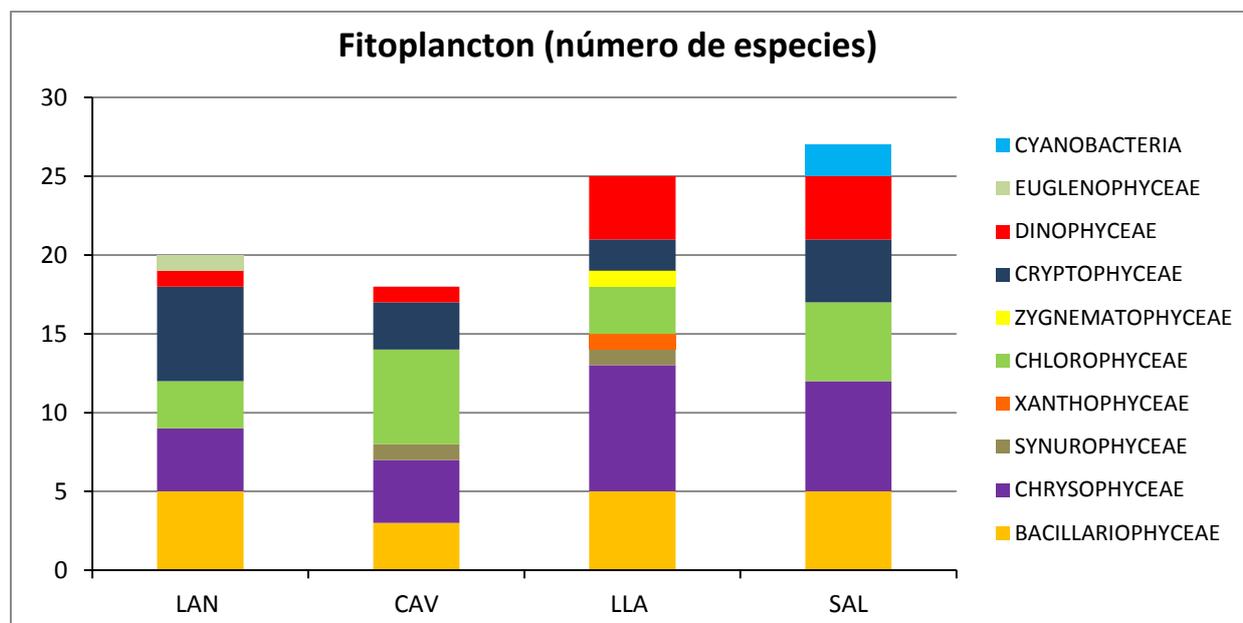
**Figura 56.** Diversidad del fitoplancton según el índice de Shannon-Wiener para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 53.

Las concentraciones de **clorofila a** (figura 57) presentaron valores medios muy similares entre los diversos tipos, exceptuando a los tipos 1 y 13, con valores muy bajos. El valor más elevado está en el tipo 11 con 4,7  $\mu\text{g/L}$ . Destacar el valor extremo del embalse de El Val con 22,58  $\mu\text{g/L}$  el más elevado de todo el ESTUDIO. En el lado contrario, el embalse de Sopeira, con 0,40  $\mu\text{g/L}$ , es el embalse con una concentración más baja, seguido por el embalse de Llauset con 0,54  $\mu\text{g/L}$  y el embalse de Cavallers con una concentración de 0,71  $\mu\text{g/L}$ .

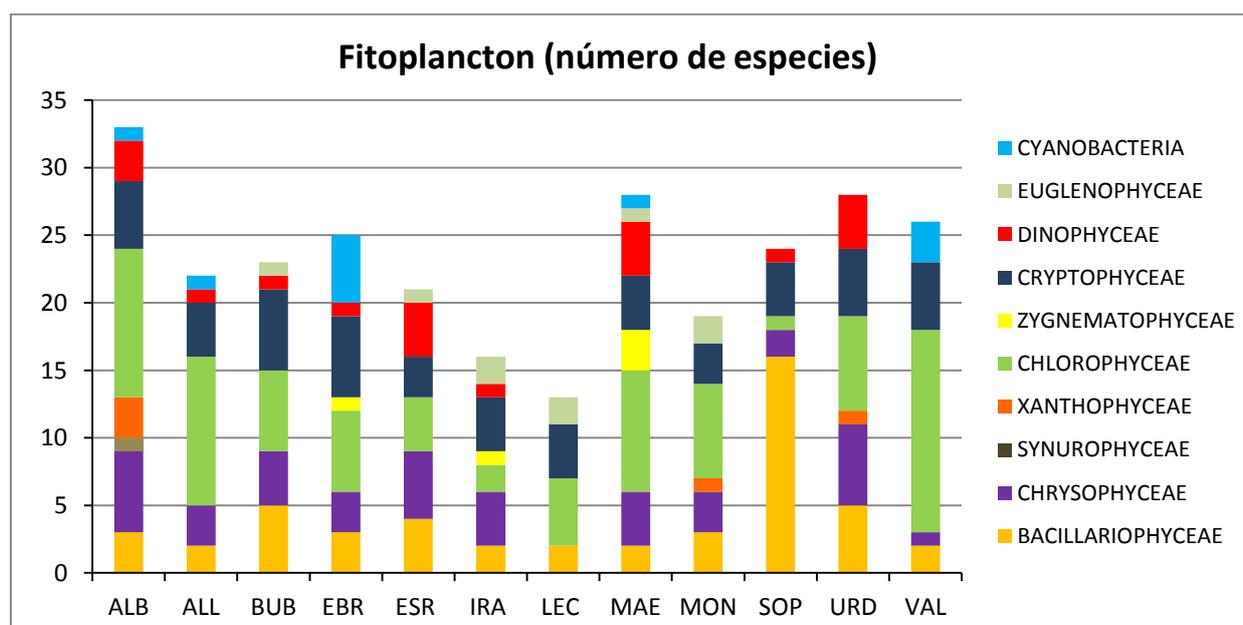


**Figura 57.** Concentración de clorofila a para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 53.

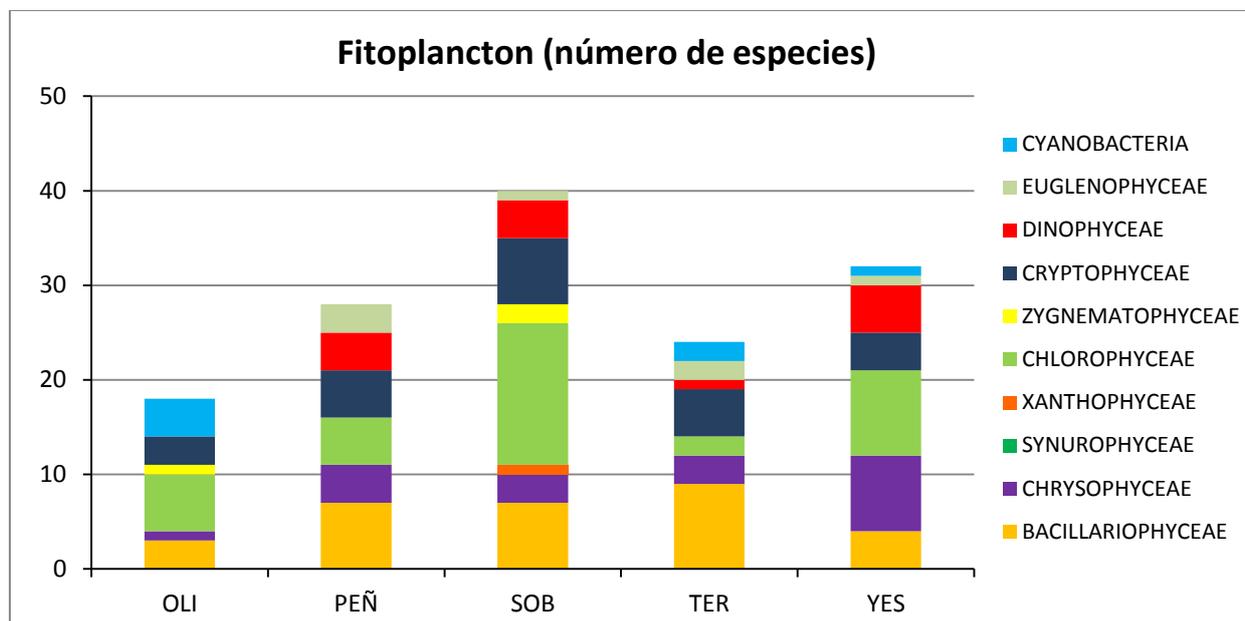
Con el fin de presentar una descripción más detallada de las comunidades algales planctónicas de los embalses estudiados, en las figuras 58 a 63 se muestra la distribución de la riqueza de especies para cada uno de los grupos fitoplanctónicos y tipo de embalse.



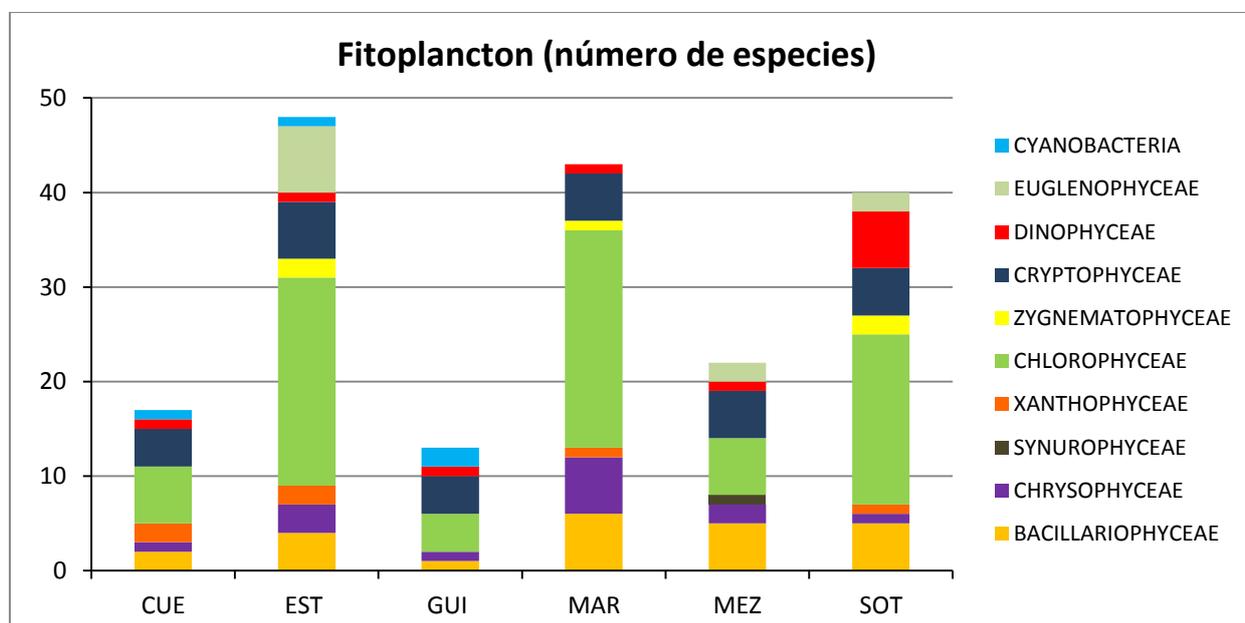
**Figura 58.** Riqueza de especies para cada grupo fitoplanctónico para los embalses del tipo 1 (LAN) y tipo 13 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.



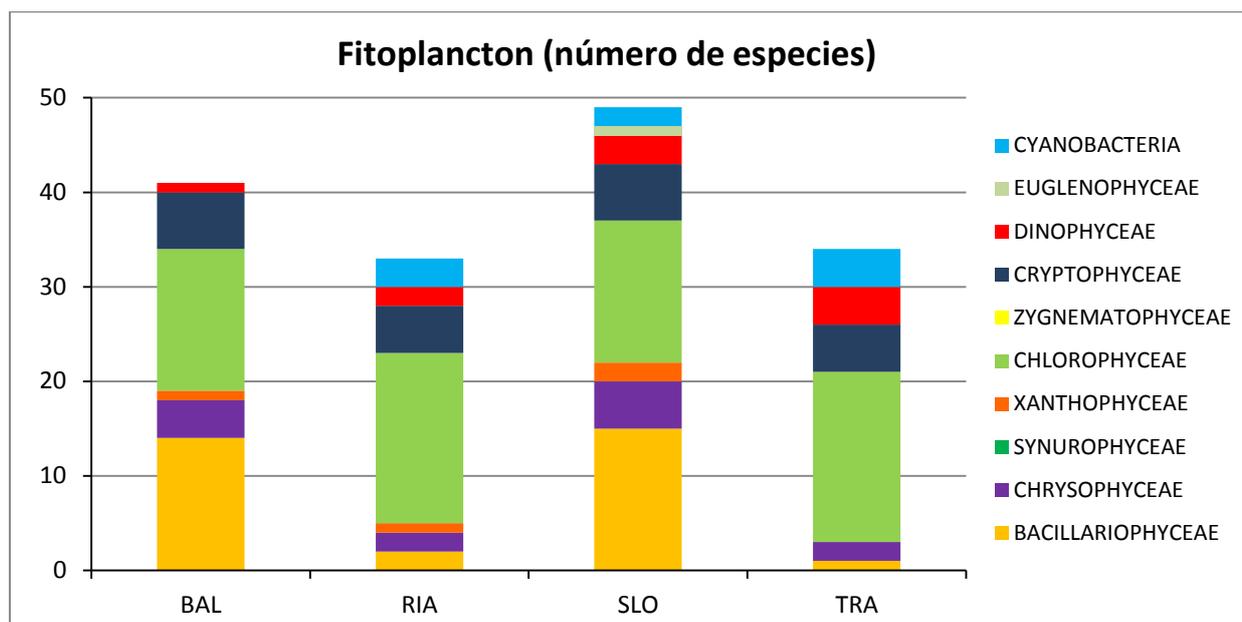
**Figura 59.** Riqueza de especies para cada grupo fitoplanctónico para los diferentes embalses del tipo 7 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.



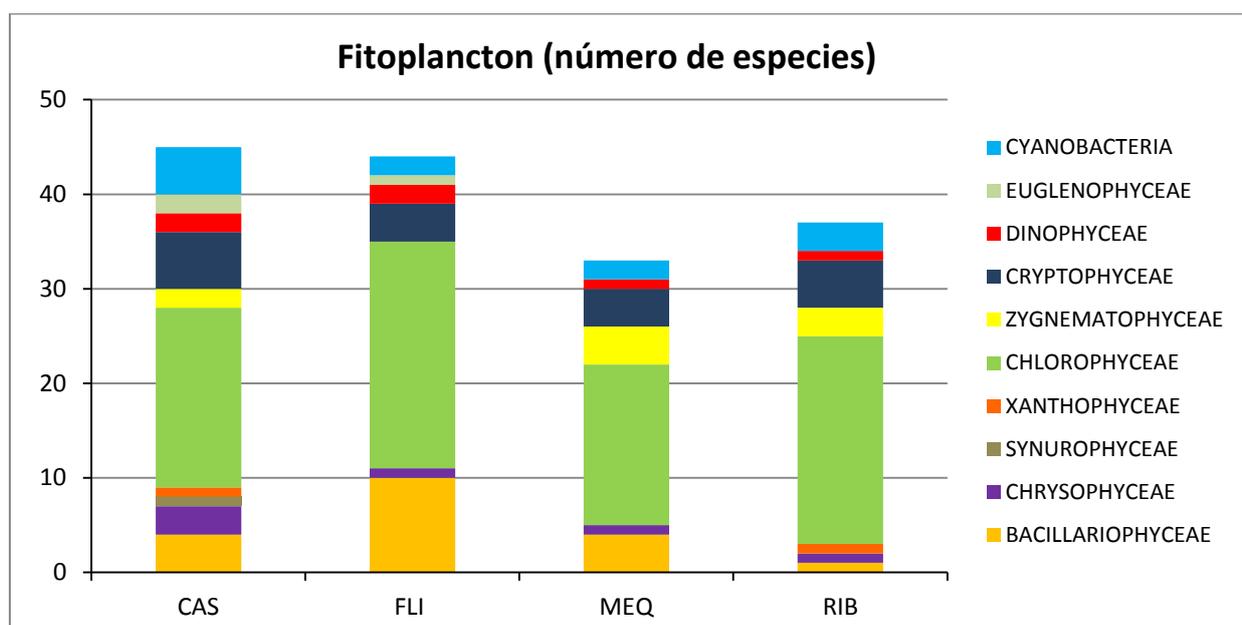
**Figura 60.** Riqueza de especies para cada grupo fitoplanctónico para los diferentes embalses del tipo 9 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.



**Figura 61.** Riqueza de especies para cada grupo fitoplanctónico para los diferentes embalses del tipo 10 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.



**Figura 62.** Riqueza de especies para cada grupo fitoplanctónico para los diferentes embalses del tipo 11 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.



**Figura 63.** Riqueza de especies para cada grupo fitoplanctónico para los diferentes embalses del tipo 12 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 cinco embalses donde predominan las Chrysophyceae: Llauset, Sallente, Escarra e Yesa. En el embalse de Lanuza las Cryptophyceae han sido el primer grupo con más riqueza.

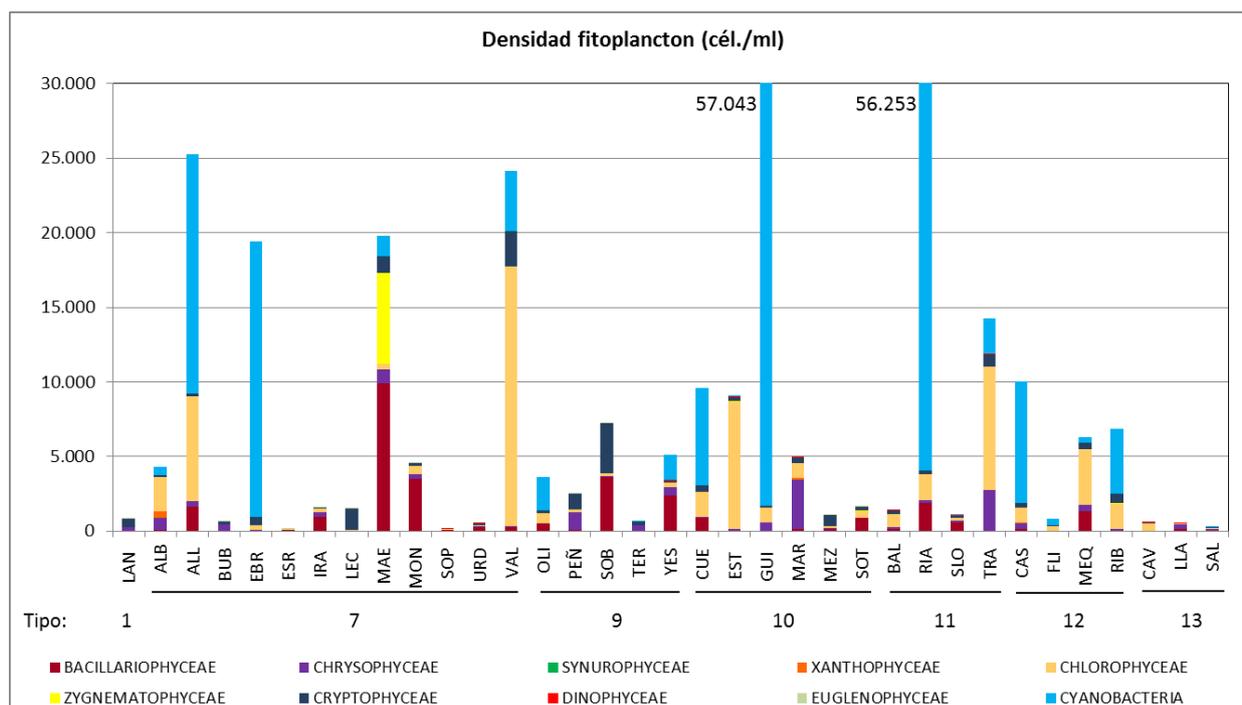


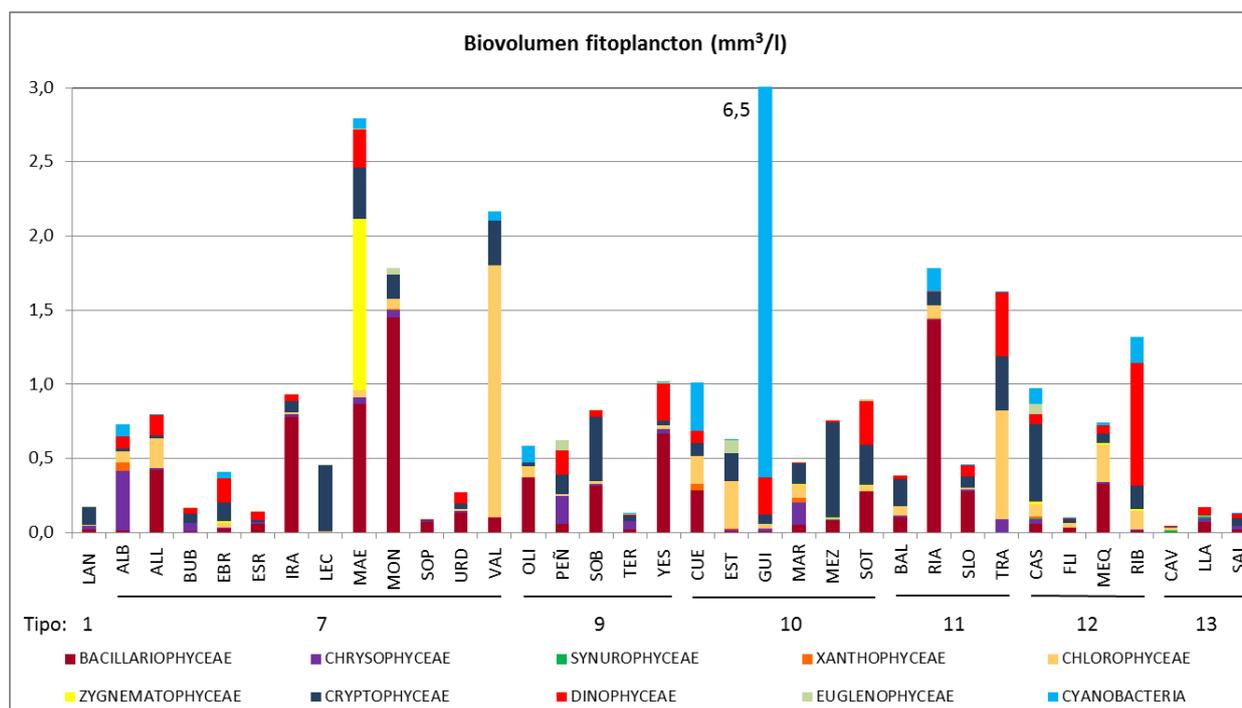
Figura 64. Densidad celular (en células por mililitro) de los grupos de algas fitoplanctónicas en los embalses del ESTUDIO. Abreviaturas de los embalses según su nombre.

En primer lugar, como grupo dominante en los embalses, se sitúan las Cianobacterias (algas verde-azules). Este grupo algal domina en los embalses con las mayores densidades, como son Rialb (56.253 células/mL) y Guiamets (57.043 células/mL). Y también en otros embalses como Ebro (18.481 células/mL) y Alloz (16.080 células/mL). Y en otros embalses se encuentra con densidades menores: Caspe (8.099 células/mL), Cueva Foradada (6.539 células/mL), Ribarroja (4.343 células/mL) y Oliana (2.228 células/mL).

Las Chlorophyceae (Clorófitas o algas verdes) son el segundo grupo con mayor densidad en el fitoplancton. Son las más abundantes en embalses como El Val (17.399 células/mL), La Estanca de Alcañiz (8.521 células/mL), La Tranquera (8.297 células/mL), Mequinenza (3.769 células/mL), Albiña (2.331 células/mL), Balaguer (879 células/mL) y Cavallers (480 células/mL).

El tercer grupo en importancia es Bacillariophyceae, destacando su presencia en el embalse de Maidevera con 9.900 células/mL, en el embalse de Sobrón con 3.643 células/mL, en Monteagudo de las Vicarías con 3.505 células/mL y Yesa con 2.407 células/mL.

Destacar la la dominancia del grupo Chrysophyceae, cuarto grupo en dominancia, en tres embalses: Margalef (3.270 células/mL), La Peña (1.206 células/mL) y Búbal (421 células/mL). Y del grupo Cryptophyceae en otros tres embalses: Lechago (1.432 células/mL), Mezalocha (714 células/mL) y Lanuza (547 células/mL).



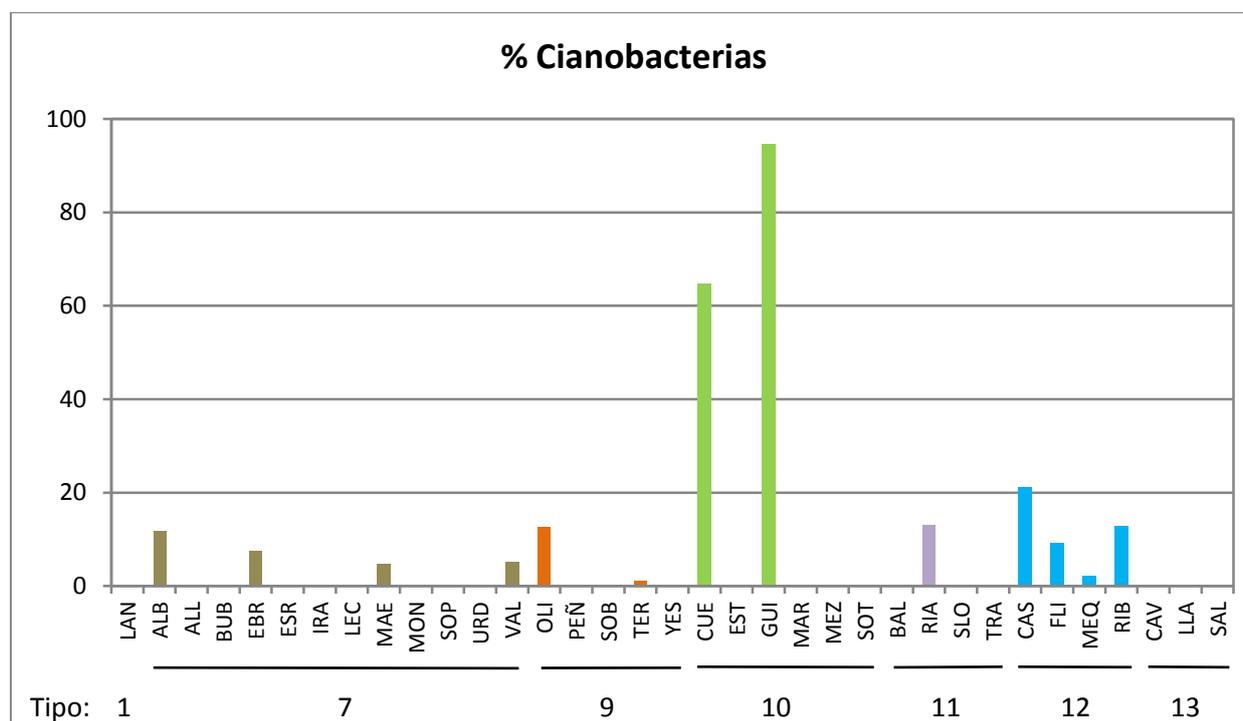
**Figura 65.** Biovolumen del fitoplancton (en mm<sup>3</sup> por litro) de los grupos de algas fitoplanctónicas en los embalses del ESTUDIO de. Abreviaturas de los embalses según su nombre.

Si observamos la representación de los biovolúmenes del fitoplancton (figura 65) son las Bacilarofíceas las que dominan en en la mayoría de embalses, trece de ellos, lo que representa un 37 % del total. Los embalses son: Alloz, Escarra, Irabia, Monteagudo de las Vicarías, Sopeira, Urdalur, Oliana, Yesa, Rialb, San Lorenzo, Flix, Mequinenza y Llauset. En este caso, son Monteagudo de las Vicarías y Rialb quienes presentan el valor más elevado de biovolumen dominado por las Bacilarofíceas (1,4 mm<sup>3</sup>/L).

El segundo grupo dominante, aunque solo domina en dos embalses son las Cianobacterias, grupo que tenía la mayor densidad, seguido por las Criptofíceas que domina en siete embalses. El cuarto grupo son las Clorófitas, que domina en tres embalses.

Las dinofitas son de poca abundancia, pero grandes, ya que aportan mucho biovolumen para la cantidad que hay. Este grupo cobra relativa importancia en biovolumen en los embalses de Ribarroja (0,83 mm<sup>3</sup>/mL), La Sotonera (0,29 mm<sup>3</sup>/mL), y Ebro (0,16 mm<sup>3</sup>/L).

Las crisofíceas (Chrysophyceae), algas típicas de aguas oligotróficas, ligeramente ácidas, poco mineralizadas y con valores bajos de alcalinidad, son importantes en embalses como Albiña, La Peña y Margalef. Los euglenófitos (Euglenophyceae), las zignematofíceas (Zygnematomphyceae), las xantofíceas (Xantophyceae) y las Synurophyceae son siempre grupos minoritarios en densidad y biovolumen.



**Figura 66.** 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.

Gran parte de los embalses, en veintidos, un 63 %, no tienen algas de este grupo y un 31 %, once embalses, las tienen en cantidades del 20 % de la densidad total o menores. Pero debemos señalar aquellos que poseen un porcentaje superior al 50 %, solo dos embalses, que ordenados de mayor a menor porcentaje son: Guiamets y Cueva Foradada. En el caso de Cueva Foradada, 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 Guiamets, ya que las cianobacterias son el grupo predominante y la especie mayoritaria es *Oscillatoria rubescens*, potencial productora de cionotoxinas. La presencia de cianobacterias, probablemente esté relacionada con el alto nivel de nutrientes en el sistema. La bibliografía general (Oliver y Ganf 2002; Reynolds 2006) relaciona la densidad de cianofíceas formadoras de blooms con la eutrofización, aunque se han documentado numerosas excepciones.

### 4.3.2. Zooplancton

En las muestras cuantitativas (2 botellas Ruttner x 2,6 L), se registraron 95 especies de zooplancton en un total de 35 embalses, agrupadas en tres grupos taxonómicos principales, el orden Cladocera (15 especies), la subclase Copepoda (12 taxones) y el phylum Rotifera (63 especies). También se contabilizaron otros 5 taxones pertenecientes a otros varios grupos zoológicos, entre los que se ha contabilizado algunas de las fases larvianas de *Dreissena polymorpha* (Mollusca, Bivalvia), y otros taxones: turbelarios (Clase Turbellaria), heliozoos, tintinidos y ciliados.

En las muestras de arrastre de redes verticales, la proporción entre grupos fue parecida, aunque recogiendo un total de 94 especies (ver tabla 11) y 5 taxones “secundarios”, Mollusca, por la presencia de la especie *Dreissena polymorpha*, turbelarios (Clase Turbellaria), heliozoos, tintinidos y ciliados.

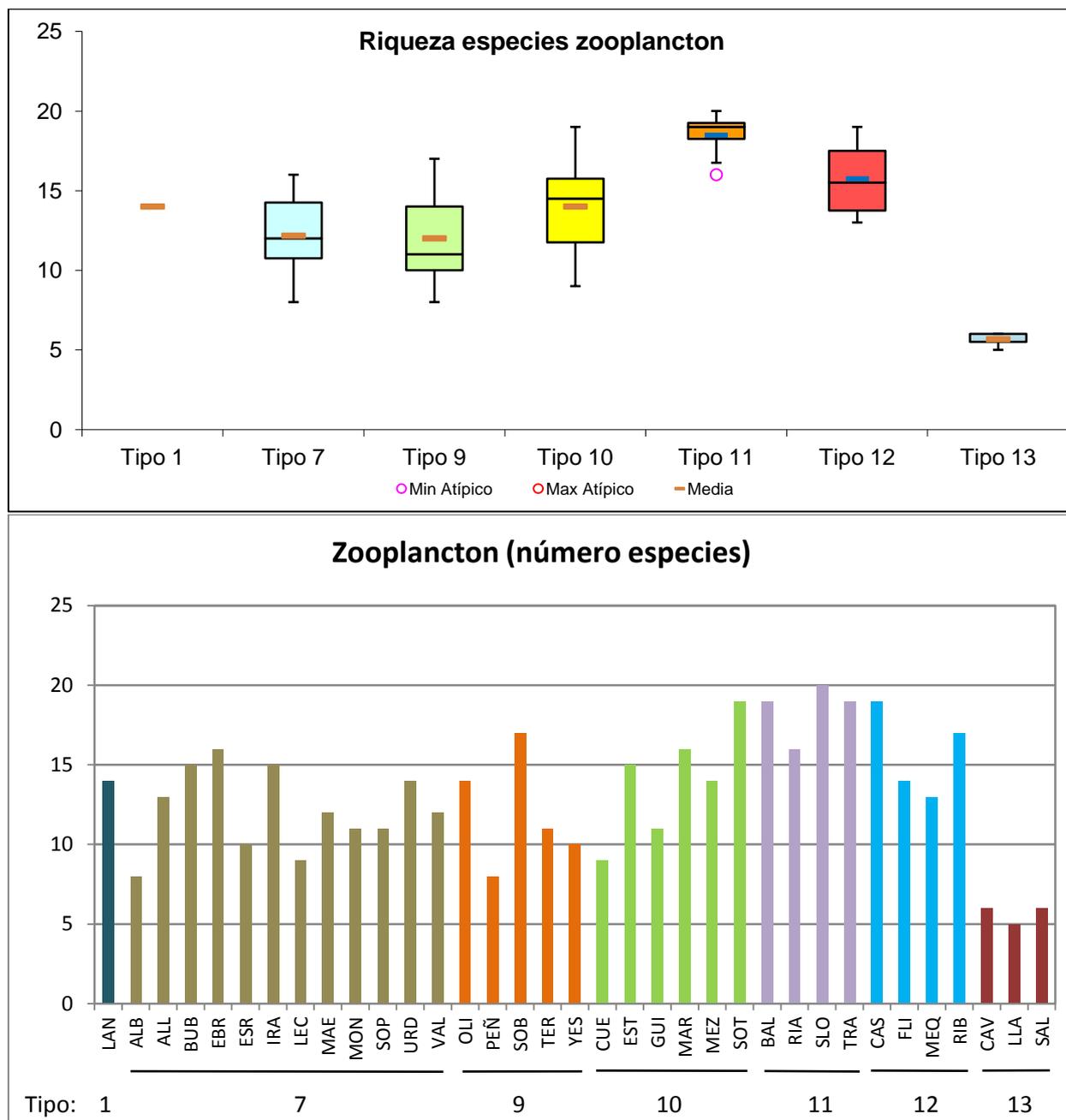
**Tabla 11.** Proporción entre grupos del zooplancton en la muestra cuantitativa y en la cualitativa mediante red.

	Cuantitativas		Redes	
<b>Cladocera</b>	15	15,8 %	20	21,3 %
<b>Copepoda</b>	12	12,6 %	15	15,9 %
<b>Rotifera</b>	63	66 %	54	57,4 %
<b>Otros taxones</b>	5	5,3 %	5	5,3 %
<b>Total</b>	<b>95</b>		<b>94</b>	

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

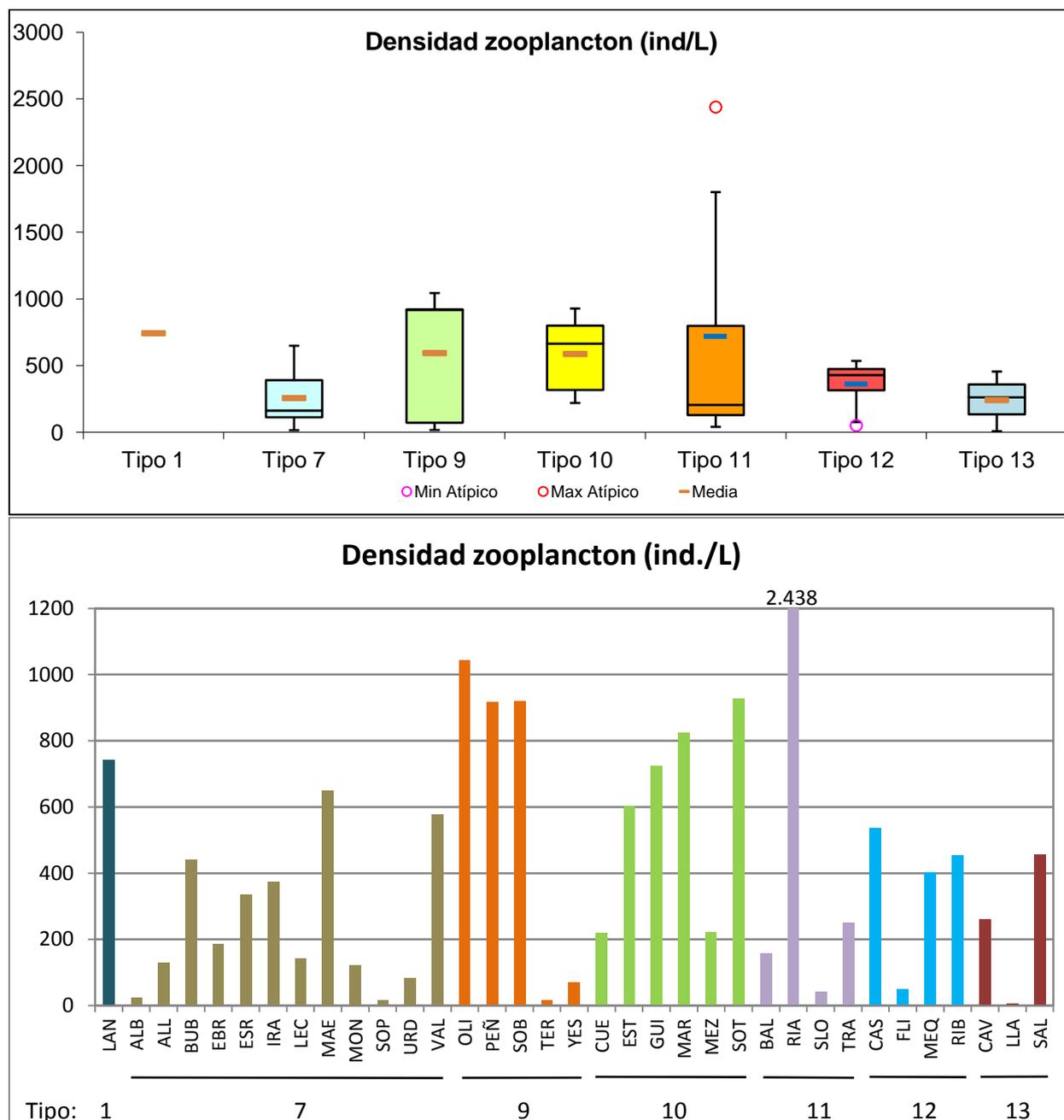
Densidad (individuos/L, ind./L), biomasa ( $\mu\text{g}$  peso seco/litro,  $\mu\text{g/L}$ ), riqueza de especies y diversidad, a partir de las muestras cuantitativas. Seguidamente se resumen los resultados obtenidos por tipologías de embalses.

La **riqueza** de especies se situó en torno a 13 especies por embalse (valores de la media), con el tipo 11 presentando el mayor valor (18,5 especies) y el tipo 13 presentando el valor más bajo entre todos los tipos (5,7 especies). Valores destacados de riqueza zooplanctónica se dieron en los siguientes embalses: San Lorenzo con 20; le siguen La Sotonera, Balaguer, La Tranquera y Caspe todos ellos con 19 especies. Se encontraron menos de 10 especies en siete embalses, los tres embalses del tipo 13, más Albiña, Cueva Foradada, La Peña y Lechago.



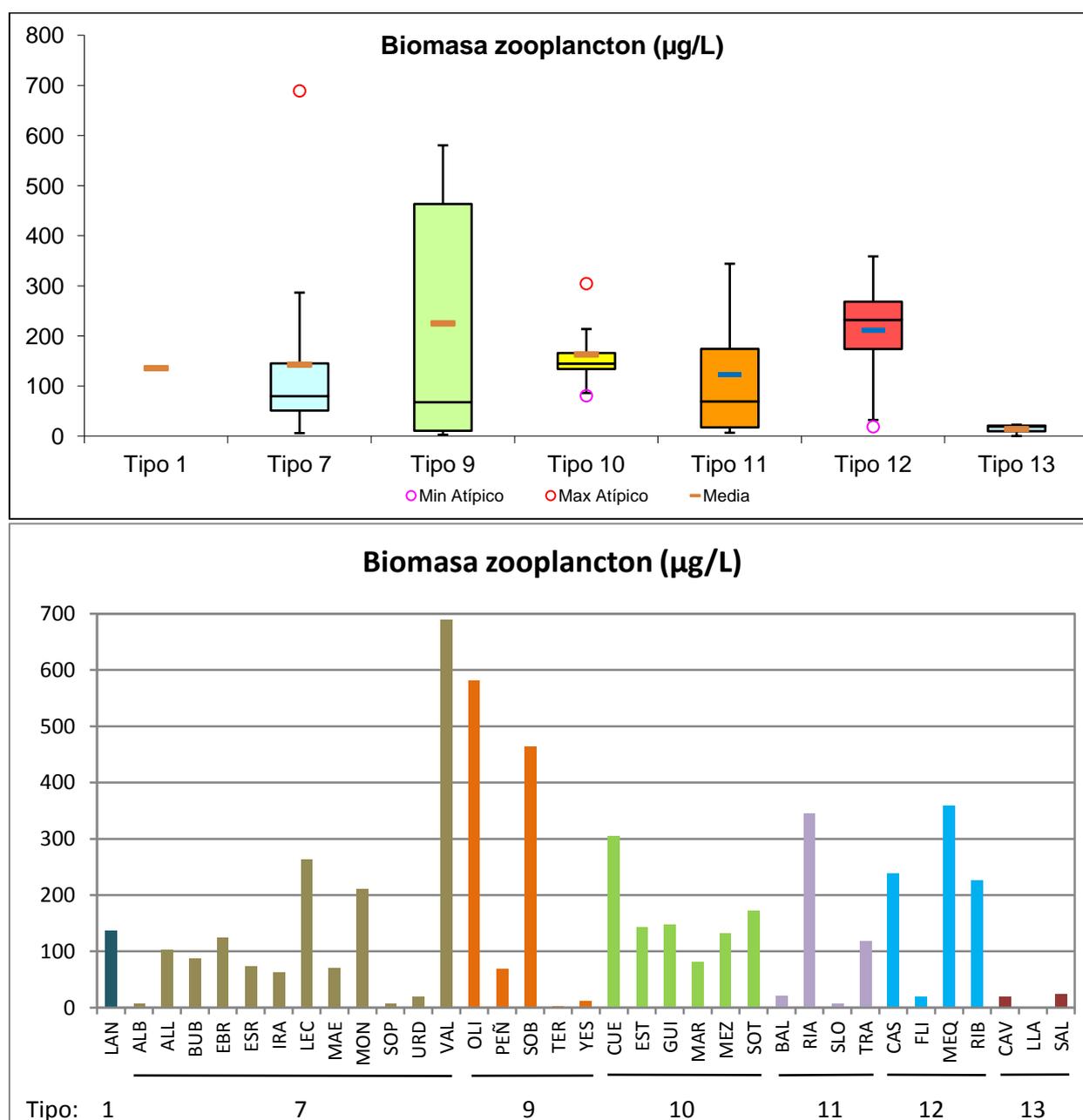
**Figura 67.** Riqueza de especies de zooplancton para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Tipos: 1: silíceo / húmedo / cabecera / frío; 7: calcáreo / húmedo / cabecera / frío; 9: calcáreo / húmedo / red principal; 10: calcáreo / no húmedo / 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 ha sido de 438,67 ind/L, con valores que han ido desde los 6,92 ind/L en el embalse de Llauset hasta los 2.438 ind/L en Rialb, embalse que también contenía la densidad máxima para el fitoplancton. Por tipos, los promedios más altos han sido para el tipo 1 y 11 y, mientras que el más bajo ha sido para el tipo 13, seguido del tipo 7.



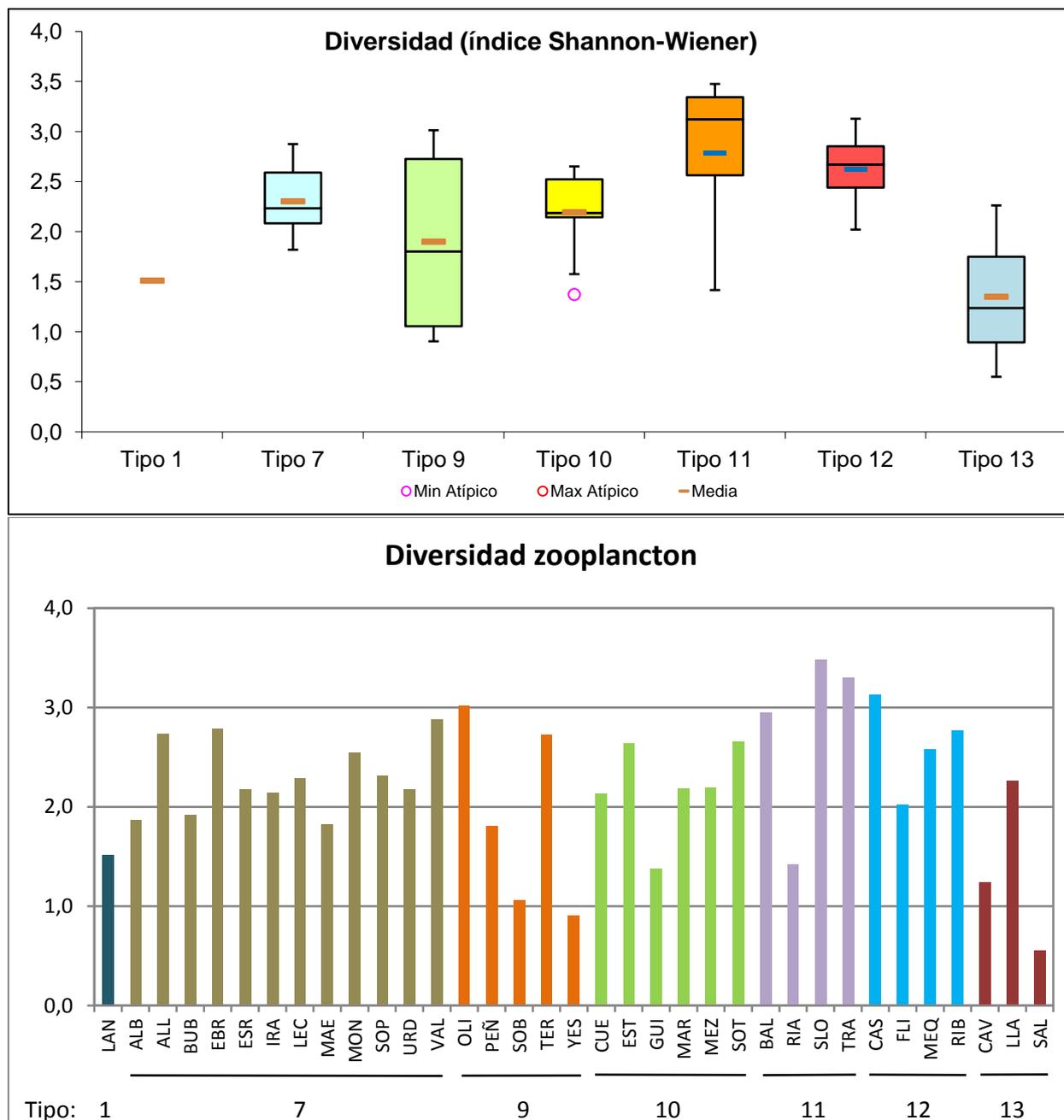
**Figura 68.** Densidad celular del zooplancton para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 67.

La **biomasa** media fue mayor en el tipo 9, con dos embalses que superan los 400  $\mu\text{g/L}$ . Le sigue el tipo 12 con tres embalses por encima de los 200  $\mu\text{g/L}$ . El máximo absoluto de todo el ESTUDIO se dio en el embalse de El Val, con 689  $\mu\text{g/L}$ , especialmente debido a la presencia de *Bosmina longirostris* con una biomasa de 220  $\mu\text{g/L}$ . En la parte opuesta, los valores menores han sido para el tipo 13. Por embalses los valores más bajos se han registrado en Llauset con 0,61  $\mu\text{g/L}$  del tipo 13, seguido de Terradets con 3,15  $\mu\text{g/L}$  del tipo 9. Por tanto, los mayores contrastes se observan entre los embalses del tipo 9.



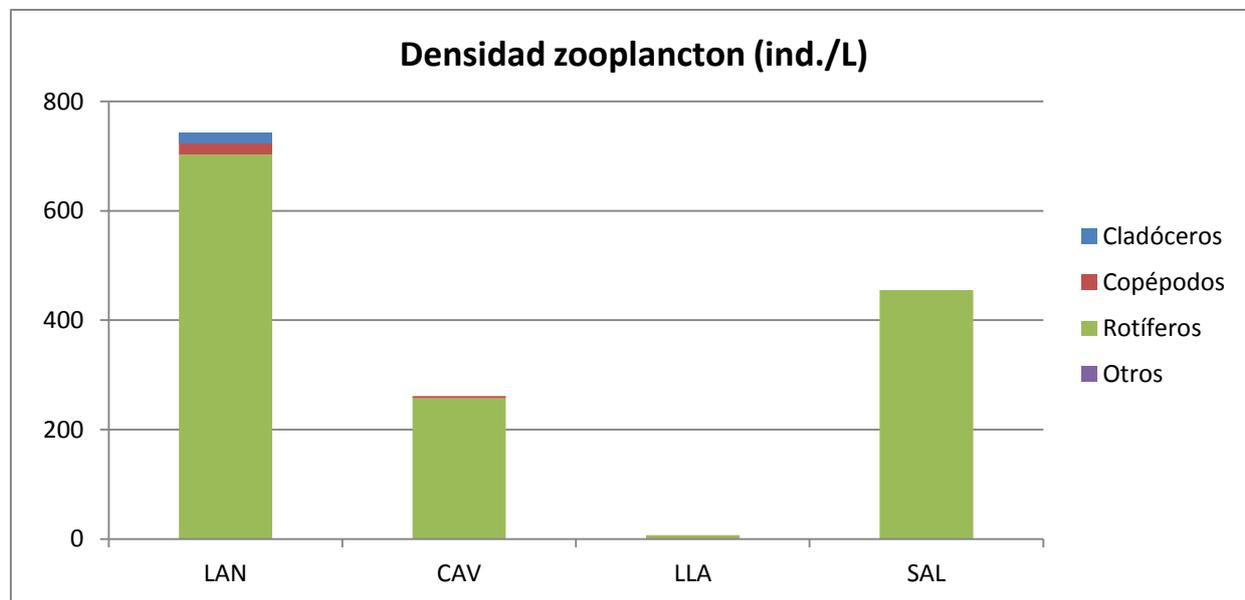
**Figura 69.** Biomasa del zooplancton para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 67.

La **diversidad** máxima se presenta en el tipo 11 con 2,78 bits, mientras que la mínima está en el tipo 13 con 1,35 bits. Once 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 San Lorenzo, con 3,48 bits. Destacar el valor mínimo del embalse de Sallente (tipo 13) con 0,55 bits, solo otro embalse, Yesa con 0,90 bits, no llega a 1 bit.

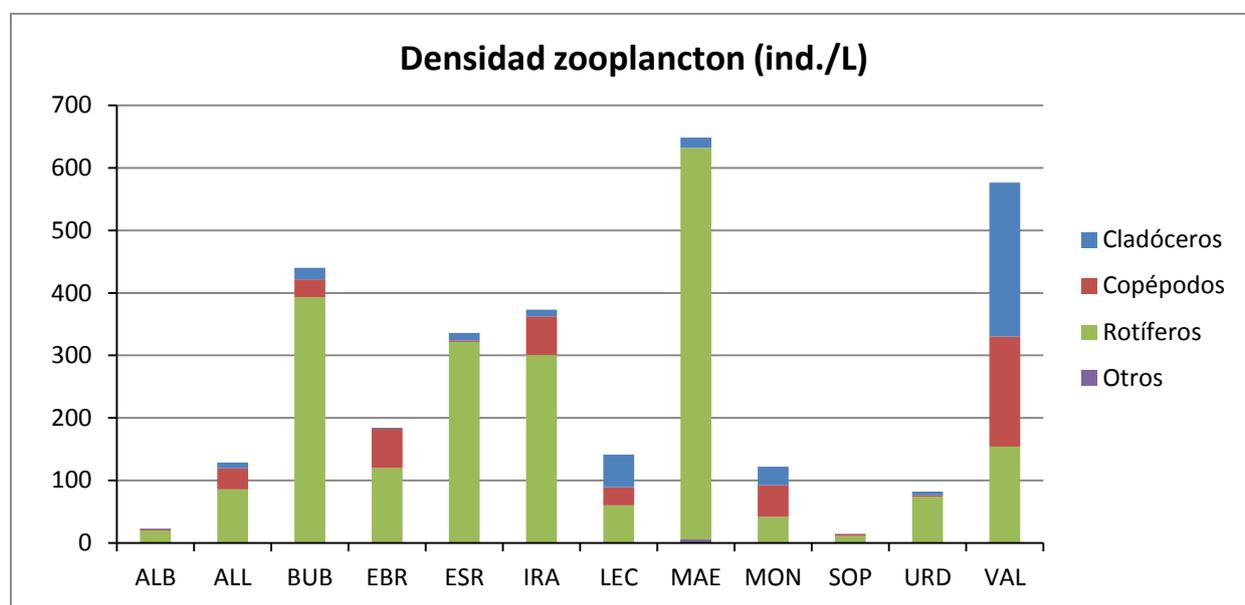


**Figura 70.** Diversidad del zoplancton según el índice de Shannon-Wiener para los diferentes tipos de embalses (parte superior) y para cada embalse (parte inferior) del ESTUDIO. Leyenda como en la figura 67.

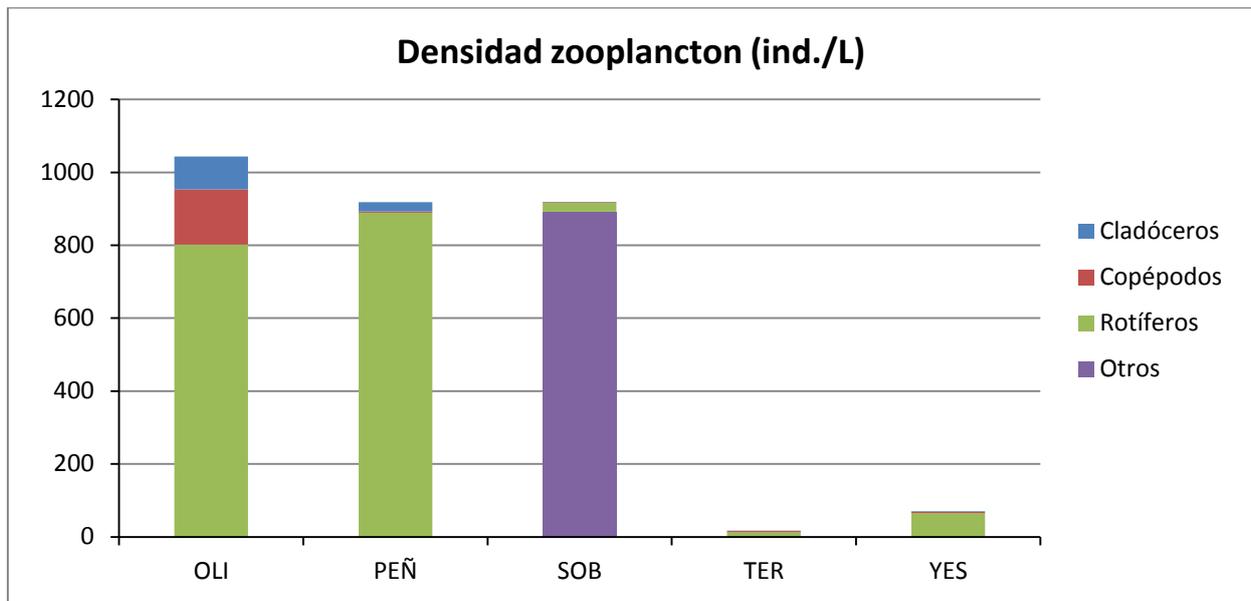
En las figuras siguientes (figuras 71 a 76) observamos la distribución por tipos de la densidad del zooplancton en los diversos embalses estudiados, indicando los cuatro grupos zooplanctónicos.



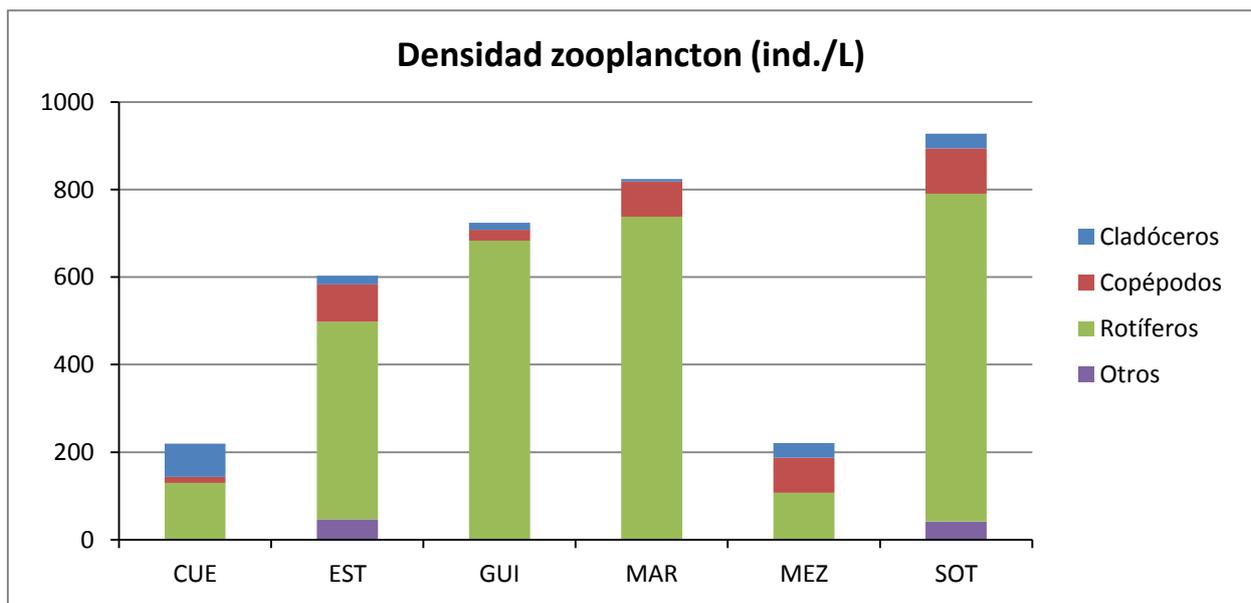
**Figura 71.** Densidad del zooplancton para cada grupo zooplanctónico para los embalses del tipo 1 (LAN) y tipo 13 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.



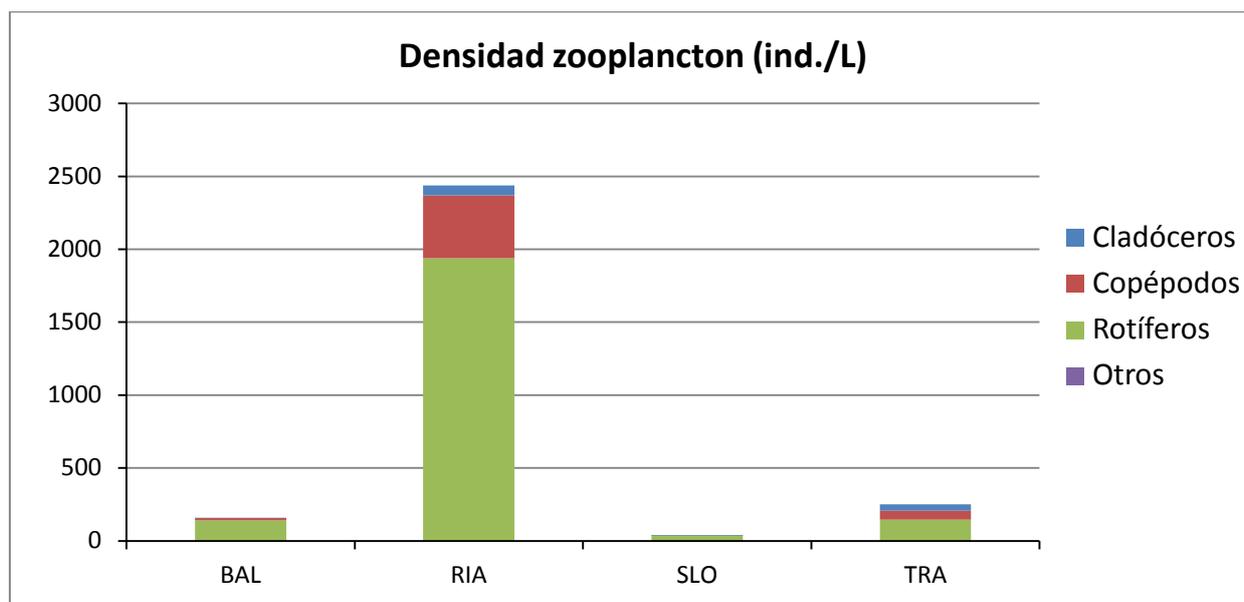
**Figura 72.** Densidad del zooplancton para cada grupo zooplanctónico en los distintos embalses del tipo 7 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.



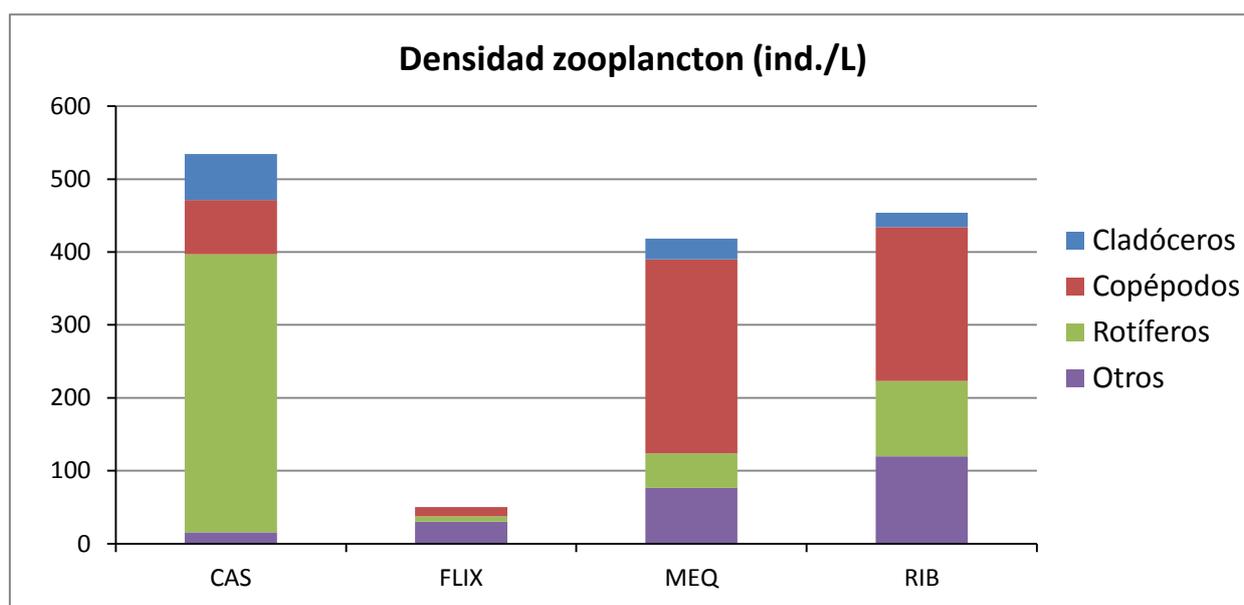
**Figura 73.** Densidad del zooplancton para cada grupo zooplanctónico en los distintos embalses del tipo 9 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.



**Figura 74.** Densidad del zooplancton para cada grupo zooplanctónico en los distintos embalses del tipo 10 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.



**Figura 75.** Densidad del zooplancton para cada grupo zooplanctónico en los distintos embalses del tipo 11 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.



**Figura 76.** Densidad del zooplancton para cada grupo zooplanctónico en los distintos embalses del tipo 12 del ESTUDIO. Leyendas según el nombre de cada embalse.

Se observa, como suele ser lo habitual, una clara predominancia de los rotíferos (en cuanto a densidad), representando la mayor densidad zooplanctónica en la mayoría de los embalses. Las excepciones más llamativas a esta regla general, con predominancia de los copépodos, se dan en Monteagudo de las Vicarías, Mequinzenza y Ribarroja. Mientras que solo hay un embalse con predominancia de los cladóceros que es El Val. La predominancia de otros

taxones en dos embalses es debida a la abundancia de las larvas planctónicas de mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*), en los embalses de Sobrón y Flix.

En 2015 se capturaron larvas de mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*) en 7 embalses: Sobrón, Ribarroja, Flix, La Sotona, La Estanca de Alcañiz, Mequinenza y Caspe. La densidad de larvas en el embalse de Sobrón fue la más alta (con 747,5 ind./L y representando un 81,4 % de la comunidad zooplanctónica). Seguidamente con densidades menores en valores absolutos se presentaron Ribarroja y Mequinenza con 120,0 y 61,0 ind./L respectivamente, lo que representa un 26,4 % de la comunidad zooplanctónica para Ribarroja y un 15,1 % para Mequinenza. Respecto al año 2014, el porcentaje en Sobrón y Ribarroja ha disminuido, mientras que en Flix, Mequinenza y Caspe ha aumentado. En las muestras de red los valores porcentuales han sido más bajos en general, salvo en La Estanca, donde han sido similares y en La Sotona donde han sido mayores a los obtenidos con las muestras cuantitativas.

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

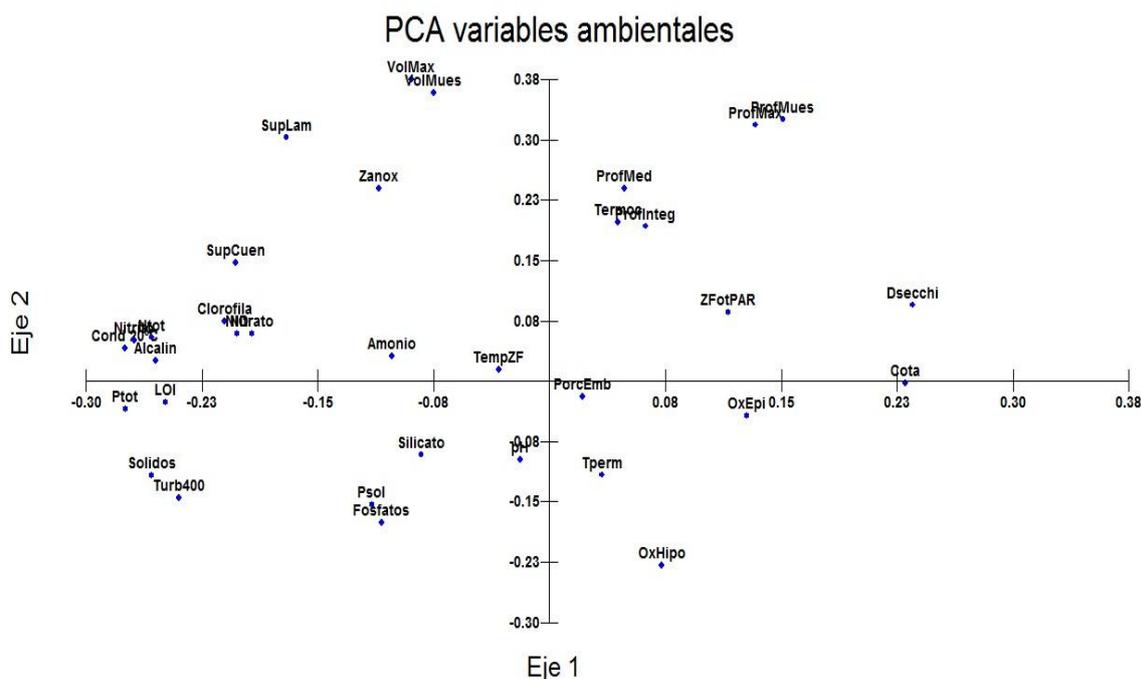
**Tabla 12.** Abundancia de *Dreissena polymorpha* en los embalses estudiados en 2015.

Embalse	Código	<i>D. polymorpha</i> (ind/L)	<i>D. polymorpha</i> (% densidad)	<i>D. polymorpha</i> (% red)
Sobrón	SOB	747,5	81,4	53,3
Ribarroja	RIB	120,0	26,4	12,7
Mequinenza	MEQ	61,0	15,1	9,43
La Sotona	SOT	41,5	4,5	7,13
Flix	FLI	27,7	55,1	29,8
Caspe	CAS	15,4	2,9	1,7
La Estanca de Alcañiz	EST	10,2	1,7	1,75

#### 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 77.** Representación de la posición de las variables estudiadas en los embalses en 2015 frente a los ejes principales 1 y 2 del análisis multivariante PCA.

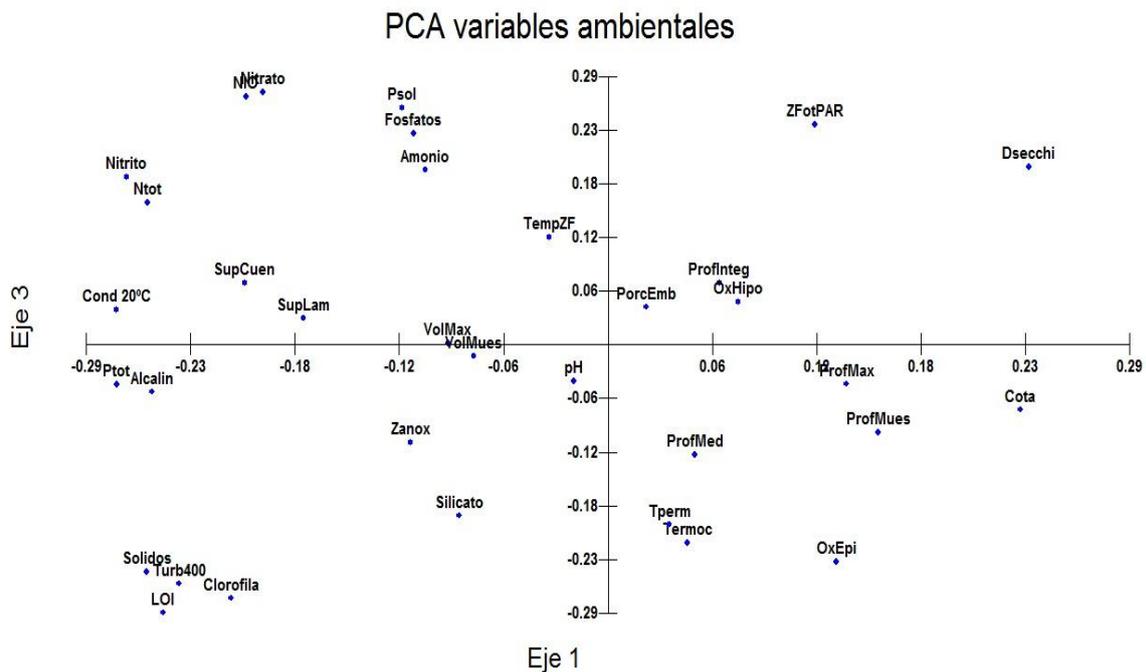
Los resultados obtenidos muestran que los tres primeros ejes explican un 51,6 de la varianza entre los embalses. El porcentaje de la varianza explicado por el eje 1 es el 26,6 %, el segundo eje 14,3 % y el tercer eje 10,6 %. En la figura 77 se representa la posición de las

variables con respecto a los ejes principales 1 y 2; mientras que la figura 78 hace la representación para los ejes principales 1 y 3.

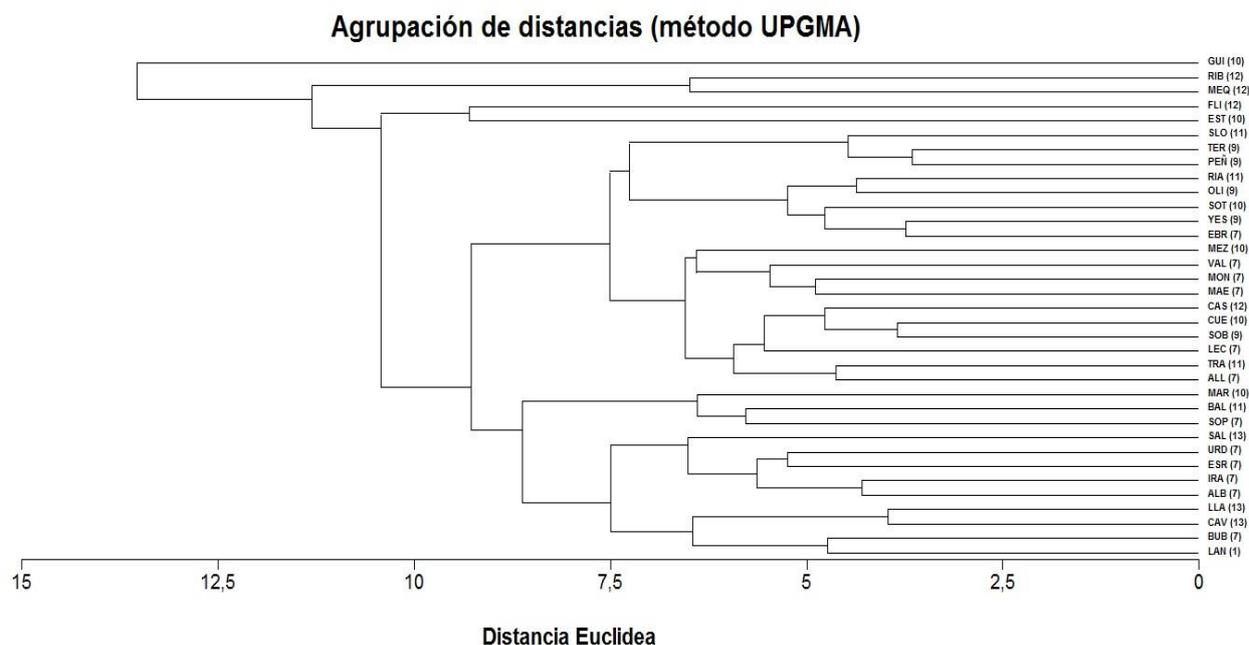
El eje 1 da mayor peso en la zona positiva a las variables relacionadas con la transparencia, aguas bien oxigenadas y la altitud de los embalses, frente a una mayor concentración de nutrientes y embalses más turbios, tramos de orden superior que reciben la carga de nutrientes de la cuenca aguas arriba.

En el eje 2 tienen mayor peso en la zona positiva las variables relacionadas con grandes embalses, profundos y con hipolimnion anóxico, y la hidromorfología, mientras que en la parte negativa tienen más peso las variables relacionadas con la oxigenación del hipolimnion, el fósforo soluble y biodisponible y el tiempo de permanencia.

El eje 3 separa en la zona positiva las variables relacionadas con la carga de nutrientes biodisponibles y la profundidad de la zona fótica, frente a la zona negativa con aguas más turbias y mayor tiempo de permanencia.

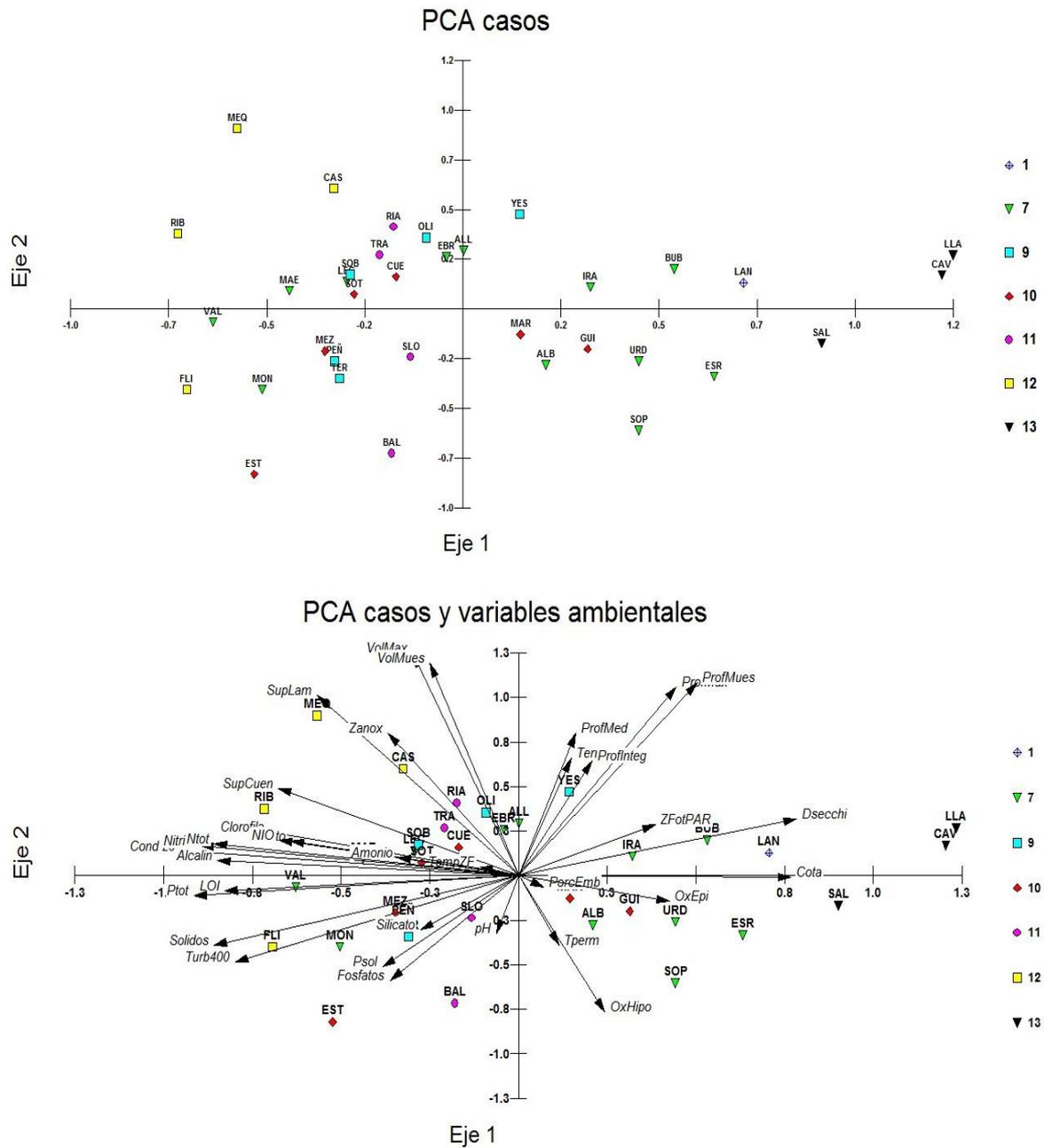


**Figura 78.** Representación de la posición de las variables estudiadas en los embalses en 2015 frente a los ejes principales 1 y 3 del análisis multivariante PCA.



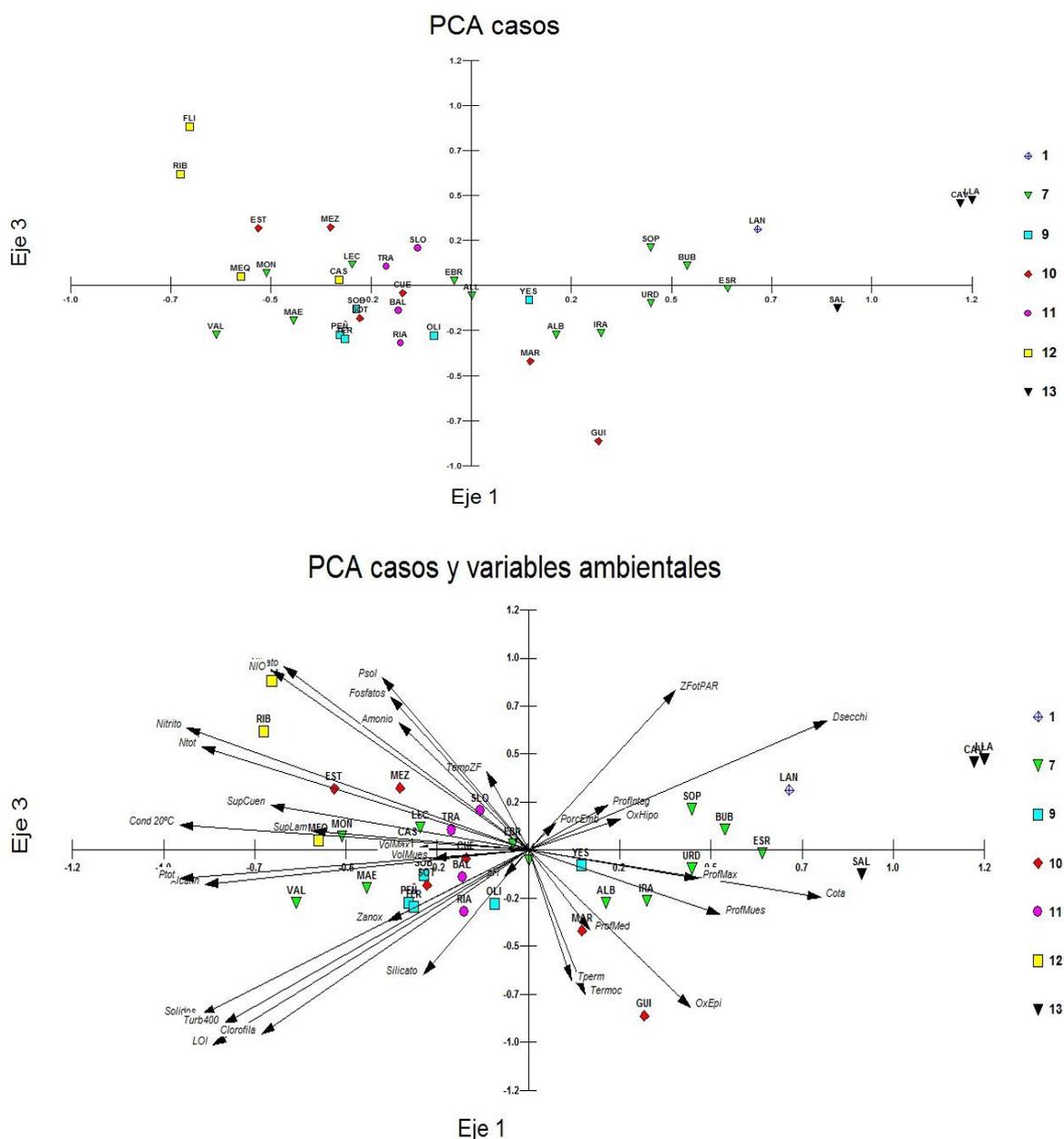
**Figura 79.** Agrupación de las distancias euclídeas entre los embalses según las variables estudiadas en ellos en 2015 en base al análisis multivariante PCA.

La agrupación de los embalses (figura 79) en primer lugar diferencia los embalses por sus variables hidromorfológicas, especialmente por su cota. Entre los demás embalses se ha establecido un gradiente de agrupación en función de la combinación de variables de la mineralización, la transparencia y el estado trófico, quedando por un lado los embalses de mejor estado, más transparentes y menos mineralizados, y por otro lado los embalses en peor estado o más mineralizados y más turbios. Destacar la separación inicial del embalse de Guiamets debido a su elevado tiempo de renovación hidráulico.



Vector scaling: 3.35

**Figura 80.** Representación, en la gráfica superior, de la posición de los embalses estudiados en 2015 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.



**Figura 81.** Representación, en la parte superior, de la posición de los embalses estudiados en 2015 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 80 y 81 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 de mayor cota, los más transparentes y los más oxigenados, mientras en la zona negativa están los más cargados en nutrientes, más mineralizados y turbios y de cotas bajas. El eje 2 separa los embalses principalmente en función de la profundidad de las muestras y la oxigenación del hipolimnion. Por otra parte, el eje 3 sitúa en la parte positiva aquellos con fuerte carga de fosfatos y una buena transparencia, donde se ubican sólo los embalses de Flix y Ribarroja, frente a los que tienen un mayor tiempo de permanencia.

## 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 a controlar por 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 éstos 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.

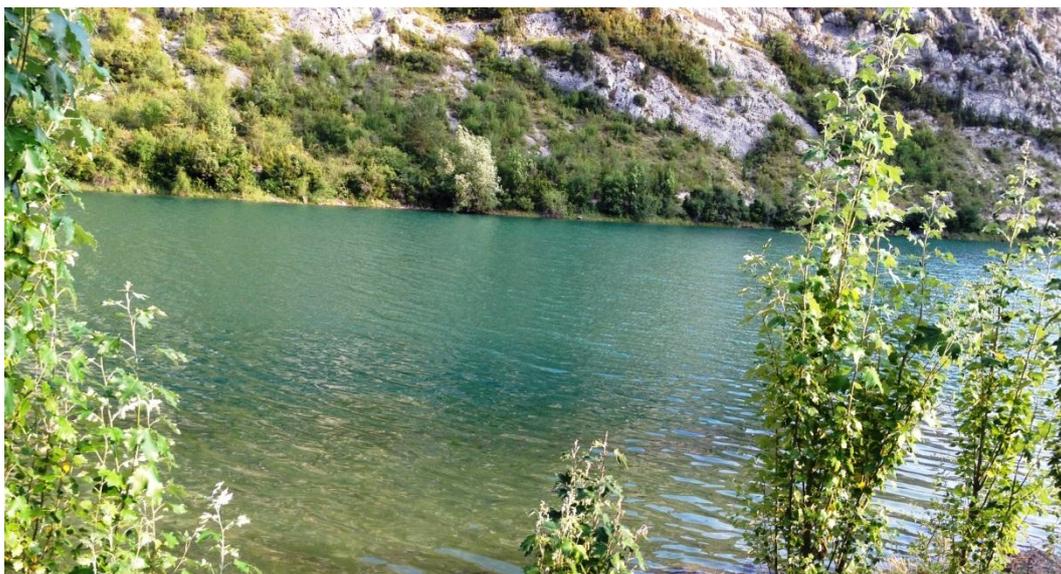
- **LEE, JONES & RAST**, con cinco categorías tróficas y límites de 2,1 / 3 / 6,7 / 10 µg/L de clorofila (media anual).
- **OCDE**, con cinco categorías tróficas y límites de 1 / 2,5 / 8 y 25 µg/L para la media anual de clorofila-a y de 2,5 / 8 / 25 y 75 µg/L para el máximo anual.
- **MARGALEF**, con 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 con sólo una campaña de muestreo y por tanto no contar con una serie temporal que nos permitiera la detección del máximo anual, se utilizaron las clases de calidad relativas a la media anual (tabla 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 Sopeira, con la mínima concentración de clorofila a en 2015*



*Embalse de El Val, con la máxima concentración de clorofila a en 2015*

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

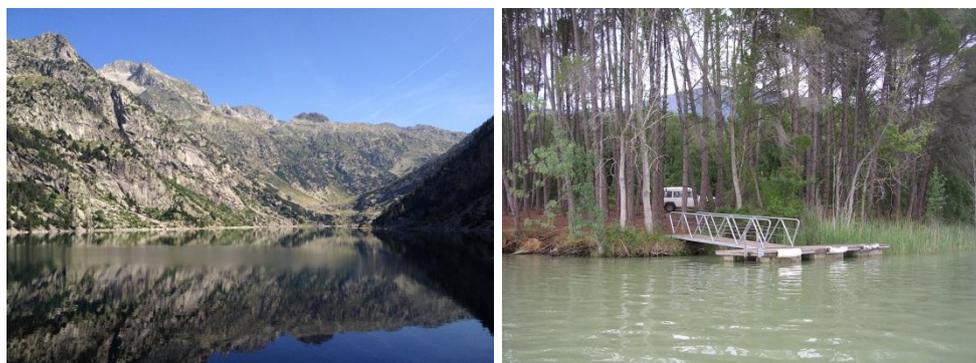
Por su parte, la transparencia, medida como profundidad de visibilidad del disco de Secchi (media y mínimo anual en m), está también íntimamente relacionada con la biomasa algal, aunque más indirectamente, ya que otros factores como la turbidez debida a sólidos en suspensión, o los fenómenos de dispersión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



*Embalses de Cavallers con la máxima transparencia (18 m) y Terradets con la mínima (0,8 m) en 2015*

### 5.3. Catalogación trófica final

Se han considerando 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.

**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.

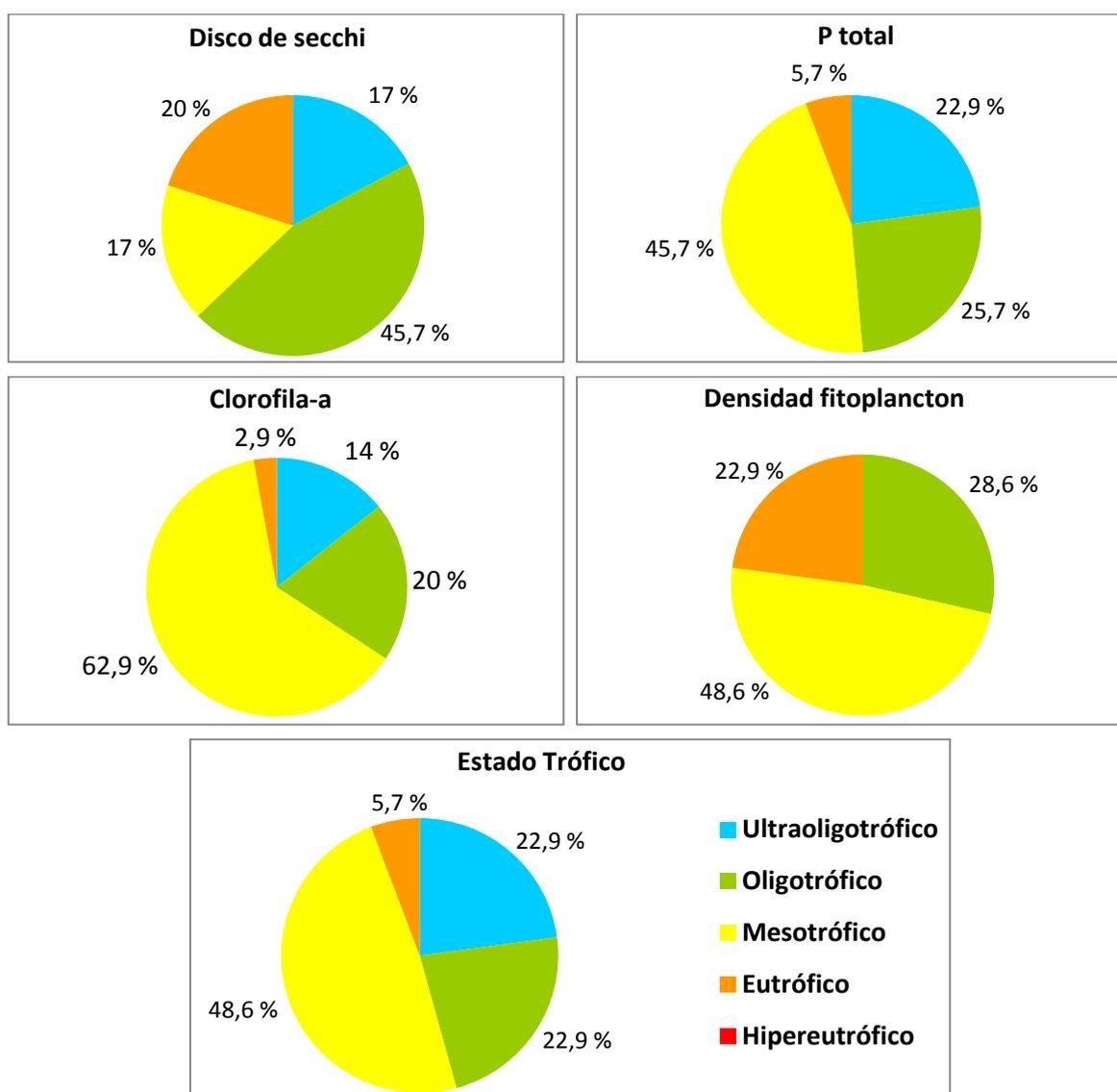
**Tabla 17.** Valor numérico asignado a cada clase de estado trófico.

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

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.

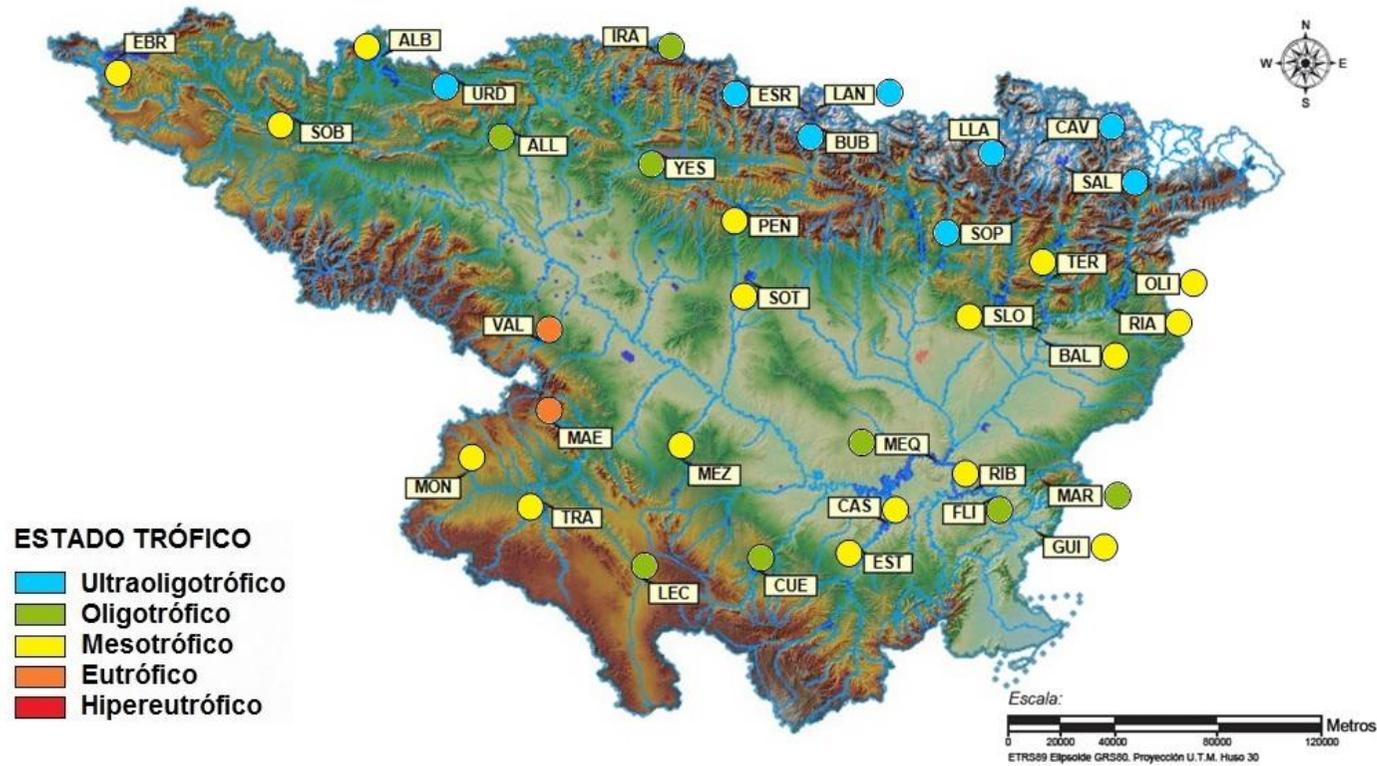
La figura 82 muestra (en los códigos de colores de la DMA) los estados tróficos estimados con cada una de las variables consideradas, así como de la combinación de todas ellas en el estado trófico final.

En la figura 83 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 2015.



**Figura 82.** 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, que clasificó un 22,9 % de embalses como eutróficos y ninguno como ultraoligotrófico, mientras que, aunque el DS clasificó un 20 % de embalses como eutróficos, también clasificó un 17 % como ultraoligotróficos. El P total clasificó un 5,7 % como eutróficos y la clorofila a solo el 2,9 %. El P total fue la variable que más embalses clasificó como ultraoligotróficos, un 22,9 %. La catalogación trófica final resultó un compromiso entre métricas, muy parecida a la clasificación según la concentración de P total. La clase mayoritaria fue mesotrófico, con el 48,6 %, con las clases oligotrófico y ultraoligotrófico con el mismo número de embalses, 8. Destacar que ninguna de las variables clasificó embalse alguno como hipereutrófico.



*Llauset (ultraoligotrófico)*



*Alloz (oligotrófico)*



*Maidevera (eutrófico)*

**Figura 83.** Clasificación de los embalses según su Estado Trófico en 2015.

**Tabla 18.** Diagnóstico del estado trófico en 2015.

Embalse	Código MAS	P total	Disco Secchi	Clorofila a	Densidad fito	ESTADO TRÓFICO
Ebro	EB 1	Mesotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Mesotrófico
Irabia	EB 4	Ultraoligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Oligotrófico
Albiña	EB 5	Oligotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico
Lanuzza	EB 19	Oligotrófico	Ultraoligotrófico	Ultraoligotrófico	Oligotrófico	Ultraoligotrófico
Sobrón	EB 22	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico
Búbil	EB 25	Ultraoligotrófico	Ultraoligotrófico	Oligotrófico	Oligotrófico	Ultraoligotrófico
Alloz	EB 27	Oligotrófico	Oligotrófico	Oligotrófico	Eutrófico	Oligotrófico
Yesa	EB 37	Oligotrófico	Mesotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Oligotrófico
La Peña	EB 44	Mesotrófico	Eutrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico
Sopeira	EB 45	Ultraoligotrófico	Oligotrófico	Ultraoligotrófico	Oligotrófico	Ultraoligotrófico
Oliana	EB 53	Mesotrófico	Eutrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico
Terradets	EB 59	Mesotrófico	Eutrófico	Oligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico
Sotonera	EB 62	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico
Rialb	EB 63	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Mesotrófico
San Lorenzo	EB 67	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico
El Val	EB 68	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico
Mequinenza	EB 70	Oligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Oligotrófico
Mezalocha	EB 71	Mesotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico
Margalef	EB 72	Oligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Oligotrófico
Flix	EB 74	Eutrófico	Oligotrófico	Ultraoligotrófico	Oligotrófico	Oligotrófico
La Tranquera	EB 76	Mesotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Mesotrófico
Caspe	EB 78	Oligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Mesotrófico
Guiamets	EB 79	Mesotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Mesotrófico
Cueva Foradada	EB 80	Oligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Oligotrófico
Lechago	EB 87	Mesotrófico	Ultraoligotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Oligotrófico
Urdalur	EB 550	Ultraoligotrófico	Oligotrófico	Oligotrófico	Oligotrófico	Ultraoligotrófico

Embalse	Código MAS	P total	Disco Secchi	Clorofila a	Densidad fito	ESTADO TRÓFICO
Maidevera	EB 823	Mesotrófico	Eutrófico	Mesotrófico	Eutrófico	<b>Eutrófico</b>
Ribarroja	EB 949	Mesotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	<b>Mesotrófico</b>
Escarra	EB 951	Ultraoligotrófico	Oligotrófico	Oligotrófico	Oligotrófico	<b>Ultraoligotrófico</b>
Sallente	EB 952	Ultraoligotrófico	Ultraoligotrófico	Oligotrófico	Oligotrófico	<b>Ultraoligotrófico</b>
Llauset	EB 953	Ultraoligotrófico	Ultraoligotrófico	Ultraoligotrófico	Oligotrófico	<b>Ultraoligotrófico</b>
La Estanca de Alcañiz	EB 1022	Oligotrófico	Eutrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	<b>Mesotrófico</b>
Cavallers	EB 1043	Ultraoligotrófico	Ultraoligotrófico	Ultraoligotrófico	Oligotrófico	<b>Ultraoligotrófico</b>
Balaguer	EB 1049	Mesotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	<b>Mesotrófico</b>
Monteagudo de las Vicarías	EB 1681	Mesotrófico	Eutrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	<b>Mesotrófico</b>

## 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), físico-química 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 2014 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<sub>PL</sub>* 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 2014, 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 (CHE 2007; 2008). Se trata de la relación entre el número de cladóceros de gran tamaño frente al total de cladóceros (*R<sub>cla</sub>*) y la relación o cociente entre la biomasa de zooplancton y la biomasa de fitoplancton expresada como concentración de Clorofila *a* (*R<sub>zoo-chla</sub>*). 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 y 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 2015.

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
<b>Biológico: propuesta normativa</b>	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>
<b>Biológico: propuesta experimental</b>	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>
	Composición, abundancia y biomasa del ZOOPLANCTON	<i>Zooplankton Reservoir Trophic Index (ZRTI)</i>
<b>Fisicoquímico</b>	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	4	3	2	1

#### 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 <sup>3</sup> /L)	< 0,5	0,5-2	2-8	>8
Valoración de cada clase	4	3	2	1

### 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 a (µg/L)	0 - 2,5	2,5-8	8,0-25	>25
Valoración de cada clase	4	3	2	1

### 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 1 a 4, 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	4	3	2	1

## 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, 59 especies de fitoplancton pudieron ser asignadas a los táxones 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 1-4.

**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	4	3	2	1

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

Del inglés, *Trophic Index*, se trata de un índice biótico basado en 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, 120 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	4	3	2	1

## 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 (Mellado A. *et al.* (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).

Se basa en la abundancia relativa de los 165 taxones algales utilizados en el análisis de correspondencias canónicas (CCA), realizado 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). Es evidente que con la nueva metodología de cálculo de la densidad fitoplanctónica (MAGRAMA, 2015), este cálculo del *PRTI* debería revisarse también.

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	Buena 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	4	3	2	1

El funcionamiento del índice *PRTI* fue validado mediante su aplicación a los datos de embalses del Ebro de 2008, observándose coeficientes de regresión lineal significativos con métricas de estado trófico como el *TSI* de Carlson (Carlson 1977;  $R^2$  ajustada = 0,29;  $p = 0,000013$ ) o el *TLI* de Burns (Burns *et al.* 1999);  $R^2$  ajustada = 0,33;  $p = 0,000002$ ).

## 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 (Mellado A. *et. al.* (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.).

Se basa en la abundancia relativa de las 126 especies de la comunidad de zooplancton utilizadas en el CCA, realizado 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	Bueno 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	4	3	2	1

El funcionamiento del índice ZRTI, al igual que se hizo con su homólogo de fitoplancton, fue validado mediante su aplicación a los datos de embalses del Ebro de 2008, observándose coeficientes de regresión lineal significativos con métricas de estado trófico como el *TSI* de Carlson ( $R^2$  ajustada = 0,19;  $p = 0,0005$ ) o el *TLI* de Burns ( $R^2$  ajustada = 0,24;  $p = 0,00007$ ).

### 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	4	3	2	1

## 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 a 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	4	3	2	1

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

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

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

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

#### 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 Tipos 1, 2 y 3	> 0,908	0,907 – 0,607	0,606 – 0,303	< 0,303
Rango Tipos 7, 8, 9, 10 y 11	> 0,715	0,714 – 0,48	0,47 – 0,24	< 0,24
Rango Tipo 12	> 0,686	0,685 – 0,457	0,456 – 0,229	< 0,229
Rango Tipo 13	> 0,931	0,930 – 0,621	0,620 – 0,31	< 0,31
Valoración de cada clase	4	3	2	1

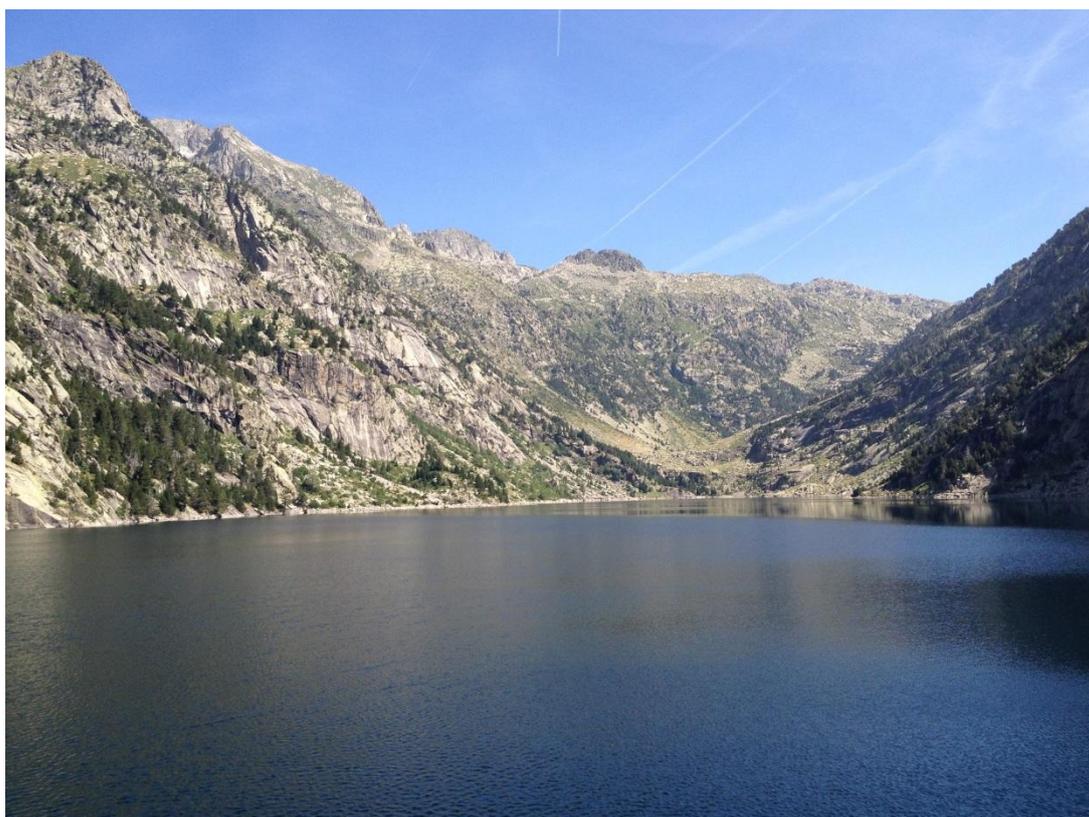
## 6.2.2. El Indicador Físicoquímico: elementos de calidad

### 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 OCDE, 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	Bueno o superior	Moderado	Deficiente	Malo
Disco de Secchi (DS, m)	> 3	1,5-3	0,7-1,5	<0,7
Valoración de cada clase	4	3	2	1



*Embalse de Cavallers, con el máximo valor de disco de Secchi en 2015 (18 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 empleadas por otros autores para la clasificación de las condiciones de oxigenación en lagos de agua dulce en el ámbito europeo (Premazzi y Chiaduani, 1992). Además, atiende 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	Bueno o superior	Moderado	Deficiente	Malo
Concentración hipolimnética (mg/L O <sub>2</sub> )	> 6	6-4	4-2	<2
Valoración de cada clase	4	3	2	1



*Embalse de Mequinenza, con la mínima concentración de oxígeno hipolimnético en 2015 (0,36 mg O<sub>2</sub>/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).

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

Clase de potencial ecológico	Bueno o superior	Moderado	Deficiente	Malo
Concentración de PT ( $\mu\text{g P/L}$ )	< 10	10-35	35-100	>100
Valoración de cada clase	4	3	2	1



*Embalse de Flix, donde se obtuvo la máxima concentración de P total en 2015 (40,43  $\mu\text{g P/L}$ )*

### **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 2014), en el cual ya se justificaba la no utilización de la metodología basada en los potenciales ecológicos máximos (*IPE<sub>ref</sub>* o *IPE<sub>emp</sub>*). Como ya aparece en los informes de potencial ecológico de embalses de 2006, 2007 y 2008 (CHE 2007 a 2014), la utilización de los *IPE<sub>emp</sub>* (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.

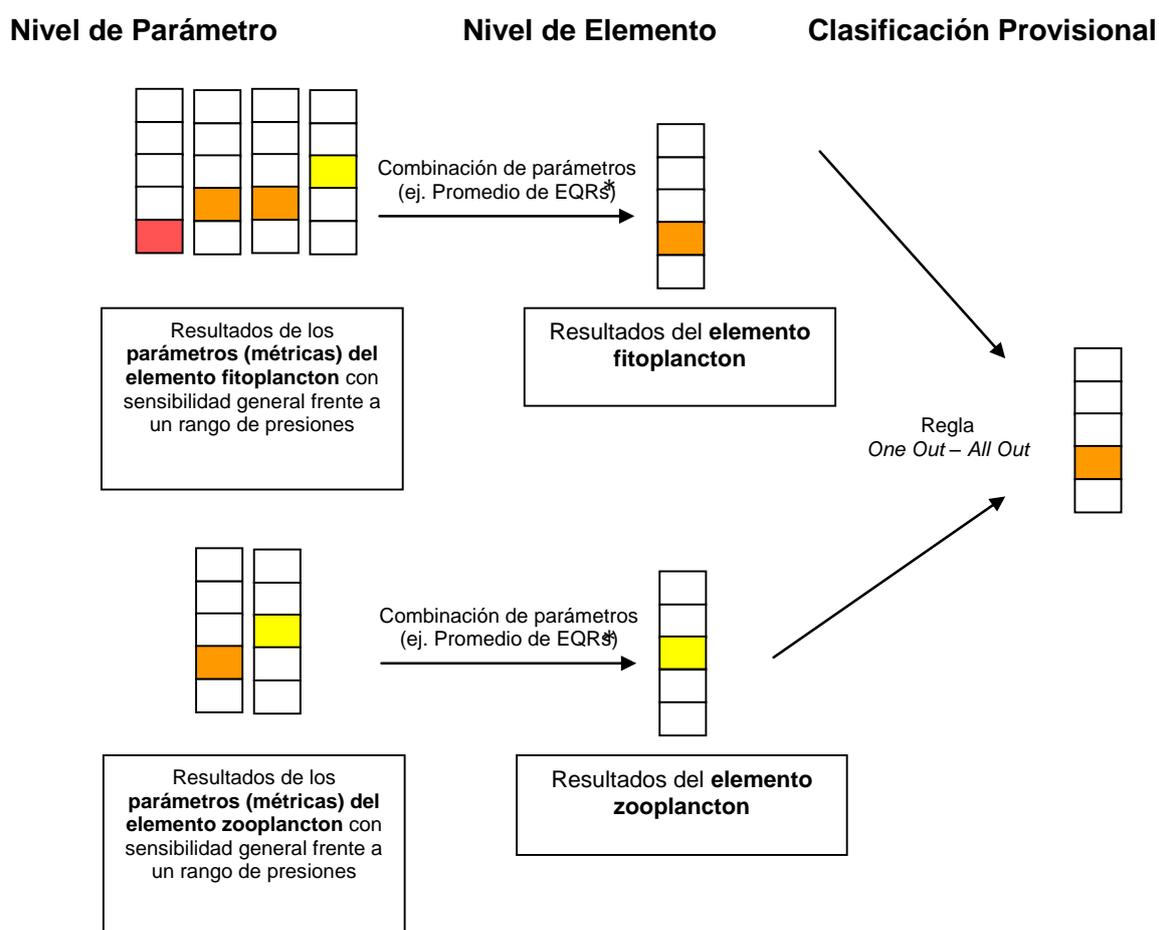
En esencia, se han seguido las siguientes fases para definir el potencial ecológico:

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 2015, 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 1 (malo) al 4 (bueno o superior) para cada indicador.
2. El valor de cada elemento se obtiene directamente a partir de un solo parámetro, en el caso de los parámetros 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 84).
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 84.** 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 <sup>3</sup> /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
Físico-Químico	Transparencia	Profundidad Disco de Secchi (m)	> 3	1,5 – 3	0,7 – 1,5	<0,7
	Condiciones de oxigenación	Concentración hipolimnética O <sub>2</sub> (mg/L O <sub>2</sub> )	> 6	6 – 4	4 – 2	<2
	Concentración de nutrientes	Concentración de PT: media anual (µg P/L)	0 – 10	10 – 35	35 – 100	>100
Valoración del parámetro			4	3	2	1

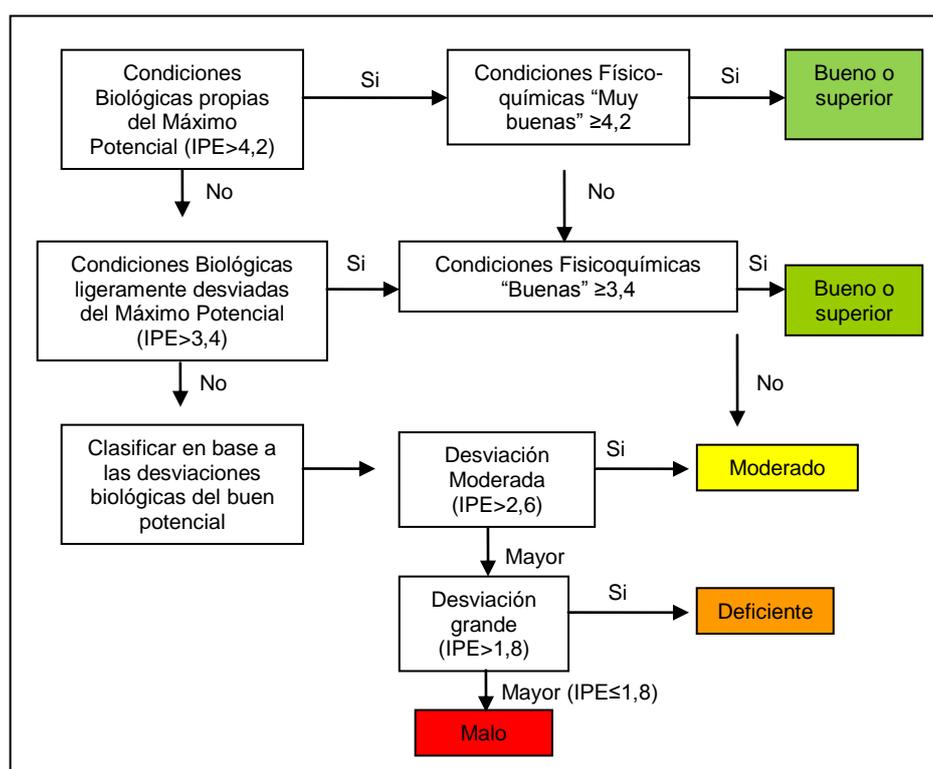
**Tabla 36.** Ejemplo teórico de aplicación de la metodología.

Indicador	Elementos	Parámetros	Valor Observado	Valor Parámetro	Valor Elemento	Valor del Indicador	PE
Biológico	FITOPLANCTON	Densidad algal (cel/ml)	945	4	<b>3,42 (media)</b>	3,40 (mínimo)	<b>3 (Moderado)</b>
		Biomasa algal, Clorofila a (µg/L)	9,3	2			
		Biovolumen algal (mm <sup>3</sup> /L)	0,66	3			
		<i>Phytoplankton Assemblage Index (Q)</i>	1,8	2			
		<i>Phytoplankton Trophic Index (PTI)</i>	3,5	4			
		<i>Trophic Index (TI)</i>	2,51	4			
	<i>Phytoplankton Reservoir Trophic Index (PRTI)</i>	8,0	3				
ZOOPLANCTON	<i>Zooplankton Reservoir Trophic Index (ZRTI)</i>	8,0	3	<b>3,40 (media)</b>			
Físico-Químico	Transparencia	Disco de Secchi	3,4	4	<b>4</b>	3 (mínimo)	
	Condiciones de oxigenación	Concentración hipolimnética O <sub>2</sub>	4,2	3	<b>3</b>		
	Concentración de nutrientes	Concentración de P	23	3	<b>3</b>		

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 bajo de los obtenidos para los indicadores biológicos, modificado después de aplicar los criterios de condiciones fisicoquímicas. El *IPE* será un número del 1 al 4, siendo 1 la clase peor y 4 la mejor.

En este esquema conceptual (figura 85), 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 máximo, las condiciones fisicoquímicas entran en juego, pudiendo bajar la clasificación del potencial a los niveles inferiores bueno o moderado, a la vista del resultado obtenido para el indicador fisicoquímico.



**Figura 85.** 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.

<b>Indicador Biológico</b>	<b>Indicador Fisicoquímico</b>	<b>Potencial Ecológico Experimental</b>
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 B<sup>+</sup>/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	4	3	2	1

**Tabla 39.** Valores de referencia propios del tipo ( $VR_t$ ) y límites de cambio de clase de potencial ecológico (B<sup>+</sup>/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 <sup>+</sup> /M (RCE)	M/D (RCE)	D/M (RCE)
Tipo 1	Fitoplancton	Biomasa	Clorofila a mg/m <sup>3</sup>	2,00	0,211	0,14	0,07
			Biovolumen mm <sup>3</sup> /L	0,36	0,189	0,126	0,063
		Composición	Índice de Catalán (IGA)	0,10	0,974	0,649	0,325
			Porcentaje de cianobacterias	0,00	0,908	0,607	0,303
Tipo 7	Fitoplancton	Biomasa	Clorofila a mg/m <sup>3</sup>	2,60	0,433	0,287	0,143
			Biovolumen mm <sup>3</sup> /L	0,76	0,362	0,24	0,12
		Composición	Índice de Catalán (IGA)	0,61	0,982	0,655	0,327
			Porcentaje de cianobacterias	0,00	0,715	0,48	0,24
Tipo 9	Fitoplancton	Biomasa	Clorofila a mg/m <sup>3</sup>	2,60	0,433	0,287	0,143
			Biovolumen mm <sup>3</sup> /L	0,76	0,362	0,24	0,12
		Composición	Índice de Catalán (IGA)	0,61	0,982	0,655	0,327
			Porcentaje de cianobacterias	0,00	0,715	0,48	0,24
Tipo 10	Fitoplancton	Biomasa	Clorofila a mg/m <sup>3</sup>	2,60	0,433	0,287	0,143
			Biovolumen mm <sup>3</sup> /L	0,76	0,362	0,24	0,12
		Composición	Índice de Catalán (IGA)	0,61	0,982	0,655	0,327
			Porcentaje de cianobacterias	0,00	0,715	0,48	0,24
Tipo 11	Fitoplancton	Biomasa	Clorofila a mg/m <sup>3</sup>	2,60	0,433	0,287	0,143
			Biovolumen mm <sup>3</sup> /L	0,76	0,362	0,24	0,12
		Composición	Índice de Catalán (IGA)	0,61	0,982	0,655	0,327
			Porcentaje de cianobacterias	0,00	0,715	0,48	0,24
Tipo 12	Fitoplancton	Biomasa	Clorofila a mg/m <sup>3</sup>	2,40	0,195	0,13	0,065
			Biovolumen mm <sup>3</sup> /L	0,63	0,175	0,117	0,058
		Composición	Índice de Catalán (IGA)	1,50	0,929	0,619	0,31
			Porcentaje de cianobacterias	0,10	0,686	0,457	0,229
Tipo 13	Fitoplancton	Biomasa	Clorofila a mg/m <sup>3</sup>	2,10	0,304	0,203	0,101
			Biovolumen mm <sup>3</sup> /L	0,43	0,261	0,174	0,087
		Composición	Índice de Catalán (IGA)	1,10	0,979	0,653	0,326
			Porcentaje de cianobacterias	0,00	0,931	0,621	0,31

## 6.4. Potencial Ecológico: Resultados

### 6.4.1 Indicadores Biológicos y Físicoquímicos

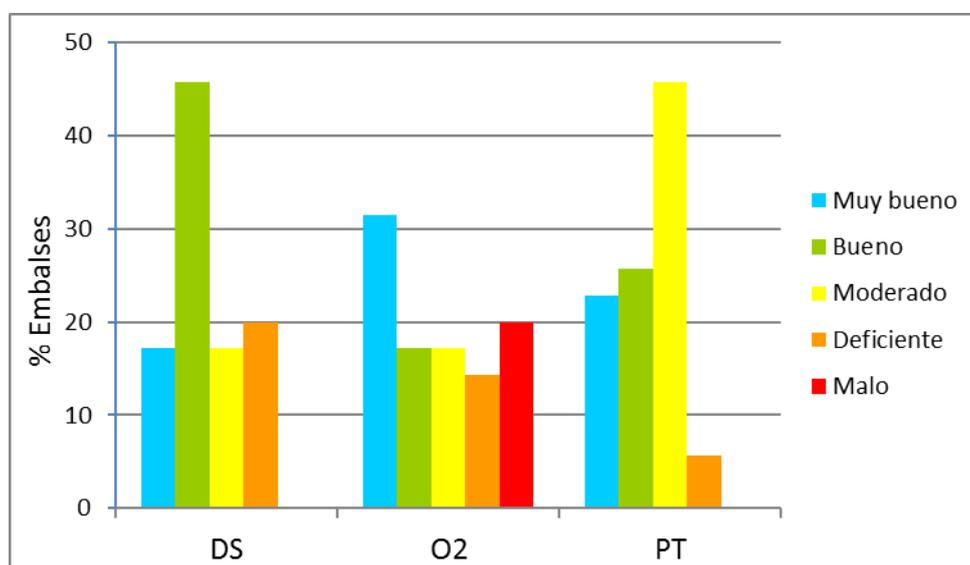
La selección de métricas o parámetros biológicos a utilizar en el cálculo final del potencial ecológico se basó en los estudios previos a éste, eliminando así las métricas no correlacionadas significativamente con un índice de estado trófico, el *TSI* de Carlson. La correlación del *TLI* de Burns *et 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) Físicoquímicos

Los resultados obtenidos para cada una de las métricas o parámetros físicoquímicos se pueden observar en la figura 82.

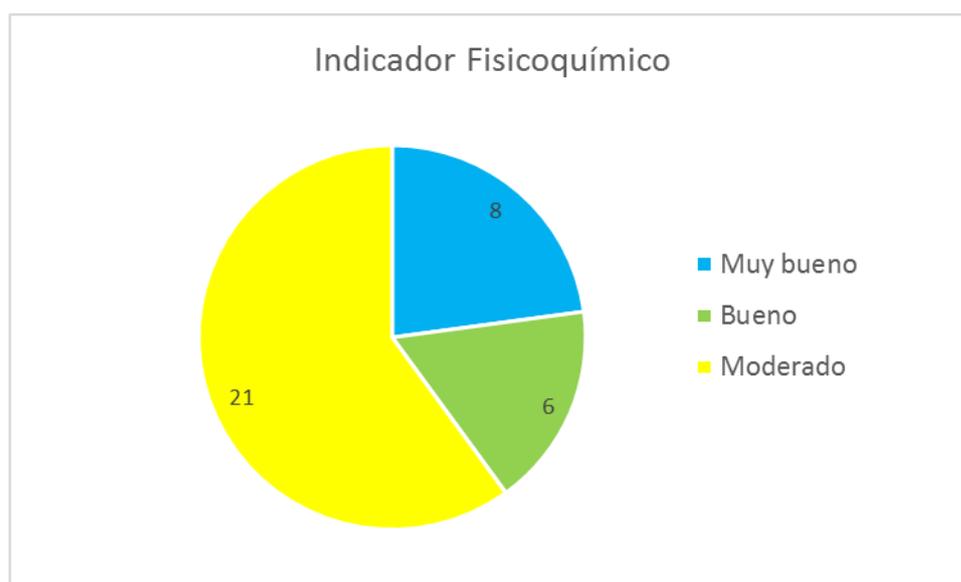


**Figura 86.** Evaluación de la calidad en embalses mediante los parámetros físico-químicos.

Solo en un parámetro, concentración de oxígeno, encontramos las cinco clases de calidad representadas, ya que el resto no clasifica ningún embalse con mala calidad. Este parámetro clasifica el mayor número de embalses con máxima calidad, 11, aunque también clasifica 8

embalses en mal estado, 6 como buenos y 5 en cada clase deficiente y moderado. Mientras que la concentración de fósforo total clasifica la mayoría de embalses como moderados, un 45 %, y solo 2 embalses como deficiente, la transparencia medida mediante el DS clasifica al 45 % de los embalses en estado bueno, 16 embalses, y 7 en estado deficiente.

Finalmente, como resultado de la combinación de parámetros, se estimó el valor global del elemento fisicoquímico según la metodología planteada (figura 87).



**Figura 87.** 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 2015).

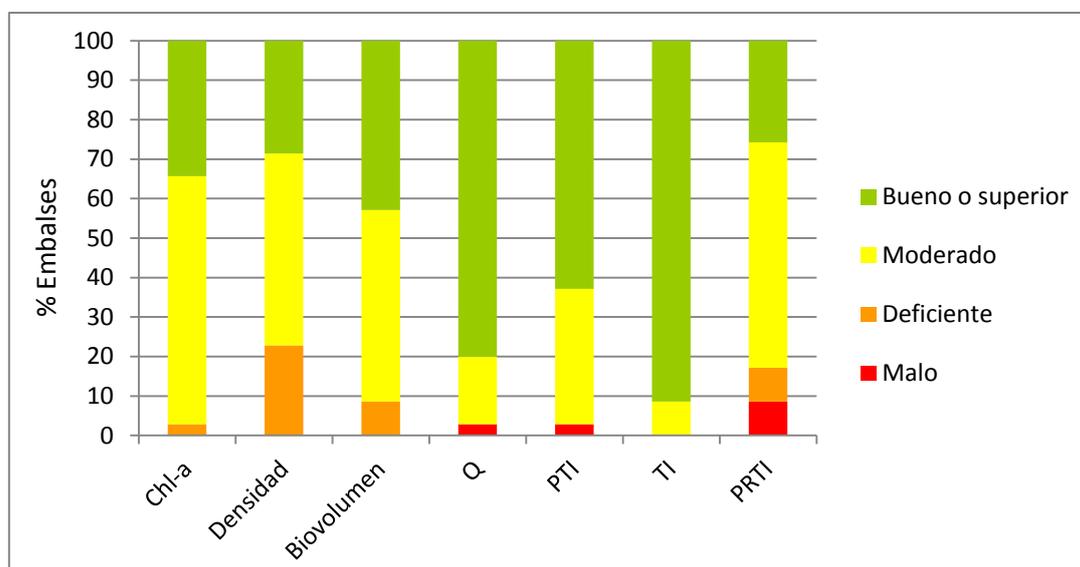
En la tabla 40 se recoge, para cada embalse, la calidad otorgada por cada variable fisicoquímica y su combinación final que muestra el indicador fisicoquímico de cada embalse.

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

EMBALSE	CÓDIGO	DISCO DE SECCHI	OXÍGENO	P TOT	IND_FQ
Ebro	EB 1	Bueno	Moderado	Moderado	Moderado
Irabia	EB 4	Bueno	Malo	Muy bueno	Moderado
Albiña	EB 5	Moderado	Deficiente	Bueno	Moderado
Lanuzá	EB 19	Muy bueno	Bueno	Bueno	Muy bueno
Sobrón	EB 22	Moderado	Malo	Moderado	Moderado
Búbal	EB 25	Muy bueno	Muy bueno	Muy bueno	Muy bueno
Alloz	EB 27	Bueno	Moderado	Bueno	Moderado
Yesa	EB 37	Moderado	Bueno	Bueno	Bueno
La Peña	EB 44	Deficiente	Bueno	Moderado	Moderado
Sopeira	EB 45	Bueno	Muy bueno	Muy bueno	Muy bueno
Oliana	EB 53	Deficiente	Malo	Moderado	Moderado
Terradets	EB 59	Deficiente	Muy bueno	Moderado	Moderado
Sotonera	EB 62	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado
Rialb	EB 63	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado
San Lorenzo	EB 67	Moderado	Muy bueno	Moderado	Bueno
El Val	EB 68	Deficiente	Deficiente	Deficiente	Moderado
Mequinenza	EB 70	Bueno	Malo	Bueno	Moderado
Mezalocha	EB 71	Bueno	Bueno	Moderado	Bueno
Margalef	EB 72	Bueno	Deficiente	Bueno	Moderado
Flix	EB 74	Bueno	Deficiente	Deficiente	Moderado
La Tranquera	EB 76	Bueno	Bueno	Moderado	Bueno
Caspe	EB 78	Bueno	Malo	Bueno	Moderado
Guiamets	EB 79	Bueno	Moderado	Moderado	Moderado
Cueva Foradada	EB 80	Bueno	Malo	Bueno	Moderado
Lechago	EB 87	Muy bueno	Malo	Moderado	Moderado
Urdalur	EB 550	Bueno	Muy bueno	Muy bueno	Muy bueno
Maidevera	EB 823	Deficiente	Malo	Moderado	Moderado
Ribarroja	EB 949	Bueno	Deficiente	Moderado	Moderado
Escarra	EB 951	Bueno	Muy bueno	Muy bueno	Muy bueno
Sallente	EB 952	Muy bueno	Muy bueno	Muy bueno	Muy bueno
Llauset	EB 953	Muy bueno	Muy bueno	Muy bueno	Muy bueno
La Estanca de Alcañiz	EB 1022	Deficiente	Muy bueno	Bueno	Bueno
Cavallers	EB 1043	Muy bueno	Muy bueno	Muy bueno	Muy bueno
Balaguer	EB 1049	Bueno	Muy bueno	Moderado	Bueno
Monteagudo de las Vicarías	EB 1681	Deficiente	Bueno	Moderado	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 88.



**Figura 88.** Evaluación de la calidad mediante los parámetros del fitoplancton.

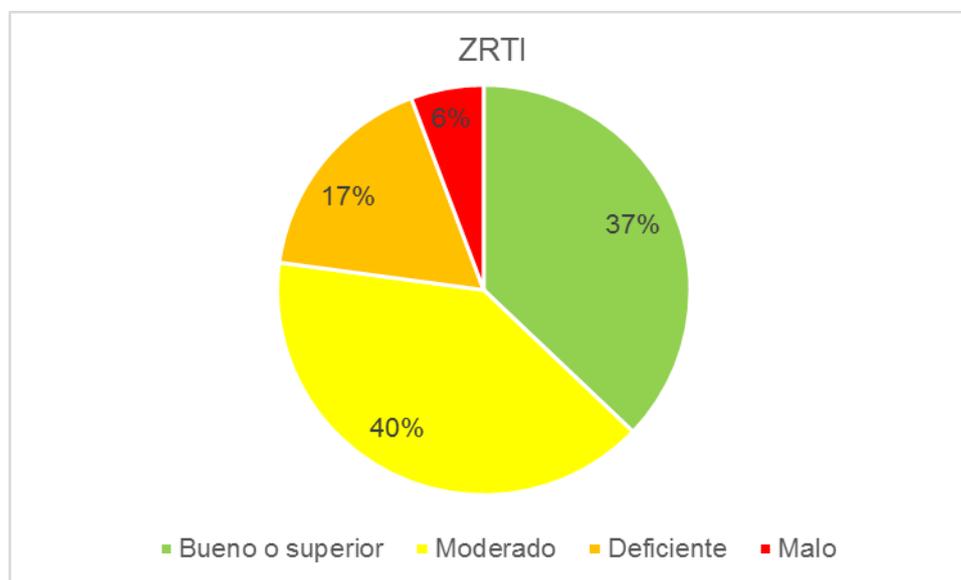
Se puede observar cierta disparidad en los resultados obtenidos mediante las métricas del fitoplancton, aunque en general se observa predominancia de las clases de potencial Moderado y Bueno o superior. Esta generalización no se cumple en el índice Q, que clasifica a la mayoría de embalses como Bueno o superior. Los índices calculados, conceden predominancia a la clase Bueno o superior, excepto el PRTI, mucho más restrictivo. En cambio, en los parámetros aplicados de forma directa, predomina la clase Moderado, es decir, son más restrictivos.

El PRTI, es el único que tiene todas las clases representadas, y es el que mas embalses clasifica en mala calidad, 3. Clasificando casi el 75 % de los embalses en estado moderado o peor.

El Trophic Index (TI) clasifica a los embalses de una manera muy homogénea, ya que predomina la clasificación de embalses en estado Bueno o superior, con solo 2 embalses clasificados en estado Moderado.

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

En cuanto a la variable del zooplancton, el índice de zooplancton ZRTI, aplicado en los estudios de 2009 a 2014, los resultados obtenidos para cada potencial ecológico en porcentajes se pueden observar en la figura 89.

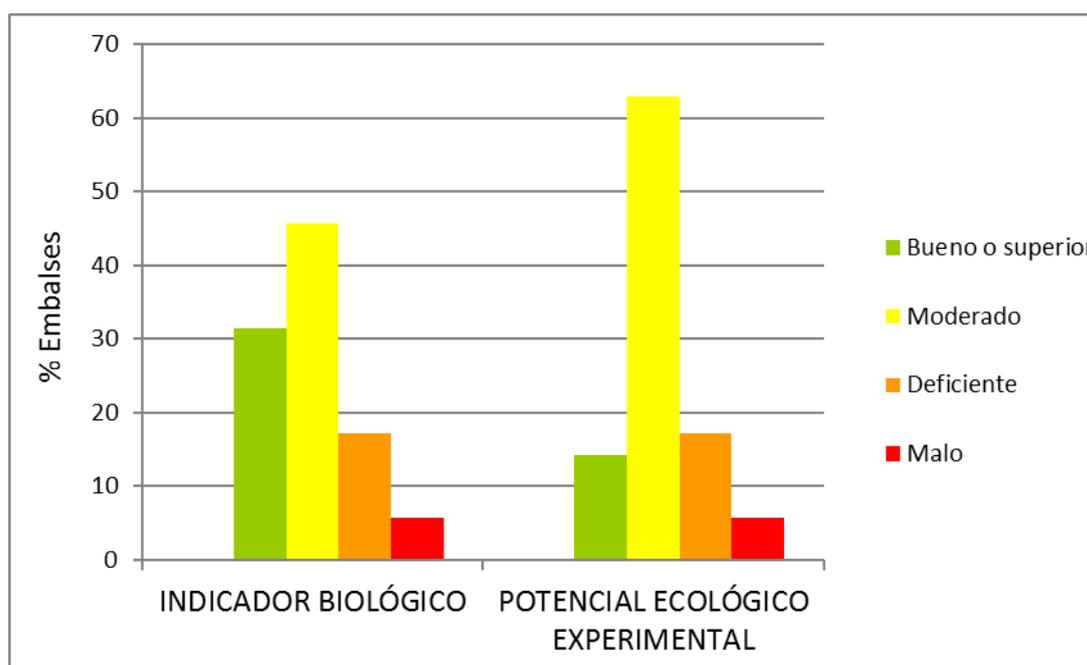


**Figura 89.** Evaluación de calidad mediante el parámetro de zooplancton ZRTI.

El índice de zooplancton ZRTI, casi tan restrictivo como la métrica densidad del fitoplancton, clasifica al 63 % de los embalses con una calidad Moderada o inferior. La mayoría de los embalses, un 40 %, se encuentran como Moderado. El resto de embalses se clasifican prácticamente todos como Bueno o superior, un 37 %. Resultado muy parecido al potencial ecológico resultante de la combinación de todos los parámetros, lo que indica que el zooplancton ha sido el elemento más restrictivo.

Una vez obtenidos los dos tipos de indicadores, y siguiendo la metodología expuesta en la figura 85, se procedió a la estima del índice de potencial ecológico o *IPE*.

La figura 90 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 2015, evaluada en el presente ESTUDIO.



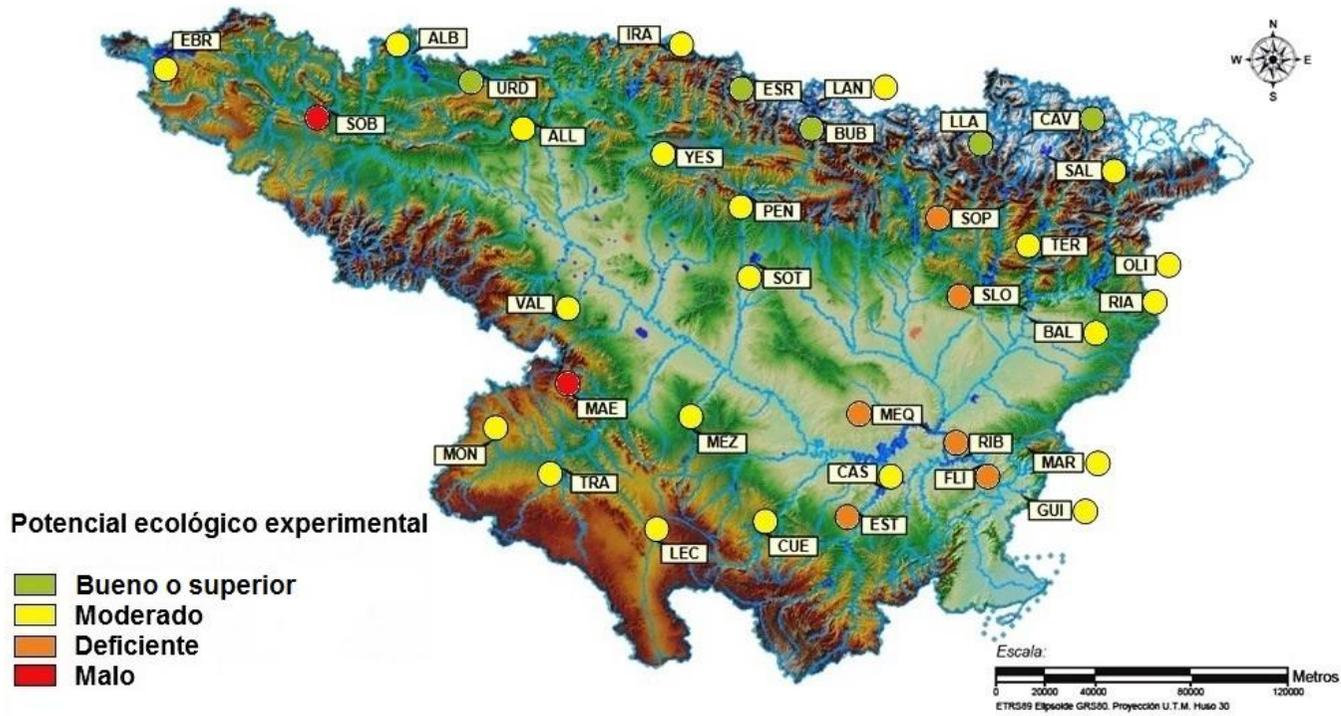
**Figura 90.** Proporción de clases de potencial ecológico evaluadas mediante el indicador biológico y mediante el *IPE*, tras aplicar los umbrales del indicador fisicoquímico, según el esquema de la figura 85.

En seis 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 91 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).

EMBALSE	CODIGO	TIPO	IPE_BIO	PE-BIO	IND_FQ	PEexp
Ebro	EB 1	7	3,7	Bueno o sup	Moderado	Moderado
Irabia	EB 4	7	3,6	Bueno o sup	Moderado	Moderado
Albiña	EB 5	7	3,7	Bueno o sup	Moderado	Moderado
Lanuzá	EB 19	1	3,0	Moderado	Muy bueno	Moderado
Sobrón	EB 22	9	1,0	Malo	Moderado	Malo
Búbál	EB 25	7	4,0	Bueno o sup	Muy bueno	Bueno o sup
Alloz	EB 27	7	3,9	Bueno o sup	Moderado	Moderado
Yesa	EB 37	9	3,0	Moderado	Bueno	Moderado
La Peña	EB 44	9	3,7	Bueno o sup	Moderado	Moderado
Sopeira	EB 45	7	2,0	Deficiente	Muy bueno	Deficiente
Oliana	EB 53	9	3,0	Moderado	Moderado	Moderado
Terradets	EB 59	9	3,9	Bueno o sup	Moderado	Moderado
Sotonera	EB 62	10	3,0	Moderado	Moderado	Moderado
Rialb	EB 63	11	3,0	Moderado	Moderado	Moderado
San Lorenzo	EB 67	11	2,0	Deficiente	Bueno	Deficiente
El Val	EB 68	7	2,9	Moderado	Moderado	Moderado
Mequinzena	EB 70	12	2,0	Deficiente	Moderado	Deficiente
Mezalocha	EB 71	10	3,0	Moderado	Bueno	Moderado
Margalef	EB 72	10	3,6	Moderado	Moderado	Moderado
Flix	EB 74	12	2,0	Deficiente	Moderado	Deficiente
La Tranquera	EB 76	11	3,0	Moderado	Bueno	Moderado
Caspe	EB 78	12	3,0	Moderado	Moderado	Moderado
Guiamets	EB 79	10	3,0	Moderado	Moderado	Moderado
Cueva Foradada	EB 80	10	3,0	Moderado	Moderado	Moderado
Lechago	EB 87	7	3,0	Moderado	Moderado	Moderado
Urdalur	EB 550	7	4,0	Bueno o sup	Muy bueno	Bueno o sup
Maidevera	EB 823	7	1,0	Malo	Moderado	Malo
Ribarroja	EB 949	12	2,0	Deficiente	Moderado	Deficiente
Escarra	EB 951	7	4,0	Bueno o sup	Muy bueno	Bueno o sup
Sallente	EB 952	13	3,0	Moderado	Muy bueno	Moderado
Llauset	EB 953	13	4,0	Bueno o sup	Muy bueno	Bueno o sup
La Estanca de Alcañiz	EB 1022	10	2,0	Deficiente	Bueno	Deficiente
Cavallers	EB 1043	13	4,1	Bueno o sup	Muy bueno	Bueno o sup
Balaguer	EB 1049	11	3,4	Moderado	Bueno	Moderado
Monteagudo de las Vicarías	EB 1681	7	3,0	Moderado	Moderado	Moderado



*Escarra (bueno)*



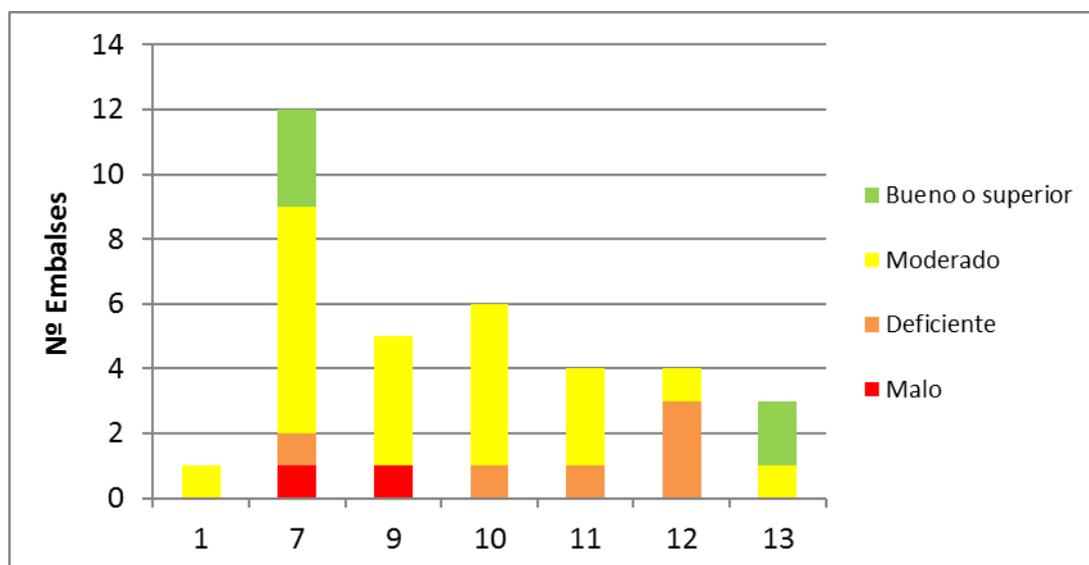
*La Estanca de Alcañiz (deficiente)*



*Sobrón (malo)*

**Figura 91.** Mapa de clasificación del Potencial Ecológico (*PEExp*) de los embalses en 2015.

Para concluir se analizan las tendencias de potencial ecológico por tipos de embalse. Se obtuvieron los siguientes resultados, representados gráficamente en la figura 92.



**Figura 92.** Clasificación del potencial ecológico de los embalses según el *PEexp* por tipos de embalse.

Solo en los tipos 7 y 13 se encuentran embalses en estado Bueno o superior.

Los embalses de Tipo 7, calcáreos, en zonas húmedas y frías de cabecera, presentaron mayoritariamente un potencial Moderado, en siete de los embalses, seguido de Bueno o superior con tres embalses y con un embalse en las clases Deficiente y Malo.

En los cinco embalses del Tipo 9, calcáreo de zonas húmedas, pertenecientes a ríos de la red principal, ninguno alcanza el potencial ecológico Bueno o superior, cuatro se clasifican como Moderados, y uno como Malo.

El Tipo 10, calcáreo de zonas no húmedas, pertenecientes a ríos de cabecera y tramos altos, clasifica todos los embalses como Moderados, excepto un embalse que se clasifica como Deficiente.

En el Tipo 11, calcáreo de zonas no húmedas, pertenecientes a ríos de la red principal, clasifica tres embalses como Moderados y un embalse como Deficiente.

En el Tipo 12, los embalses se clasifican mayoritariamente como Deficientes, solo un embalse se clasifica como Moderado. Es el tipo con los embalses en peor estado.

En cuanto a los cuatro embalses de los Tipos 1 y 13, el embalse del tipo 1 y dos de los embalses del tipo 13 se han clasificado en estado ecológico Bueno o superior y uno con potencial ecológico Moderado, pese a ser un embalse de alta montaña.

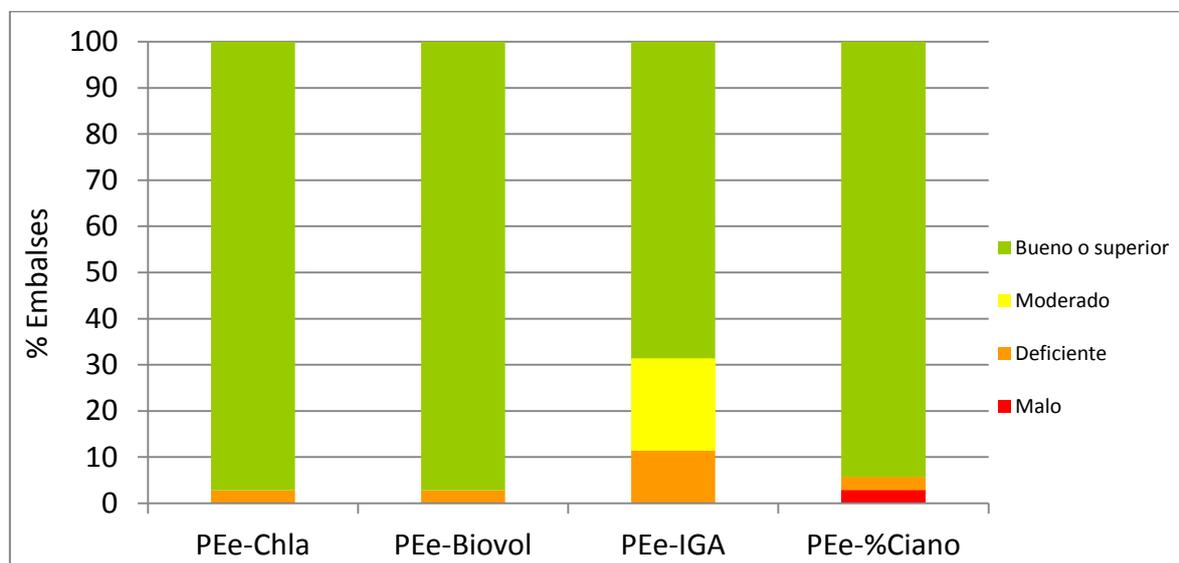
### 6.4.3 Potencial Ecológico final (aproximación normativa)

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<sub>norm</sub>*.

EMBALSE	CODIGO	PE-Chla	PE-Biovol	PE-IGA	PE-%Ciano	PE_BIO	IND_FQ	PE <sub>norm</sub>
Ebro	EB 1	Bueno o sup.	Bueno o sup.	Moderado	Bueno o sup.	Bueno o sup.	Moderado	Moderado
Irabia	EB 4	Bueno o sup.	Moderado	Moderado				
Albiña	EB 5	Bueno o sup.	Moderado	Moderado				
Lanuzá	EB 19	Bueno o sup.	Bueno	Bueno o sup.				
Sobrón	EB 22	Bueno o sup.	Moderado	Moderado				
Búbal	EB 25	Bueno o sup.	Muy bueno	Bueno o sup.				
Alloz	EB 27	Bueno o sup.	Moderado	Moderado				
Yesa	EB 37	Bueno o sup.	Moderado	Moderado				
La Peña	EB 44	Bueno o sup.	Moderado	Moderado				
Sopeira	EB 45	Bueno o sup.	Bueno	Bueno o sup.				
Oliana	EB 53	Bueno o sup.	Bueno o sup.	Moderado	Bueno o sup.	Bueno o sup.	Moderado	Moderado
Terradets	EB 59	Bueno o sup.	Bueno o sup.	Moderado	Bueno o sup.	Bueno o sup.	Moderado	Moderado
Sotonera	EB 62	Bueno o sup.	Moderado	Moderado				
Rialb	EB 63	Bueno o sup.	Moderado	Moderado				
San Lorenzo	EB 67	Bueno o sup.	Moderado	Moderado				
El Val	EB 68	Deficiente	Bueno o sup.	Bueno o sup.	Bueno o sup.	Moderado	Moderado	Moderado
Mequinzenza	EB 70	Bueno o sup.	Moderado	Moderado				
Mezalocha	EB 71	Bueno o sup.	Moderado	Moderado				
Margalef	EB 72	Bueno o sup.	Moderado	Moderado				
Flix	EB 74	Bueno o sup.	Moderado	Moderado				
La Tranquera	EB 76	Bueno o sup.	Bueno o sup.	Moderado	Bueno o sup.	Bueno o sup.	Moderado	Moderado
Caspe	EB 78	Bueno o sup.	Moderado	Moderado				
Guiamets	EB 79	Bueno o sup.	Deficiente	Deficiente	Malo	Deficiente	Moderado	Deficiente
Cueva Foradada	EB 80	Bueno o sup.	Bueno o sup.	Moderado	Deficiente	Bueno o sup.	Moderado	Moderado
Lechago	EB 87	Bueno o sup.	Bueno o sup.	Deficiente	Bueno o sup.	Bueno o sup.	Moderado	Moderado
Urdalur	EB 550	Bueno o sup.	Bueno	Bueno o sup.				
Maidevera	EB 823	Bueno o sup.	Moderado	Moderado				
Ribarroja	EB 949	Bueno o sup.	Moderado	Moderado				
Escarra	EB 1051	Bueno o sup.	Bueno	Bueno o sup.				
Sallente	EB 1052	Bueno o sup.	Muy bueno	Bueno o sup.				
Llauset	EB 1053	Bueno o sup.	Muy bueno	Bueno o sup.				
La Estanca de Alcañiz	EB 1022	Bueno o sup.	Bueno o sup.	Deficiente	Bueno o sup.	Bueno o sup.	Moderado	Moderado
Cavallers	EB 1043	Bueno o sup.	Muy bueno	Bueno o sup.				
Balaguer	EB 1049	Bueno o sup.	Bueno o sup.	Moderado	Bueno o sup.	Bueno o sup.	Moderado	Moderado
Monteagudo de las Vicarías	EB 1681	Bueno o sup.	Moderado	Moderado				

En el siguiente gráfico (figura 93) se resumen los resultados ofrecidos por cada una de las métricas utilizadas en el cálculo del potencial ecológico según esta aproximación normativa.



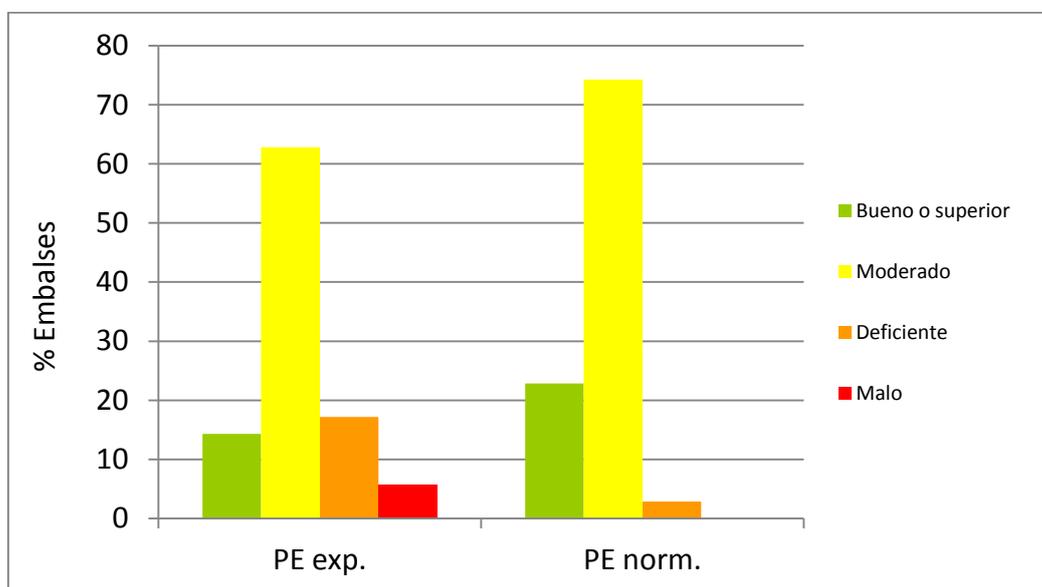
**Figura 93.** Clasificación del potencial ecológico según los parámetros de la aproximación normativa.

Las variables biovolumen y concentración de clorofila *a*, son las menos restrictivas, con todos los embalses clasificados como buenos o de máximo potencial excepto uno que clasifican como deficiente. El porcentaje de cianobacterias da unos resultados muy similares, aunque clasifica además un embalse en mal estado. El IGA es más restrictivo y clasifica un 28,5 % de los embalses con un potencial inferior a bueno. Solo el porcentaje de cianobacterias clasifica un embalse como malo.

Estos resultados se deben a la modificación del procedimiento para la transformación del RCE a una escala numérica equivalente para los cuatro indicadores. Estos planteamientos condicionan al alza la clasificación *normativa* del potencial ecológico y en nuestra opinión, el potencial ecológico calculado según la “aproximación normativa” podría estar sobreestimado en muchos casos (CHE 2009).

Asimismo, en la siguiente figura (figura 94) se muestran los resultados finales de potencial ecológico *PE<sub>norm</sub>* 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<sub>exp</sub>* (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. Aunque la proporción de embalses clasificados como moderados es mucho mayor al resto y muy similar para las dos metodologías, la aproximación experimental clasifica muchos más embalses como deficientes y malos.

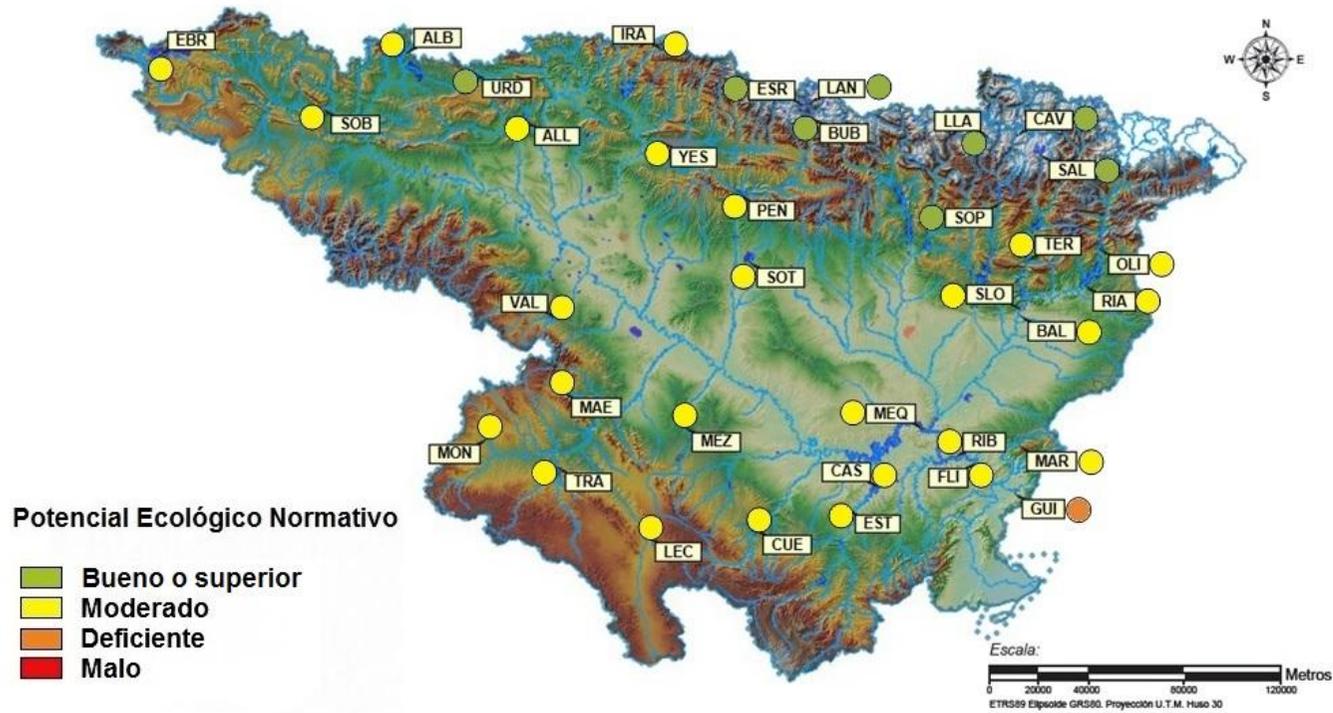


**Figura 94.** Clasificación del potencial ecológico final según la aproximación normativa *PE<sub>norm</sub>* y la aproximación experimental, *PE<sub>exp</sub>*. (Para ver las metodologías de cálculo, ir a la sección 6.3 a y b).

La figura 95 muestra el mapa de potencial ecológico de los embalses muestreados en 2015 clasificados conforme al Real Decreto 817/2015, esto es, según la aproximación normativa o *PE<sub>norm</sub>*. y la figura 96 muestra el mapa que refleja para los embalses muestreados el Estado Trófico y los Potenciales Ecológicos calculados (*PE<sub>exp</sub>* y *PE<sub>norm</sub>*) 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.

No existe ninguna diferencia entre el *PE<sub>norm</sub>*. y el Estado Trófico que supere un salto de clase. Mientras que con el *PE<sub>exp</sub>*. se dan diferencias de dos clases por debajo respecto al Estado Trófico en seis embalses: Sallente, Sopeira, Lanuza, Sobrón, Mequinenza y Flix. Solo en dos de estos embalses esta diferencia también se da con el *PE<sub>norm</sub>*., en los embalses de Sobrón y Sopeira. En el embalse de Maidevera la diferencia de dos clases de estado solo se da entre el *PE<sub>exp</sub>*. y el normativo.



Lanuza (máximo)



La Tranquera (bueno)



Guiamets (moderado)

Figura 95. Mapa de clasificación del Potencial Ecológico ( $PE_{norm}$ ) de los embalses en 2015.



Figura 96. Mapa de clasificación del Estado Trófico y del Potencial Ecológico (*PEexp* y *PEnorm*) de los embalses en 2015.

## 6. RESUMEN – CONCLUSIONES

### Clasificación

➤ Los 35 embalses se han clasificado en 7 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	Tipo 1
12	6	5	4	4	3	1
34,3 %	17,1 %	14,3 %	11,4 %	11,4 %	8,6 %	2,9 %

Las categorías que agrupan a un mayor número de embalses son la 7, la 10 y la 9.

### Características hidromorfológicas

➤ Las masas de agua son de capacidad variable, con volúmenes inferiores a 10 Hm<sup>3</sup> en un 34,3 % de los casos (figura 4). El mismo porcentaje de embalses presentan volúmenes bajos, entre 10 y 30 Hm<sup>3</sup>, un 8,6 % presentan volúmenes intermedios, entre 30 y 70 Hm<sup>3</sup>; un 5,71 % presentan capacidades algo mayores entre 70 y 150 Hm<sup>3</sup>, un 8,57 % tiene un aforo entre 150 y 300 Hm<sup>3</sup> y finalmente, un 11,4 % tienen capacidad de embalsar entre 300 y 1600 Hm<sup>3</sup>, siendo el mayor de toda la cuenca el embalse de Mequinzenza, con 1534 hm<sup>3</sup> de capacidad máxima.

➤ Las masas de agua son de superficie muy variable, con un rango que oscila entre las 13 ha del embalse de Sopeira, hasta las 6478 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 no superan las 500 ha (77 % de los embalses).

➤ Las masas de agua son de profundidad muy variable, con un rango de 9,5 a 80 m, valores registrados para los embalses de Terradets y La Estanca de Alcañiz con 9,5 m y Sallente con 80 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 50 m.

➤ Los embalses estudiados durante 2015 reciben aportaciones desde cuencas vertientes con extensiones muy variables. El rango de áreas de cuenca va desde los 10 km<sup>2</sup> del embalse de Albiña y La Estanca de Alcañiz, hasta los 81.045 km<sup>2</sup> 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 solo dos embalses con más de 10.000 km<sup>2</sup>. Alrededor de un 49 % tienen cuencas de más de 1.000 km<sup>2</sup>, siendo ésta, por tanto, la clase predominante. Un 23 % de los embalses estudiados tienen un tamaño de cuenca entre los 100 y los 1.000 km<sup>2</sup>, mismo porcentaje que hay para los embalses con un tamaño de cuenca inferior a los 100 km<sup>2</sup>.

➤ El **tiempo de renovación** ha presentado los valores más bajos en embalses pequeños de cursos fluviales importantes, siendo los mínimos, inferiores a un mes, en Flix, Balaguer, San Lorenzo, Sopeira, Terradets y La Peña. 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 Oliana, Ribarroja y Lanuza, donde el TRH es inferior a un día. Los valores más elevados, por el contrario, se dan en embalses de cursos reducidos y escasa capacidad, como es el caso de Monteagudo de las Vicarías (37,98 meses) y Guiamets (máximo absoluto con 730,67 meses).

➤ El **hidroperiodo** es muy variable para 9 embalses, con un hidroperiodo superior a 0,6. Destacar el embalse de Irabia con un hidroperiodo de variación máxima. Seis embalses son cero porque no hay datos de la renovación de sus aguas. Destacar la estabilidad de Ribarroja, San Lorenzo 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, seguidos del tipo 1, frente al tipo 9 que presenta los valores más bajos, cabe destacar la transparencia de los embalses del tipo 12 (figura 22). El máximo absoluto correspondió a Cavallers (tipo 13), con 18 m. El mínimo absoluto de transparencia (0,8 m) correspondió al embalse de Terradets, del tipo 9.

➤ 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 uno al tipo 12, y la mínima es el tipo 1 y 13, embalses de alta montaña. La diferencia entre la temperatura mínima del tipo 1 (15,7 °C) y la máxima del tipo 12 (26,08 °C), es de más de 10 grados. Destacar la temperatura mínima absoluta del tipo 7 en el embalse de Sopeira, 11,6 °C. La relación directa y negativa de la temperatura media en la ZF con la altitud del embalse se puede apreciar en la figura 24.

- Respecto al **pH** en la ZF, resaltan los valores de pH más bajos en el tipo 13 y tipo 1 (figura 26). El resto de los tipos tienen medias muy similares, los promedios más elevados son los del tipo 9, 10 y 1. El valor puntual más alto se ha observado en el embalse de Búbal (tipo 7) en superficie, con un valor de 8,91.
- Respecto a **la conductividad** media en la ZF, los valores más elevados se dan en el tipo 12 con 984  $\mu\text{S}/\text{cm}$  de media. Pero destaca el dato extremo en el tipo 7, de 1372  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en el embalse de Lechago. Mientras que el valor más bajo se da en el tipo 13, en ríos de alta montaña, con 38  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .
- Las tendencias observadas en relación a la **alcalinidad** en la ZF, el tipo 13 muestra el valor más bajo de alcalinidad, con 0,5 meq/L. Los embalses de tipo 10 (calcáreo / no húmedo / en cabecera) y 12 (calcáreo / no húmedo / zonas bajas) muestran las alcalinidades más elevadas con valores de 3,1 meq/L. Puntualmente, los valores más elevados se han registrado en las muestras integradas de Lechago y El Val (ambos del tipo 7) con 3,88 y 3,52 meq/L respectivamente. El valor más alto de todo el ESTUDIO se ha encontrado en el fondo de embalse de Sobrón con 4,2 meq/L.
- La **turbidez** fue baja en casi todos los tipos de embalses (figura 31), aunque si se aprecia un valor bastante más bajo en los tipos 13, con una media de 0,3 UAF. El valor más alto es el del tipo 9 con 7,2 UAF. El valor promedio para todos los embalses se encuentra en 3,68 UAF. El valor más bajo en la muestra integrada corresponde a Cavallers con 0,12 UAF, tipo 13, mientras que el valor máximo de todos los embalses es para el embalse de Terradets con 15,16 UAF, tipo 9, seguido de La Peña, también del tipo 9, con 9,33 UAF. Los embalses de Terradets y La Peña, son cuerpos de agua someros y sujetos a una fuerte corriente de agua, además La Peña está sometido a fuertes vientos predominantes que hacen resuspender los sedimentos. La turbidez presenta una correlación significativa negativa con el disco de Secchi, tal que los embalses con mayor turbidez han presentado menores valores de disco de Secchi.
- En general, los embalses estudiados presentan una **oxigenación** deficiente, siendo el valor más bajo para el tipo 12 (figura 34). Se destaca la baja oxigenación (valor inferior a 5 mg  $\text{O}_2/\text{L}$ ) en el promedio de la columna de agua en los embalses de Flix y Ribarroja del tipo 12. Los máximos de oxígeno se alcanzan normalmente a profundidades comprendidas entre los 2 y los 8 metros. El máximo de oxígeno puntual se encuentra en Guiamets (tipo 10) y se sitúa a unos 8,5 m de profundidad, con un valor de 19,2 mg/L. Los tipos 7, 9, 10 y 12 presentan algún embalse con zona anóxica, siendo un total de 14 embalses con zona anóxica. Las más importantes por su espesor son las de Mequinenza con 33 m, Caspe con 22 m, Maidevera con

16 m, y Sobrón con 12 m. En otros 21 embalses no existe zona anóxica.

➤ La calidad de las masas de agua según la oxigenación es óptima en un 31,4 % de los embalses, como se refleja en la figura 33, la clase más abundante. Las masas de agua con niveles bajos de oxigenación (nivel de calidad deficiente o mala, un 37 %) 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 por el valor extremo del embalse del tipo 10, Mezalocha. Los valores mínimos de N Total se dan en los tipos de montaña (tipo 1 y 13). 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. En cuanto al amonio, los valores han sido inferiores a 0,07 mg N-NH<sub>4</sub>/L en todos los casos, excepto en 2, el embalse de Lechago en el tipo 7 y el embalse de Cueva Foradada del tipo 10. Los promedios más altos son los de los tipos 12 y 10, este último debido a los valores elevados de los embalses de Cueva Foradada y Mezalocha. El más bajo ha correspondido al tipo 13.

➤ En cuanto a la fracción porcentual del **N orgánico**, este domina en 4 embalses, Escarra (tipo 7), Guiamets y Margalef (tipo 10) y Rialb (tipo 11).

➤ En relación al **P total** en la ZF, el tipo 12 muestra los valores más elevados, debido a los valores de Flix y Ribarroja, con 40 (máximo del ESTUDIO) y 31 µg P/L respectivamente. Otros tres embalses más muestran concentraciones superiores a los 25 µg P/L, El Val y La Peña; con 39,8 y 27,6 µg P/L respectivamente. El valor mínimo se da, como en el caso del N total, en el tipo 13, de alta montaña. Los dos embalses con menor concentración han sido del tipo 13, Llauset y Sallente, ambos por debajo de los 2 µg P/L.

La fracción de **P soluble** presenta una tendencia muy parecida a la del P total, con la media más alta para el tipo 12, pero en este caso las medias de los otros tipos son mucho más parecidas, estando sus valores entre los 0,97 µg P/L del tipo 9 y los 1,46 µg P/L del tipo 1. Cabe destacar los máximos del embalse de de Flix y Ribarroja (tipo 12), como valores muy superiores al resto, que superan los 6 µg P/L, el caso de Flix es especial ya que llega a los 31,39 µg P/L.

➤ Las concentraciones de **silíce** se sitúan generalmente en el rango 2-4 mg SiO<sub>2</sub>/L (figura 52). Por embalses hay que destacar el valor mínimo del Oliana (tipo 9), que no llega a 0,5 mg SiO<sub>2</sub>/L. En los valores máximos son los embalses de Lechago (tipo 7) y La Estanca de Alcañiz (tipo 10) los que presentan concentraciones por encima de 6 mg SiO<sub>2</sub>/L.

### Características biológicas

➤ La **comunidad fitoplanctónica** estudiada (un total de 213 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 Cianobacterias son el taxón más abundante en casi todos los embalses, seguido de las Clorofíceas. En algunos embalses son las Chrisofíceas o las Chriptofíceas las más abundantes.

➤ La **riqueza** media de especies de fitoplancton en los diferentes tipos (figura 53) ha sido mayor al año 2014 para todos los tipos excepto para los tipos 1 y 7 que ha sido menor y para el tipo 13 que se ha mantenido constante. Las medias de los diferentes tipos muestran un claro ascenso de los valores hacia las tipologías de los tramos bajos. El máximo absoluto se registró en el embalse de San Lorenzo, del tipo 11, con 49 especies. Le siguieron La Estanca de Alcañiz con 38 especies y Caspe con 45. Los valores mínimos se han dado en los embalses de Guiamets y Lechago con 13 especies.

➤ La **densidad celular** presenta una tendencia parecida a la riqueza de especies, si exceptuamos los tipos 9 y 12, con valores inferiores para la tendencia esperada, ya que ninguno de sus embalses supera las 11 cél./mL. Destacan los valores de Guiamets y Rialb con más de 50.000 cél./mL. Los promedios más bajos se presentan en el tipo 1 y 13, siendo este último el tipo con unos valores más similares entre embalses. Los valores menores de densidad se han dado en el embalse de Sopeira (tipo 7), con una densidad de 125 cél./mL, seguido del embalse de Sallente (tipo 13) con 310 cél./mL.

➤ El comportamiento del **biovolumen** fue similar al de la variable densidad, aunque debido al máximo atípico del embalse de Guiamets, la media del tipo 10 fué la más elevada. En este caso, el valor más elevado del ESTUDIO lo encontramos en el embalse del tipo 10, Guiamets con 6,8 mm<sup>3</sup>/L. En el lado contrario, los valores menores se han presentado en los embalses de Cavallers (tipo 13) y Sopeira (tipo 7), con valores inferiores a 0,1 mm<sup>3</sup>/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 1, 7, 9 y 10 encontramos una diversidad un poco inferior a 2,5 bits. El tipo 12 es el de mayor diversidad en promedio, con 3,1 bits. El valor

medio más bajo de diversidad se ha dado en el tipo 10.

➤ Las concentraciones de **clorofila a** presentaron valores medios muy similares entre los diversos tipos, exceptuando a los tipos 1 y 13, con valores muy bajos. El valor más elevado está en el tipo 11 con 4,7 µg/L. Destacar el valor extremo del embalse de El Val con 22,58 µg/L el más elevado de todo el ESTUDIO. En el lado contrario, el embalse de Sopeira, con 0,4 µg/L, es el embalse con una concentración más baja

➤ En gran parte de los embalses, un 63 %, no hay **Cianobacterias** y en un 31 % su densidad es suficientemente baja para no presentar problemas, menores del 20 % del total. Pero debemos señalar aquellos que poseen un porcentaje superior al 50 %, solo dos embalses, que ordenados de mayor a menor porcentaje son: Guiamets (tipo 10) y Cueva Foradada. En el caso de Cueva Foradada, 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 aparte merece el caso de Guiamets, ya que las cianobacterias son el grupo predominante y la especie mayoritaria es *Oscillatoria rubescens*, potencial productora de cionotoxinas.

➤ Se identificaron 95 especies de **zooplancton** en las muestras cuantitativas en un total de 35 embalses, agrupadas en tres grupos taxonómicos principales, el orden Cladocera (12 especies), la subclase Copepoda (12 taxones) y el phylum Rotifera (63 especies). También se contabilizaron las fases larvianas planctónicas de *Dreissena polymorpha* (Mollusca, Bivalvia).

➤ La **riqueza** de especies se movió en torno a las 13 especies por embalse (valores de la media), con el tipo 11 presentando el mayor valor (18,5 especies) y el tipo 13 presentando el valor más bajo entre todos los tipos (5,7 especies). Valores destacados de riqueza zooplanctónica se dieron en los siguientes embalses: San Lorenzo con 20, le siguen La Sotonera, Balaguer, La Tranquera y Caspe todos ellos con 19 especies. Se encontraron menos de 10 especies en siete embalses, los tres embalses del tipo 13, más Albiña, Cueva Foradada, La Peña y Lechago.

➤ La **densidad** de individuos media ha sido de 438,67 ind/L, con valores que han ido desde los 6,92 ind/L en el embalse de Llauset hasta los 2.438 ind/L en Rialb, embalse que también contenía la densidad máxima para el fitoplancton. Por tipos, los promedios más altos han sido para el tipo 1 y 11 y, mientras que el más bajo ha sido para el tipo 13, seguido del tipo 7. Los rotíferos son los más abundantes en densidad, en general en casi todos los embalses, aunque en 3 de ellos (Monteagudo de las Vicarías, Mequinenza y Ribarroja) predominan los

copépodos. Mientras que solo hay un embalse con predominancia de los cladóceros, El Val. La predominancia de otros taxones en algunos embalses es debida a la abundancia de las larvas planctónicas de mejillón cebrá (*Dreissena polymorpha*), siendo el caso en los embalses de Sobrón y Flix.

➤ La **biomasa** media fue mayor en el tipo 9, con el máximo absoluto del embalse de El Val, 689 µg/L. En la parte opuesta, los valores menores han sido para el tipo 13. Por embalses los valores mas bajos se han registrado en Llauset con 0,61 µg/L del tipo 13, seguido de Terradets con 3,15 µg/L del tipo 9.

➤ La **diversidad** máxima se presenta en el tipo 11 con 2,78 bits, mientras que la mínima está en el tipo 13 con 1,35 bits. Once embalses se sitúan por debajo de los valores habituales de diversidad para los ecosistemas acuáticos, entre 2 y 3 bits.

➤ En 2015 se capturaron larvas de mejillón cebrá (*Dreissena polymorpha*) en 7 embalses. La densidad de larvas en el embalse de Sobrón fue la más alta (con 747,5 ind./L y representando un 81,4 % de la comunidad zooplanctónica). El valor más bajo se presentó en La Estanca de Alcañiz con 10,2 ind./L y representando un 1,7 % de la comunidad.

### **Análisis multivariante**

El análisis multivariante **PCA** aplicado a las variables fisicoquímicas ha explicado un 51,6 % de la variabilidad, asignando al primer eje un 26,6 % de la varianza explicada, al segundo un 14,3 % y al tercero un 10,6 %. El eje 1 da mayor peso en la zona positiva a las variables relacionadas con la transparencia, aguas bien oxigenadas y la altitud 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 la cuenca aguas arriba. En el eje 2 tienen mayor peso en la zona positiva las variables relacionadas con la anoxia, la profundidad de las muestras y la hidromorfología, mientras que en la parte negativa tienen más peso las variables relacionadas con la oxigenación del hipolimnion, el fósforo soluble y biodisponible y el tiempo de permanencia. El eje 3 separa en la zona positiva las variables relacionadas con la carga de nutrientes biodisponibles y la profundidad de la zona fótica, frente a aguas más turbias y mayor tiempo de permanencia.

➤ La agrupación de distancias euclídeas entre embalses según los resultados del PCA en primer lugar diferencia los embalses por sus variables hidromorfológicas, especialmente por su cota. Entre los demás embalses se ha establecido un gradiente de agrupación en función de la combinación de variables de la mineralización, la transparencia y el estado trófico, quedando

por un lado los embalses de mejor estado, más transparentes y menos mineralizados, y por otro lado los embalses en peor estado o más mineralizados y más turbios.

### **Estado trófico**

➤ De los 35 embalses analizados, la mayor parte de ellos son mesotróficos. En 2015 la densidad de fitoplancton es el elemento más restrictivo, que clasificó un 22,9 % de embalses como eutróficos y ninguno como ultraoligotrófico, mientras que, aunque el DS clasificó un 20 % de embalses como eutróficos, también clasificó un 17 % como ultraoligotróficos. El P total clasificó un 5,7 % como eutróficos y la clorofila a solo el 2,9 %. El P total fue la variable que más embalses clasificó como ultraoligotróficos, un 22,9 %. La catalogación trófica final resultó un compromiso entre métricas, muy parecida a la clasificación según la concentración de P total. La clase mayoritaria fue mesotrófico, con el 48,6 %, con las clases oligotrófico y ultraoligotrófico con el mismo número de embalses, 8. Destacar que ninguna de las variables clasificó embalse alguno como hipereutrófico.

### **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*. El índice *PRTI* y la densidad celular son los parámetros que peor valoran el estado de los embalses, mientras que el *TI* es el que mejor los valora, clasificando en estado bueno todos los embalses excepto dos en clasificados como moderados. Las clases dominantes son las de bueno y máximo en el resto de índices. 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. De los 35 embalses, se clasifican de la siguiente manera: 13 embalses (el 37,1 %) en estado Bueno o superior; 14 embalses, un 40 %, en estado moderado, 6 embalses, un 17 % en estado deficiente y 2 en mal estado, el 5,7 %.

➤ **MÉTRICAS FÍSICOQUÍMICAS:** Solo en un parámetro, concentración de oxígeno, encontramos las 5 clases de calidad representadas, ya que el resto no clasifica ningún

embalse con mala calidad. Este parámetro clasifica el mayor número de embalses con Muy buena calidad, 11, aunque también clasifica 7 embalses en mal estado, como Deficiente y 6 en cada clase Bueno y Moderado. Mientras que la concentración de fósforo total clasifica la mayoría de embalses como moderados, un 45 %, y solo 2 embalses como deficiente, la transparencia medida mediante el DS clasifica al 45 % de los embalses en estado bueno, 16 embalses, y 7 en estado deficiente.

- De acuerdo con la combinación de parámetros fisicoquímicos, el valor global ha sido de ocho embalses con la categoría de Muy bueno, seis embalses con potencial Bueno y 21 embalses en la categoría de Moderado.
- En seis embalses calificados como de potencial biológico Bueno o superior, el indicador fisicoquímico (inferior al umbral que consideramos Bueno) hizo cambiar el potencial ecológico a Moderado.

La siguiente tabla resume los resultados de potencial ecológico para los 35 embalses estudiados en 2015, obtenidos mediante la ***aproximación experimental***.

Bueno o superior	Moderado	Deficiente	Malo
Búbal, Cavallers, Escarra, Llauset, Urdalur	Alloz, Albiña, Balaguer, Caspe, Cueva Foradada, Ebro, El Val, Guiamets, Irabia, Lanuza, La Peña, La Sotenera, La Tranquera, Lechago, Margalef, Mezalocha, Monteagudo de las Vicarías, Oliana, Rialb, Sallente, Terradets, Yesa	Flix, La Estanca de Alcañiz, Mequinenza, Ribarroja, San Lorenzo, Sopeira	Sobrón, Maidevera

***Aproximación normativa:***

➤ En 19 de los 33 embalses clasificados como de potencial Bueno o superior por el Indicador Biológico, el Indicador Físicoquímico hizo descender el potencial final Moderado. Solo el embalse de Guiamets, fue clasificado directamente como Moderado y Deficiente respectivamente.

La siguiente tabla resume los resultados de potencial ecológico para los embalses estudiados en 2015, obtenidos mediante la ***aproximación normativa***.

Bueno o superior	Moderado	Deficiente	Malo
Búbal, Cavallers, Escarra, Llauset, Lanuza, Sallente, Sopeira, Urdalur	Alloz, Albiña, Balaguer, Caspe, Cueva Foradada, Ebro, El Val, Flix, Guiamets, Irabia, La Estanca de Alcañiz, La Peña, La Sotona, La Tranquera, Lechago, Maidevera, Margalef, Mequinenza, Mezalocha, Monteagudo de las Vicarías, Oliana, Rialb, Ribarroja, San Lorenzo, Sobrón, Terradets, Yesa	Guiamets	

## 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 excepto el embalse de Guiamets, con un potencial ecológico deficiente. Además, incluiremos los embalses de Alloz, Balaguer, La Estanca de Alcañiz, La Tranquera, Mezalocha y San Lorenzo, que han sido calificados como Bueno, aunque el indicador del estado trófico los califica como Mesotrófico.

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.

Los embalses de Balaguer, San Lorenzo y Terradets presentan 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 califica de hipereutrófico, cuando por su concentración de clorofila es oligotrófico. Igual sucede con el indicador químico, donde todos ellos tienen un contenido en Fósforo total alto, presente por la materia en suspensión que arrastran las aguas. El potencial ecológico se ve penalizado por el indicador fisicoquímico de nuevo, siendo el biológico Máximo, queda en Bueno o Moderado por esta causa.

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 Monteagudo de las Vicarías, La Estanca de Alcañiz y La Peña 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. En el caso de La Estanca de Alcañiz, no hay problemas por fósforo total, pero si por las densidades del fitoplancton, lo que podría ser debido a un aporte de nutrientes nitrogenados de origen natural o procedentes de actividades humanas, probablemente vinculadas al uso recreativo de la masa de agua.

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 inferior a los dos meses, valor bajo para un embalse, y si consideramos Ribarroja (unos seis 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, con lo cual su funcionamiento ecológico es mucho más complejo. En el embalse de Mequinenza se observa en un estudio longitudinal cómo sus características van cambiando desde Caspe hasta Mequinenza, mejorando su calidad. 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, 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 Albiña, Alloz, Caspe, Cueva Foradada, Ebro, Irabia, Lechago y La Sotona. 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. Son los casos de Cueva Foradada, Caspe, Lechago, La Sotonera e Irabia. 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 de los embalses del Alloz y Ebro, es el crecimiento algal el factor que hace empeorar el índice de calidad.

e) Embalses con poca renovación.

Es el caso de los embalses de Guiamets y Margalef. La poca circulación de las aguas hace que las escasas aportaciones de la cuenca fertilicen el sistema y lo mantengan en un estado moderado. Margalef tiene el hipolimnion prácticamente anóxico, mientras en Guiamets, también son las poblaciones algales las que lo hacen empeorar de calidad. Además, en Guiamets, existe la posibilidad de la presencia de cianotoxinas, debido a la presencia de *Oscillatoria rubescens*, especie potencialmente productora. En este caso, en el que el biovolumen de la especie es tan elevado, 6,5 mm<sup>3</sup>/L, la administración debería tomar medidas complementarias teniendo en cuenta los usos recreativos y de regadío que se dan a las aguas de este embalse. Ya que en el RD 1341/2007, de 11 de octubre, sobre la gestión de la calidad de las aguas de baño, en su Artículo 6 se determina que cuando el perfil de las aguas de baño muestre propensión a la proliferación de cianobacterias, se llevará a cabo un control adecuado que permita su identificación y se comunicará a la autoridad sanitaria, que evaluará los riesgos para la salud. Por lo que se refiere a la problemática del hipolimnion anóxico, se debería aprovechar las épocas de lluvia para favorecer el desembalse profundo de las aguas hipolimnéticas.

f) Embalses de Oliana y Rialb.

Son dos embalses uno tras otro, con bastante renovación y donde el indicador de mala calidad es el crecimiento algal, 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.

Además, hay que mencionar la abundante presencia de desechos antròpicos en las márgenes del embalse de Oliana, como se puede apreciar en las siguientes fotografías. Por tanto, se recomienda la intervención para la retirada de los mismos.



g) Embalses de El Val, Maidevera, Mezalocha y La Tranquera.

Estos embalses tienen una renovación similar, próxima al año, y una problemática similar. Se encuentran en zonas despobladas, donde parece que esto no debería suceder. 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

pueden proceder del trasvase de aguas del río Queiles y la piscifactoría allí existente y en La Tranquera parece que existe contaminación difusa desde las poblaciones próximas al embalse como Nuévalos. 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 el caso de Mezalocha no se dan periodos de anoxia, pero si que se registra una concentración muy elevada de nitratos, seguramente procedentes de actividades humanas, como aguas residuales o agricultura. Se debería investigar esta presencia de aportaciones con nutrientes por si fueran la causa del estado moderado, y tratar de controlarlas en su caso.

#### h) Embalse de Sobrón.

Este embalse presenta una tasa de renovación muy alta, 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 no siempre se presenta y en los dos últimos años ha habido estratificación. El hecho más destacable se debe a la presencia de una capa profunda mucho más mineralizada que la superficial, que puede generar un gradiente de densidad que hace que las aguas del fondo y la superficie no se mezclen con facilidad. Se debería conocer cuál es el origen de esta mayor salinidad hipolimnética, si es de tipo natural o procedente de los tratamientos antihielo de la carretera que discurre por su margen izquierda. En cualquier caso, la presencia del gradiente de densidad, ya sea salino o 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. 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 salinas y anóxicas.

#### i) Embalse de Escarra

Pensando en futuros muestreos, para el seguimiento de la calidad de este embalse, se debería contemplar la posibilidad de mejorar el acceso a la lámina de agua, ya que solo consistiría en la mejora y adecuación de la rampa situada en la margen derecha del embalse, muy cerca de la presa.

## 8. REFERENCIAS

ACA (2003a). *Desenvolupament d'un índex integral de qualitat ecològica i regionalització ambiental dels sistemes lacustres de catalunya*. Agència Catalana del Aigua. Disponible on-line en: [http://mediambient.gencat.net/aca/documents/ca/directiva\\_marc/Llacs.pdf](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](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](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.

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.

Barbe (2003). *Protocole actualise de la diagnose rapide des plans d'eau*. Cemagref. 25pp.

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](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.

Čeirans, A. (2007). Zooplankton indicators of trophy in Latvian lakes. *Acta Universitatis Latviensis* 723: 61–69

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>.

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.

Dray, S. y Dufour, A.B. (2007). The ade4 package: implementing the duality diagram for ecologists. *Journal of Statistical Software* 22(4): 1-20.

Duggan IC, Green, J y Shiel, RJ (2001). Distribution of rotifers in North Island, New Zealand, and their potential use as bioindicators of lake trophic state. *Hydrobiologia* 446/447: 155–164.

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.

Grigorszky, I., Borics G. y Soroczki-Pinter (2006). Use of phytoplankton assemblages for monitoring ecological status of lakes within the Water Framework Directive: The assemblage index. *Hydrobiologia* 553: 1–14.

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 y 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>

Marchetto, A. Padedda, B.M., Mariani, M.A., Lugliè A. & Sechi, N. (2009). A numerical index for evaluating phytoplankton response to changes in nutrient levels in deep mediterranean reservoirs. *Journal of Limnology* 68: 106-121

Margalef, R. (1983). *Limnología*. Ed. Omega, Barcelona.

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.

OMS (1999). *Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management*. Ingrid Chorus y Jamie Bartram, editores.

Padisak J. (2004) Phytoplankton. En *The Lake Handbook vol. 1 Limnology and Limnetic Ecology* (O'Sullivan y Reynolds eds.). Blackwell. Oxford.

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. y Chiaduanni, G. (1992). *Ecological quality of Surface Water*. Commission of the European Communities, JRC Report EUR 14563, 124 p

Quevauviller P., U. Borchers, C. Thompson y T. Simonart (Eds) (2008) *The Water Framework Directive: Ecological and Chemical Status Monitoring*. John Wiley & Sons. Sussex, UK.

R Development Core Team (2009). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL: <http://www.R-project.org>.

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. & 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.

Solimini A. et al (2008) The Monitoring of Ecological Status of European Freshwaters. En: Quevauviller P., U. Borchers, C. Thompson and T. Simonart (Eds) *The Water Framework Directive: Ecological and Chemical Status Monitoring*. John Wiley & Sons. Sussex, UK.

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., Vaneched, C.J.A. y Dekkers, E.M.J., (1978). Ammonia determination based on indophenol with sodium salicylate. *Water Research* 12: 399-402.

Water Research Centre (1996). *The harmonised monitoring and classification of ecological quality of surface water in the European Union*. Final Report for European Commission DGXI, WRC Ref: CO 41520, may 1996

Wetzel, R.G. 1975. *Limnology*. Saunders, Philadelphia. 743 pp.

Whitman, R.L., Nevers, M.B., Goodrich, M.L., Murphy, P.C. y Davis, B.M. (2004). Characterization of Lake Michigan coastal lakes using zooplankton assemblages. *Ecological Indicators* 4:277–286

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
	CHE		(m)	(Hm <sup>3</sup> )		(año)	(°C)	(P/A)	(µS/cm)		(m)	(DS) (m)	(PAR) (m)	(m)
EBR	EB00004001	24-jun-15	20,8	515,4	95	0,97	18,7	A	183	7,97	3,10	7,8	9,5	1,0
IRA	EB00004004	23-jun-15	30,3	3,8	27	-	15,3	P	149	8,04	4,50	11,3	10,5	3,0
ALB	EB00004005	23-jun-15	20,1	3	60	-	20,8	P	83	7,40	2,40	6,0	6,0	0,0
LAN	EB00004019	20-jul-15	45,0	16,4	96	0,04	15,7	P	124	8,10	7,60	19,0	18,0	0,0
SOB	EB00004022	29-jul-15	26,7	17,8	89	0,24	22,8	P	285	7,77	2,30	5,8	6,4	12,0
BUB	EB00004025	21-jul-15	28,0	33	52	0,09	19,4	A	157	8,60	7,00	17,5	17,0	0,0
ALL	EB00004027	1-jul-15	36,0	50,74	77	0,28	18,0	P	523	7,80	3,50	8,8	13,0	0,0
YES	EB00004037	30-jun-15	45,2	321,2	72	0,24	21,1	P	255	8,10	2,75	6,9	13,0	0,0
PEÑ	EB00004044	30-jun-15	11,6	8,3	55	0,02	22,4	P	306	7,94	1,00	2,5	4,0	1,0
SOP	EB00004045	14-jul-15	15,1	1	100	-	11,6	A	171	7,87	4,25	10,6	13,0	0,0
BAL	EB00004049	16-jun-15	4,5	1	100	-	19,1	A	272	7,80	4,38	10,9	4,5	0,0
OLI	EB00004053	6-jul-15	49,4	69,2	82	0,08	23,3	P	148	8,70	1,40	3,5	6,0	6,0
TER	EB00004059	16-jun-15	11,4	31,6	99	0,03	15,3	A	150	8,16	0,75	1,9	3,1	0,0
SOT	EB00004062	28-jul-15	17,5	119,4	63	0,56	23,9	A	350	8,10	1,70	4,3	7,5	3,0
RIA	EB00004063	27-jul-15	60,8	331,4	82	0,30	24,1	P	188	8,10	1,60	4,0	5,7	0,0
SLO	EB00004067	28-jul-15	8,7	8,9	99	0,01	21,7	A	185	8,10	2,20	5,5	7,0	0,0
VAL	EB00004068	29-jun-15	50,0	22,9	95	0,41	22,4	P	449	8,16	1,20	3,0	3,8	0,0

Abrev.	Código	Fecha	Prof.	Volumen	% Emb	T. Perm.	Temp	Termoclina	Cond 20°	pH	Disco Secchi	Zona Fótica	Zona Fótica	Zona Anoxia
	CHE		(m)	(Hm <sup>3</sup> )		(año)	(°C)	(P/A)	(μS/cm)		(m)	(DS) (m)	(PAR) (m)	(m)
MEQ	EB00004070	3-ago-15	54,0	1133	74	0,12	26,3	P	1011	7,80	4,30	10,8	14,0	33,0
MEZ	EB00004071	9-jun-15	12,2	2,9	74	0,04	18,0	A	493	8,10	3,50	8,8	8,0	0,0
MAR	EB00004072	17-jun-15	25,0	2	67	-	18,5	P	370	8,10	4,10	10,3	11,5	4,0
FLI	EB00004074	4-ago-15	8,6	3,8	90	0,00	27,9	A	1148	7,80	4,25	10,6	8,5	0,0
TRA	EB00004076	22-jul-15	29,2	45,9	56	0,70	23,3	A	687	7,92	4,60	11,5	16,4	0,0
CAS	EB00004078	5-ago-15	31,0	59,6	73	0,26	25,0	P	762	8,1	5,00	12,5	11,0	22,0
GUI	EB00004079	16-jun-15	36,0	9,1	91	60,06	21,6	P	410	8,29	4,60	11,5	8,5	3,0
CUE	EB00004080	8-jun-15	19,4	13	59	0,68	16,1	P	916	7,9	4,20	10,5	11,0	7,0
LEC	EB00004087	8-jul-15	11,0	2	11	-	17,6	P	1372	7,60	7,35	18,4	10,5	4,0
URD	EB00004550	22-jun-15	36,0	5,46	99	0,15	14,8	P	119	7,76	5,80	14,5	16,0	0,0
MON	EB00004681	7-jul-15	7,3	5,2	52	3,12	23,4	A	777	7,77	1,00	2,5	6,2	0,0
MAE	EB00004823	7-jul-15	35,0	16,3	82	0,74	24,7	P	383	7,90	1,00	2,5	5,0	16,0
RIB	EB00004949	4-ago-15	28,8	207,4	99	0,02	25,1	A	1017	7,50	3,50	8,8	9,0	3,0
ESR	EB00004951	21-jul-15	17,0	3,5	70	-	18,4	P	144	8,43	5,70	14,3	12,5	0,0
SAL	EB00004952	13-jul-15	60,0	3	50	-	18,6	-	45	7,10	10,00	25,0	-	-
LLA	EB00004953	15-jul-15	66,3	15,4	93	0,09	12,2	P	56	7,60	17,00	42,5	28,0	0,0
EST	EB00005022	4-ago-15	3,8	3,73	51	0,15	27,5	A	626	8,20	1,30	3,3	3,8	0,0
CAV	EB00005043	14-jul-15	65,0	15,3	95	0,11	16,5	-	14	6,90	18,00	45,0	-	-

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	EB00004001	9	24-jun-15	183	7,97	1,53	0,76	2,86	2,81	1,68	168	17,00	1,05	0,445	0,0205	0,244
IRA	EB00004004	12	23-jun-15	149	8,04	2,54	1,04	2,31	3,12	1,76	176	10,15	0,63	0,090	0,0041	0,143
ALB	EB00004005	6	23-jun-15	83	7,40	2,90	1,04	6,77	3,97	0,87	87	19,00	1,18	0,172	0,0079	0,268
LAN	EB00004019	16	20-jul-15	124	8,10	0,32	0,28	0,73	0,95	1,25	125	5,63	0,35	0,086	0,0040	0,080
SOB	EB00004022	6	29-jul-15	285	7,77	2,90	0,89	4,04	6,23	2,10	210	30,00	1,86	0,321	0,0147	0,424
BUB	EB00004025	16	21-jul-15	157	8,60	0,69	0,41	1,18	1,30	1,85	185	5,88	0,36	0,139	0,0064	0,084
ALL	EB00004027	13	1-jul-15	523	7,80	2,67	0,79	2,13	1,85	3,04	304	77,00	4,77	0,719	0,0331	1,088
YES	EB00004037	13	30-jun-15	255	8,10	1,17	0,46	1,85	2,11	2,57	257	21,00	1,30	0,217	0,0100	0,297
PEÑ	EB00004044	6	30-jun-15	306	7,94	12,45	1,48	9,33	3,94	2,36	236	11,59	0,72	0,378	0,0174	0,168
SOP	EB00004045	13	14-jul-15	171	7,87	0,91	0,24	1,40	0,40	1,46	146	14,45	0,90	0,679	0,0313	0,212
BAL	EB00004049	4	16-jun-15	272	7,80	4,58	0,95	4,13	3,61	1,72	172	28,00	1,74	0,331	0,0152	0,397
OLI	EB00004053	6	6-jul-15	148	8,70	4,87	1,15	5,65	5,38	1,21	121	8,46	0,52	0,955	0,0439	0,132
TER	EB00004059	6	16-jun-15	150	8,16	16,79	1,78	15,16	2,02	1,46	146	17,00	1,05	0,699	0,0321	0,248
SOT	EB00004062	7	28-jul-15	350	8,10	4,58	0,89	4,40	3,48	2,53	253	23,00	1,43	0,505	0,0232	0,329
RIA	EB00004063	6	27-jul-15	188	8,10	4,78	1,65	4,56	6,49	1,68	168	6,85	0,42	0,230	0,0106	0,099
SLO	EB00004067	7	28-jul-15	185	8,10	3,79	0,83	2,79	3,25	1,55	155	19,00	1,18	0,230	0,0106	0,269
VAL	EB00004068	6	29-jun-15	449	8,16	11,54	2,30	6,93	22,58	3,52	352	143,00	8,87	3,382	0,1556	2,049
MEQ	EB00004070	12	3-ago-15	1011	7,80	1,93	0,99	1,55	3,58	2,74	274	110,00	6,82	3,164	0,1456	1,584
MEZ	EB00004071	8	9-jun-15	493	8,10	2,09	0,91	3,83	3,26	3,46	346	195,00	12,09	1,749	0,0805	2,754

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)
MAR	EB00004072	12	17-jun-15	370	8,10	1,99	1,10	2,34	3,36	3,21	321	5,26	0,33	0,084	0,0039	0,075
FLI	EB00004074	6	4-ago-15	1148	7,80	1,55	0,48	2,55	0,78	3,42	342	130,00	8,06	3,373	0,1551	1,867
TRA	EB00004076	16	22-jul-15	687	7,92	2,20	1,39	1,22	5,63	3,46	346	123,00	7,63	1,359	0,0625	1,741
CAS	EB00004078	11	5-ago-15	762	8,1	2,03	0,97	2,31	3,31	2,95	295	64,00	3,968	3,329	0,1531	0,943
GUI	EB00004079	9	16-jun-15	410	8,29	4,23	3,59	5,74	5,76	3,21	321	0,02	0,00	0,026	0,0012	0,001
CUE	EB00004080	12	8-jun-15	916	7,9	3,93	1,48	2,00	2,82	3,25	325	40,00	2,48	0,685	0,0315	0,570
LEC	EB00004087	9	8-jul-15	1372	7,60	1,08	0,66	2,52	3,24	3,88	388	50,00	3,10	1,411	0,0649	0,720
URD	EB00004550	12	22-jun-15	119	7,76	1,17	0,46	3,46	1,59	1,04	104	12,50	0,78	0,112	0,0052	0,177
MON	EB00004681	6	7-jul-15	777	7,77	9,37	1,44	6,80	2,98	2,87	287	94,00	5,83	1,672	0,0769	1,339
MAE	EB00004823	6	7-jul-15	383	7,90	9,84	3,19	6,87	6,19	2,23	223	124,00	7,69	1,202	0,0553	1,753
RIB	EB00004949	9	4-ago-15	1017	7,50	1,81	0,82	2,64	3,95	3,21	321	135,00	8,37	1,434	0,0660	1,910
ESR	EB00004951	12	21-jul-15	144	8,43	1,57	0,48	1,88	1,14	1,76	176	2,17	0,13	0,072	0,0033	0,031
SAL	EB00004952	1	13-jul-15	45	7,10	0,21	0,12	0,64	1,07	0,62	62	6,11	0,38	0,102	0,0047	0,087
LLA	EB00004953	15	15-jul-15	56	7,60	0,07	0,05	0,21	0,54	0,66	66	12,23	0,76	0,090	0,0041	0,172
EST	EB00005022	3	4-ago-15	626	8,20	9,09	1,35	5,98	3,31	2,70	270	55,00	3,41	1,009	0,0464	0,784
CAV	EB00005043	9	14-jul-15	14	6,90	0,13	0,08	0,12	0,71	0,28	28	9,57	0,59	0,072	0,0033	0,135

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)	( $\mu$ M)	(mg/L)	(mg N/L)	( $\mu$ M)	(mg N/L)	( $\mu$ M)	(mg P/L)	(mg/L)	( $\mu$ M)	(mg P/L)	( $\mu$ M)	(mg SiO <sub>2</sub> /L)
EBR	EB00004001	9	2,00	0,036	0,028	30,96	0,43	0,0262	0,0008	0,0025	0,3573	0,0111	43,22	1,07
IRA	EB00004004	12	3,64	0,066	0,051	14,22	0,20	0,0209	0,0006	0,0020	0,1284	0,0040	36,61	1,71
ALB	EB00004005	6	1,27	0,023	0,018	26,82	0,38	0,0262	0,0008	0,0025	0,2847	0,0088	37,62	3,68
LAN	EB00004019	16	2,13	0,038	0,030	10,81	0,15	0,0470	0,0015	0,0045	0,2953	0,0092	7,02	1,91
SOB	EB00004022	6	2,27	0,041	0,032	41,04	0,57	0,0417	0,0013	0,0040	0,6539	0,0203	64,03	3,31
BUB	EB00004025	16	1,20	0,022	0,017	12,37	0,17	0,0313	0,0010	0,0030	0,1003	0,0031	37,33	2,07
ALL	EB00004027	13	0,10	0,002	0,001	87,39	1,22	0,0262	0,0008	0,0025	0,2649	0,0082	64,16	1,03
YES	EB00004037	13	0,64	0,012	0,009	23,50	0,33	0,0209	0,0006	0,0020	0,1465	0,0045	67,67	1,84
PEÑ	EB00004044	6	1,94	0,035	0,027	24,12	0,34	0,0314	0,0010	0,0030	0,8905	0,0276	53,50	3,28
SOP	EB00004045	13	0,83	0,015	0,012	18,76	0,26	0,0316	0,0010	0,0030	0,1157	0,0036	87,39	3,95
BAL	EB00004049	4	0,92	0,017	0,013	34,53	0,48	0,0210	0,0007	0,0020	0,4838	0,0150	85,74	4,60
OLI	EB00004053	6	1,00	0,018	0,014	19,13	0,27	0,0365	0,0011	0,0035	0,4791	0,0149	26,29	0,44
TER	EB00004059	6	0,26	0,005	0,004	19,23	0,27	0,0263	0,0008	0,0025	0,6840	0,0212	87,04	4,48
SOT	EB00004062	7	0,53	0,010	0,007	32,22	0,45	0,0417	0,0013	0,0040	0,3577	0,0111	62,24	3,35
RIA	EB00004063	6	2,27	0,041	0,032	20,51	0,29	0,0261	0,0008	0,0025	0,6203	0,0192	28,77	1,21
SLO	EB00004067	7	1,58	0,028	0,022	21,92	0,31	0,0574	0,0018	0,0055	0,4359	0,0135	15,71	4,80
VAL	EB00004068	6	1,95	0,035	0,027	172,38	2,41	0,0628	0,0019	0,0060	1,2851	0,0398	70,92	1,15
MEQ	EB00004070	12	1,36	0,025	0,019	123,71	1,73	0,0363	0,0011	0,0035	0,1824	0,0057	67,27	2,57
MEZ	EB00004071	8	4,14	0,074	0,058	233,00	3,26	0,0374	0,0012	0,0036	0,3878	0,0120	42,27	2,70

Abrev	Código	Prof. Integ.	Amonio	Amonio	Amonio	Ntot	Ntot	Psol	Psol	Fosfatos	Ptot	Ptot	Silicato	Silicato
	CHE	(m)	( $\mu$ M)	(mg/L)	(mg N/L)	( $\mu$ M)	(mg N/L)	( $\mu$ M)	(mg P/L)	(mg/L)	( $\mu$ M)	(mg P/L)	( $\mu$ M)	(mg SiO <sub>2</sub> /L)
MAR	EB00004072	12	0,49	0,009	0,007	17,58	0,25	0,0788	0,0024	0,0075	0,2002	0,0062	100,34	4,20
FLI	EB00004074	6	2,69	0,048	0,038	145,91	2,04	1,0125	0,0314	0,0962	1,3043	0,0404	42,63	4,84
TRA	EB00004076	16	1,95	0,035	0,027	135,14	1,89	0,0261	0,0008	0,0025	0,4012	0,0124	27,62	2,94
CAS	EB00004078	11	4,29	0,077	0,060	72,58	1,02	0,0104	0,0003	0,0010	0,2984	0,0093	36,07	1,90
GUI	EB00004079	9	0,15	0,003	0,002	16,62	0,23	0,0473	0,0015	0,0045	0,4226	0,0131	27,45	1,12
CUE	EB00004080	12	6,83	0,123	0,096	59,80	0,84	0,0481	0,0015	0,0046	0,2304	0,0071	39,58	1,02
LEC	EB00004087	9	6,73	0,121	0,094	73,22	1,03	0,0678	0,0021	0,0064	0,7625	0,0236	72,09	16,24
URD	EB00004550	12	1,74	0,031	0,024	20,83	0,29	0,0262	0,0008	0,0025	0,1228	0,0038	63,93	4,74
MON	EB00004681	6	2,51	0,045	0,035	113,88	1,59	0,0417	0,0013	0,0040	0,3249	0,0101	47,09	2,62
MAE	EB00004823	6	1,49	0,027	0,021	142,11	1,99	0,0887	0,0027	0,0084	0,4846	0,0150	58,58	1,01
RIB	EB00004949	9	2,31	0,042	0,032	148,25	2,08	0,2077	0,0064	0,0197	1,0169	0,0315	14,26	5,33
ESR	EB00004951	12	1,02	0,018	0,014	8,58	0,12	0,0470	0,0015	0,0045	0,0724	0,0022	21,69	1,03
SAL	EB00004952	1	1,46	0,026	0,020	12,90	0,18	0,0211	0,0007	0,0020	0,0606	0,0019	72,86	3,28
LLA	EB00004953	15,0	0,69	0,012	0,010	15,53	0,22	0,0264	0,0008	0,0025	0,0276	0,0009	16,32	3,06
EST	EB00005022	3	1,61	0,029	0,023	63,19	0,88	0,0260	0,0008	0,0025	0,2929	0,0091	38,34	9,83
CAV	EB00005043	9	0,56	0,010	0,008	13,34	0,19	0,0791	0,0025	0,0075	0,0827	0,0026	33,89	2,04

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

Código CHE	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 (ug/L)
EB00004001	EBR	Intg. 9 m	24-jun-15	18,7	8,51	87,5	183	8,0	1,531	0,755	2,9	1,7	2,8
EB00004001	EBR	3 m	24-jun-15	19,9	8,83	105,9	181	8,1	-	-	2,7	1,6	4,2
EB00004001	EBR	13 m	24-jun-15	15,3	5,74	60,2	183	7,4	-	-	4,3	1,4	1,6
EB00004001	EBR	20 m	24-jun-15	13,6	1,71	12,7	188	7,1	-	-	15,8	1,4	1,8
EB00004004	IRA	Intg. 12 m	23-jun-15	15,3	8,60	88,4	149	8,0	2,536	1,036	2,3	1,8	3,1
EB00004004	IRA	8 m	23-jun-15	13,8	8,42	77	150	7,9	-	-	2,2	1,8	4,1
EB00004004	IRA	27 m	23-jun-15	9,9	0,97	9,0	174	7,4	-	-	5,4	1,8	1,1
EB00004004	IRA	30 m	23-jun-15	8,3	0,76	7,1	203	7,2	-	-	22,3	2,2	1,0
EB00004005	ALB	Intg. 6 m	23-jun-15	20,8	8,81	94,5	83	7,4	2,899	1,040	6,8	0,9	4,0
EB00004005	ALB	5 m	23-jun-15	18,1	8,09	92,1	86	7,3	-	-	6,2	0,8	4,1
EB00004005	ALB	18 m	23-jun-15	9,6	2,42	22,9	74	6,7	-	-	10,6	0,7	1,1
EB00004019	LAN	Intg. 16 m	20-jul-15	15,7	9,07	106,4	124	8,1	0,315	0,280	0,7	1,3	1,0
EB00004019	LAN	8 m	20-jul-15	14,8	9,58	112,9	123	8,2	-	-	0,9	1,3	0,7
EB00004019	LAN	24 m	20-jul-15	12,9	8,75	99,55	117	7,7	-	-	3,4	1,2	0,7
EB00004019	LAN	43 m	20-jul-15	7,7	7,03	75,67	152	7,5	-	-	0,7	1,3	0,1
EB00004022	SOB	Intg. 6 m	29-jul-15	22,8	7,61	87,3	285	7,8	2,900	0,893	4,0	2,1	6,2
EB00004022	SOB	3 m	29-jul-15	22,9	7,81	93,7	285	7,8	-	-	3,8	2,1	6,9
EB00004022	SOB	8 m	29-jul-15	21,8	5,81	65,3	288	7,4	-	-	4,4	2,2	2,6
EB00004022	SOB	26 m	29-jul-15	13,8	0,69	5,8	477	7,2	-	-	6,4	4,2	0,4
EB00004025	BUB	Intg. 16 m	21-jul-15	19,4	8,27	100,75	157	8,6	0,687	0,407	1,2	1,8	1,3
EB00004025	BUB	10 m	21-jul-15	18,1	8,55	105,7	152	8,6	-	-	1,3	1,7	1,6
EB00004025	BUB	26 m	21-jul-15	14,5	7,30	88,4	146	8,3	-	-	1,1	1,6	1,1

Código CHE	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 (ug/L)
EB00004027	ALL	Intg. 13 m	1-jul-15	18,0	8,53	99,0	523	7,8	2,667	0,787	2,1	3,0	1,8
EB00004027	ALL	2 m	1-jul-15	24,4	8,77	110,1	416	8,0	-	-	1,5	2,6	1,0
EB00004027	ALL	13 m	1-jul-15	10,5	8,45	70,6	653	8,1	-	-	1,5	3,6	2,0
EB00004027	ALL	37 m	1-jul-15	11,7	2,39	19,5	2098	8,0	-	-	5,8	3,7	0,4
EB00004037	YES	Intg. 13 m	30-jun-15	21,1	9,30	102,2	255	8,1	1,166	0,462	1,9	2,6	2,1
EB00004037	YES	2 m	30-jun-15	24,9	8,92	111,1	248	8,1	-	-	2,0	2,4	2,5
EB00004037	YES	10 m	30-jun-15	18,2	9,17	93,6	264	8,2	-	-	1,6	2,7	2,4
EB00004037	YES	44 m	30-jun-15	8,4	6,95	57,8	346	7,9	-	-	5,5	3,0	1,2
EB00004044	PEÑ	Intg. 6 m	30-jun-15	22,4	8,41	99,3	306	7,9	12,455	1,482	9,3	2,4	3,9
EB00004044	PEÑ	2 m	30-jun-15	26,4	10,10	132,5	280	8,2	-	-	6,9	2,3	6,6
EB00004044	PEÑ	11 m	30-jun-15	14,6	1,30	3,7	331	7,5	-	-	15,3	2,6	1,9
EB00004045	SOP	Intg. 13 m	14-jul-15	11,6	9,10	96,1	171	7,9	0,907	0,238	1,4	1,5	0,4
EB00004045	SOP	14 m	14-jul-15	9,8	9,09	88	210	7,7	-	-	1,8	1,7	0,3
EB00004049	BAL	Intg. 4 m	16-jun-15	19,1	8,84	97,8	272	7,8	4,582	0,945	4,1	1,7	3,6
EB00004053	OLI	Intg. 6 m	6-jul-15	23,3	5,41	114,2	148	8,7	4,870	1,148	5,7	1,2	5,4
EB00004053	OLI	5 m	6-jul-15	22,5	9,67	108,5	156	8,7	-	-	4,7	1,3	7,3
EB00004053	OLI	12 m	6-jul-15	18,1	6,31	60,1	164	7,7	-	-	2,6	1,4	8,4
EB00004053	OLI	48 m	6-jul-15	11,1	0,77	3,3	211	7,5	-	-	12,1	1,7	3,0
EB00004059	TER	Intg. 6 m	16-jun-15	15,3	8,95	85,7	150	8,2	16,788	1,776	15,2	1,5	2,0
EB00004059	TER	9 m	16-jun-15	13,6	8,44	77,1	153	8,1	-	-	17,0	1,4	0,8
EB00004062	SOT	Intg. 7 m	28-jul-15	23,9	7,91	95,1	350	8,1	4,580	0,887	4,4	2,5	3,5
EB00004062	SOT	4 m	28-jul-15	23,9	7,88	95,5	350	8,1	-	-	4,3	2,6	4,3
EB00004062	SOT	17 m	28-jul-15	17,1	0,78	0	382	7,4	-	-	7,7	3,0	1,2

Código CHE	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 (ug/L)
EB00004063	RIA	Intg. 6 m	27-jul-15	24,1	7,17	81,2	188	8,1	4,780	1,647	4,6	1,7	6,5
EB00004063	RIA	4 m	27-jul-15	24,1	7,58	83,2	189	8,1	-	-	4,7	1,6	5,9
EB00004063	RIA	12 m	27-jul-15	17,5	3,62	30,6	206	7,5	-	-	2,3	1,8	1,0
EB00004063	RIA	50 m	27-jul-15	13,6	4,87	43,0	186	7,6	-	-	3,6	1,8	0,9
EB00004067	SLO	Intg. 7 m	28-jul-15	21,7	8,64	97,9	185	8,1	3,787	0,833	2,8	1,5	3,3
EB00004067	SLO	9 m	28-jul-15	20,9	8,02	87,5	188	7,9	-	-	3,4	1,6	2,5
EB00004068	VAL	Intg. 6 m	29-jun-15	22,4	14,38	168,1	449	8,2	11,536	2,300	6,9	3,5	22,6
EB00004068	VAL	2 m	29-jun-15	23,6	16,85	228	432	8,4	-	-	8,1	3,5	21,8
EB00004068	VAL	48 m	29-jun-15	8,1	3,63	33,4	497	8,1	-	-	5,7	3,5	20,1
EB00004070	MEQ	Intg. 12 m	3-ago-15	26,3	7,67	96,6	1011	7,8	1,927	0,993	1,5	2,7	3,6
EB00004070	MEQ	2 m	3-ago-15	26,8	8,32	104,4	994	8,0	-	-	1,3	2,7	2,5
EB00004070	MEQ	8 m	3-ago-15	26,4	8,40	101,7	994	7,9	-	-	1,4	2,7	4,2
EB00004070	MEQ	50 m	3-ago-15	17,5	0,69	9,1	1422	7,5	-	-	5,4	4,1	0,2
EB00004071	MEZ	Intg. 8 m	9-jun-15	18,0	8,16	90,0	493	8,1	2,090	0,915	3,8	3,5	3,3
EB00004071	MEZ	5 m	9-jun-15	17,7	8,41	84	498	8,1	-	-	3,6	3,5	4,3
EB00004071	MEZ	12 m	9-jun-15	15,0	5,38	48,7	476	7,9	-	-	6,0	3,4	2,0
EB00004072	MAR	Intg. 12 m	17-jun-15	18,5	10,13	104,3	370	8,1	1,991	1,100	2,3	3,2	3,4
EB00004072	MAR	2 m	17-jun-15	22,0	9,74	113,5	360	8,1	-	-	1,8	3,0	2,6
EB00004072	MAR	7 m	17-jun-15	19,3	11,61	127,5	376	8,1	-	-	2,0	3,2	4,1
EB00004072	MAR	24 m	17-jun-15	7,6	1,04	7,2	396	7,6	-	-	3,2	3,6	0,8
EB00004074	FLI	Intg. 6 m	4-ago-15	27,9	3,94	46,9	1148	7,8	1,553	0,480	2,6	3,4	0,8
EB00004074	FLI	8 m	4-ago-15	23,6	2,78	32,8	1282	7,7	-	-	2,5	3,3	0,7
EB00004076	TRA	Intg. 16 m	22-jul-15	23,3	9,51	113,5	687	7,9	2,200	1,393	1,2	3,5	5,6
EB00004076	TRA	2 m	22-jul-15	26,2	9,96	144,5	670	8,1	-	-	1,4	3,2	5,4
EB00004076	TRA	7 m	22-jul-15	24,5	10,34	135	687	7,9	-	-	1,5	3,5	7,1
EB00004076	TRA	28 m	22-jul-15	16,1	1,90	21,3	718	7,4	-	-	3,4	3,7	2,4

Código CHE	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 (ug/L)
EB00004078	CAS	Intg. 11 m	5-ago-15	25,0	5,72	63,1	762	8,1	2,027	0,973	2,3	3,0	3,3
EB00004078	CAS	2 m	5-ago-15	26,9	7,98	101,3	749	8,3	-	-	1,6	2,8	3,0
EB00004078	CAS	10 m	5-ago-15	20,7	1,11	0,1	758	7,8	-	-	3,0	3,4	3,9
EB00004078	CAS	30 m	5-ago-15	13,4	0,78	0,65	795	7,9	-	-	4,0	4,1	0,5
EB00004079	GUI	Intg. 9 m	16-jun-15	21,6	13,33	144,9	410	8,3	4,227	3,591	5,7	3,2	5,8
EB00004079	GUI	2 m	16-jun-15	24,1	9,38	112,5	415	8,2	-	-	2,1	3,4	2,5
EB00004079	GUI	9 m	16-jun-15	16,0	15,29	125	429	8,4	-	-	11,5	3,4	9,2
EB00004079	GUI	9.5 m	16-jun-15	13,3	1,14	39,8	446	7,6	-	-	19,9	3,5	23,8
EB00004079	GUI	35 m	16-jun-15	8,4	0,91	4,3	451	7,6	-	-	2,5	3,8	1,1
EB00004080	CUE	Intg. 12 m	8-jun-15	16,1	7,38	75,3	916	7,9	3,927	1,482	2,0	3,2	2,8
EB00004080	CUE	7 m	8-jun-15	16,2	9,06	93	910	8,1	-	-	2,3	3,3	4,6
EB00004080	CUE	18 m	8-jun-15	8,5	1,38	5,4	955	7,6	-	-	2,6	3,3	0,9
EB00004087	LEC	Intg. 9 m	8-jul-15	17,6	4,75	59,9	1372	7,6	1,080	0,660	2,5	3,9	3,2
EB00004087	LEC	6 m	8-jul-15	17,0	5,41	34,6	1385	7,6	-	-	2,7	4,1	2,3
EB00004087	LEC	11 m	8-jul-15	10,4	0,90	4,5	1459	7,7	-	-	8,2	4,1	9,1
EB00004550	URD	Intg. 12 m	22-jun-15	14,8	8,75	89,5	119	7,8	1,166	0,462	3,5	1,0	1,6
EB00004550	URD	3 m	22-jun-15	18,7	9,15	92,8	119	7,9	-	-	2,1	1,0	1,3
EB00004550	URD	30 m	22-jun-15	6,1	9,37	78,4	95	7,4	-	-	4,8	1,0	0,4
EB00004681	MON	Intg. 6 m	7-jul-15	23,4	7,62	76,8	777	7,8	9,367	1,439	6,8	2,9	3,0
EB00004681	MON	6 m	7-jul-15	20,0	3,64	24,5	789	7,5	-	-	7,5	3,0	2,1
EB00004823	MAE	Intg. 6 m	7-jul-15	24,7	9,60	110,8	383	7,9	9,843	3,186	6,9	2,2	6,2
EB00004823	MAE	2 m	7-jul-15	25,7	9,62	124	375	7,9	-	-	7,1	2,2	6,8
EB00004823	MAE	5 m	7-jul-15	25,0	9,83	115	382	7,9	-	-	6,3	2,2	8,1
EB00004823	MAE	26 m	7-jul-15	8,3	0,86	4,01	407	7,5	-	-	7,5	2,9	2,6

Código CHE	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 (ug/L)
EB00004949	RIB	Intg. 9 m	4-ago-15	25,1	5,33	60,0	1017	7,5	1,807	0,820	2,6	3,2	4,0
EB00004949	RIB	3 m	4-ago-15	25,3	6,16	68,1	1006	7,6	-	-	2,6	3,2	5,0
EB00004949	RIB	18 m	4-ago-15	23,1	3,19	29,6	1102	7,3	-	-	4,3	3,2	1,5
EB00004949	RIB	28 m	4-ago-15	21,9	1,00	6,6	1221	7,2	-	-	4,5	3,5	1,2
EB00004951	ESR	Intg. 12 m	21-jul-15	18,4	8,34	99,3	144	8,4	1,570	0,485	1,9	1,8	1,1
EB00004951	ESR	10 m	21-jul-15	15,0	9,33	117	138	8,5	-	-	1,8	1,7	0,9
EB00004951	ESR	16 m	21-jul-15	13,1	7,05	78	143	8,1	-	-	1,9	1,7	0,7
EB00004952	SAL	1 m	13-jul-15	18,6	8,36	108,6	45	7,1	0,215	0,120	0,6	0,6	1,1
EB00004953	LLA	Intg. 15 m	15-jul-15	12,2	8,90	93,9	56	7,6	0,073	0,053	0,2	0,7	0,5
EB00004953	LLA	26 m	15-jul-15	8,7	9,38	93,1	52	7,6	-	-	0,5	0,6	1,5
EB00004953	LLA	35 m	15-jul-15	8,4	9,28	91,7	53	7,5	-	-	0,6	0,6	1,7
EB00004953	LLA	50 m	15-jul-15	6,9	8,84	85,3	62	7,3	-	-	0,3	0,6	0,3
EB00005022	EST	Intg. 3 m	4-ago-15	27,5	9,21	117,8	626	8,2	9,093	1,347	6,0	2,7	3,3
EB00005043	CAV	Intg. 9 m	14-jul-15	16,5	9,68	118,6	14	6,9	0,133	0,080	0,1	0,3	0,7

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

Código CHE	Muestra	Prof (m)	Fecha	Nitrato (µM)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (µM)	Nitrito (mg/L)	NIO (mg N/L)	Amonio (µM)	Amonio (mg/L)	Amonio (mg N/L)	Ntot (µM)	Ntot (mg N/L)
EB00004001	EBR	Intg. 9 m	24-jun-15	17,0	1,1	0,4	0,020	0,244	2,0	0,036	0,028	31,0	0,433
EB00004001	EBR	3 m	24-jun-15	16,0	1,0	0,4	0,017	0,229	1,2	0,021	0,017	28,8	0,403
EB00004001	EBR	13 m	24-jun-15	23,0	1,4	0,7	0,032	0,332	2,0	0,037	0,029	33,6	0,470
EB00004001	EBR	20 m	24-jun-15	27,0	1,7	0,2	0,011	0,381	1,9	0,034	0,027	37,0	0,519
EB00004004	IRA	Intg. 12 m	23-jun-15	10,2	0,6	0,1	0,004	0,143	3,6	0,066	0,051	14,2	0,199
EB00004004	IRA	8 m	23-jun-15	10,2	0,6	0,1	0,004	0,145	1,8	0,032	0,025	15,3	0,214
EB00004004	IRA	27 m	23-jun-15	13,1	0,8	0,1	0,005	0,184	6,1	0,109	0,085	21,6	0,302
EB00004004	IRA	30 m	23-jun-15	0,0	0,0	0,4	0,017	0,005	40,0	0,720	0,560	50,4	0,705
EB00004005	ALB	Intg. 6 m	23-jun-15	19,0	1,2	0,2	0,008	0,268	1,3	0,023	0,018	26,8	0,375
EB00004005	ALB	5 m	23-jun-15	17,0	1,1	0,2	0,008	0,240	0,5	0,010	0,007	25,4	0,356
EB00004005	ALB	18 m	23-jun-15	23,0	1,4	0,2	0,010	0,325	2,8	0,051	0,040	33,0	0,462
EB00004019	LAN	Intg. 16 m	20-jul-15	5,6	0,3	0,1	0,004	0,080	2,1	0,038	0,030	10,8	0,151
EB00004019	LAN	8 m	20-jul-15	4,7	0,3	0,1	0,005	0,067	1,2	0,021	0,017	11,8	0,165
EB00004019	LAN	24 m	20-jul-15	7,1	0,4	0,1	0,004	0,101	0,6	0,011	0,009	12,6	0,177
EB00004019	LAN	43 m	20-jul-15	19,0	1,2	0,1	0,002	0,267	0,2	0,003	0,003	22,3	0,312
EB00004022	SOB	Intg. 6 m	29-jul-15	30,0	1,9	0,3	0,015	0,424	2,3	0,041	0,032	41,0	0,575
EB00004022	SOB	3 m	29-jul-15	29,0	1,8	0,3	0,015	0,411	0,6	0,011	0,009	40,8	0,572
EB00004022	SOB	8 m	29-jul-15	33,0	2,0	0,7	0,031	0,471	2,4	0,042	0,033	44,6	0,624
EB00004022	SOB	26 m	29-jul-15	27,0	1,7	7,3	0,335	0,480	32,5	0,585	0,455	74,9	1,049
EB00004025	BUB	Intg. 16 m	21-jul-15	5,9	0,4	0,1	0,006	0,084	1,2	0,022	0,017	12,4	0,173
EB00004025	BUB	10 m	21-jul-15	6,1	0,4	0,1	0,006	0,088	1,9	0,035	0,027	12,7	0,178
EB00004025	BUB	26 m	21-jul-15	7,9	0,5	0,1	0,007	0,113	1,6	0,028	0,022	12,9	0,180

Código CHE	Muestra	Prof (m)	Fecha	Nitrato (µM)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (µM)	Nitrito (mg/L)	NIO (mg N/L)	Amonio (µM)	Amonio (mg/L)	Amonio (mg N/L)	Ntot (µM)	Ntot (mg N/L)
EB00004027	ALL	Intg. 13 m	1-jul-15	77,0	4,8	0,7	0,033	1,088	0,1	0,002	0,001	87,4	1,223
EB00004027	ALL	2 m	1-jul-15	73,0	4,5	0,7	0,032	1,032	0,7	0,013	0,010	80,5	1,127
EB00004027	ALL	13 m	1-jul-15	79,0	4,9	0,8	0,035	1,117	0,7	0,013	0,010	89,2	1,248
EB00004027	ALL	37 m	1-jul-15	87,0	5,4	0,3	0,016	1,223	0,7	0,012	0,009	95,8	1,341
EB00004037	YES	Intg. 13 m	30-jun-15	21,0	1,3	0,2	0,010	0,297	0,6	0,012	0,009	23,5	0,329
EB00004037	YES	2 m	30-jun-15	19,0	1,2	0,2	0,010	0,269	3,1	0,055	0,043	22,8	0,319
EB00004037	YES	10 m	30-jun-15	23,0	1,4	0,2	0,010	0,325	0,4	0,008	0,006	24,2	0,339
EB00004037	YES	44 m	30-jun-15	29,0	1,8	0,1	0,005	0,407	0,7	0,012	0,009	32,1	0,450
EB00004044	PEÑ	Intg. 6 m	30-jun-15	11,6	0,7	0,4	0,017	0,168	1,9	0,035	0,027	24,1	0,338
EB00004044	PEÑ	2 m	30-jun-15	8,7	0,5	0,3	0,014	0,126	1,1	0,021	0,016	20,5	0,287
EB00004044	PEÑ	11 m	30-jun-15	12,7	0,8	0,6	0,026	0,185	6,3	0,114	0,088	31,4	0,439
EB00004045	SOP	Intg. 13 m	14-jul-15	14,4	0,9	0,7	0,031	0,212	0,8	0,015	0,012	18,8	0,263
EB00004045	SOP	14 m	14-jul-15	17,0	1,1	0,4	0,019	0,244	0,0	0,000	0,000	19,1	0,267
EB00004049	BAL	Intg. 4 m	16-jun-15	28,0	1,7	0,3	0,015	0,397	0,9	0,017	0,013	34,5	0,483
EB00004053	OLI	Intg. 6 m	6-jul-15	8,5	0,5	1,0	0,044	0,132	1,0	0,018	0,014	19,1	0,268
EB00004053	OLI	5 m	6-jul-15	9,6	0,6	1,0	0,044	0,147	1,1	0,019	0,015	23,2	0,325
EB00004053	OLI	12 m	6-jul-15	24,0	1,5	1,5	0,069	0,357	6,0	0,107	0,083	37,4	0,523
EB00004053	OLI	48 m	6-jul-15	46,0	2,9	1,4	0,066	0,664	4,7	0,084	0,065	56,2	0,787
EB00004059	TER	Intg. 6 m	16-jun-15	17,0	1,1	0,7	0,032	0,248	0,3	0,005	0,004	19,2	0,269
EB00004059	TER	9 m	16-jun-15	17,0	1,1	0,6	0,030	0,247	0,1	0,001	0,001	21,2	0,297
EB00004062	SOT	Intg. 7 m	28-jul-15	23,0	1,4	0,5	0,023	0,329	0,5	0,010	0,007	32,2	0,451
EB00004062	SOT	4 m	28-jul-15	23,0	1,4	0,5	0,023	0,329	0,4	0,008	0,006	32,2	0,450
EB00004062	SOT	17 m	28-jul-15	30,0	1,9	0,4	0,018	0,426	1,7	0,031	0,024	36,8	0,515

Código CHE	Muestra	Prof (m)	Fecha	Nitrato (µM)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (µM)	Nitrito (mg/L)	NIO (mg N/L)	Amonio (µM)	Amonio (mg/L)	Amonio (mg N/L)	Ntot (µM)	Ntot (mg N/L)
EB00004063	RIA	Intg. 6 m	27-jul-15	6,9	0,4	0,2	0,011	0,099	2,3	0,041	0,032	20,5	0,287
EB00004063	RIA	4 m	27-jul-15	3,6	0,2	0,2	0,007	0,053	2,2	0,040	0,031	19,0	0,265
EB00004063	RIA	12 m	27-jul-15	36,0	2,2	0,2	0,009	0,507	1,3	0,023	0,018	44,6	0,624
EB00004063	RIA	50 m	27-jul-15	40,0	2,5	0,1	0,003	0,561	0,7	0,013	0,010	46,4	0,649
EB00004067	SLO	Intg. 7 m	28-jul-15	19,0	1,2	0,2	0,011	0,269	1,6	0,028	0,022	21,9	0,307
EB00004067	SLO	9 m	28-jul-15	20,0	1,2	0,2	0,008	0,283	1,0	0,018	0,014	24,5	0,344
EB00004068	VAL	Intg. 6 m	29-jun-15	143,0	8,9	3,4	0,156	2,049	2,0	0,035	0,027	172,4	2,413
EB00004068	VAL	2 m	29-jun-15	137,0	8,5	3,2	0,149	1,963	1,1	0,020	0,015	163,9	2,294
EB00004068	VAL	48 m	29-jun-15	143,0	8,9	3,3	0,152	2,048	1,9	0,034	0,026	170,6	2,388
EB00004070	MEQ	Intg. 12 m	3-ago-15	110,0	6,8	3,2	0,146	1,584	1,4	0,025	0,019	123,7	1,732
EB00004070	MEQ	2 m	3-ago-15	131,0	8,1	2,5	0,117	1,870	0,9	0,016	0,012	124,3	1,741
EB00004070	MEQ	8 m	3-ago-15	133,0	8,2	2,7	0,123	1,899	2,2	0,040	0,031	121,3	1,698
EB00004070	MEQ	50 m	3-ago-15	104,0	6,4	4,5	0,208	1,519	42,5	0,765	0,595	136,2	1,907
EB00004071	MEZ	Intg. 8 m	9-jun-15	195,0	12,1	1,7	0,080	2,754	4,1	0,074	0,058	233,0	3,262
EB00004071	MEZ	5 m	9-jun-15	196,0	12,2	1,9	0,086	2,770	4,9	0,088	0,068	233,0	3,262
EB00004071	MEZ	12 m	9-jun-15	176,0	10,9	2,6	0,122	2,501	8,4	0,152	0,118	219,0	3,066
EB00004072	MAR	Intg. 12 m	17-jun-15	5,3	0,3	0,1	0,004	0,075	0,5	0,009	0,007	17,6	0,246
EB00004072	MAR	2 m	17-jun-15	0,1	0,0	0,0	0,001	0,001	0,1	0,002	0,002	13,7	0,192
EB00004072	MAR	7 m	17-jun-15	0,9	0,1	0,1	0,006	0,015	0,1	0,002	0,002	14,7	0,206
EB00004072	MAR	24 m	17-jun-15	32,0	2,0	0,4	0,018	0,453	6,3	0,113	0,088	49,4	0,691
EB00004074	FLI	Intg. 6 m	4-ago-15	130,0	8,1	3,4	0,155	1,867	2,7	0,048	0,038	145,9	2,043
EB00004074	FLI	8 m	4-ago-15	156,0	9,7	3,6	0,165	2,234	3,1	0,055	0,043	147,4	2,064
EB00004076	TRA	Intg. 16 m	22-jul-15	123,0	7,6	1,4	0,063	1,741	2,0	0,035	0,027	135,1	1,892
EB00004076	TRA	2 m	22-jul-15	117,0	7,3	1,2	0,057	1,655	0,5	0,008	0,006	130,1	1,822
EB00004076	TRA	7 m	22-jul-15	123,0	7,6	1,5	0,069	1,743	2,3	0,042	0,033	138,5	1,939
EB00004076	TRA	28 m	22-jul-15	100,0	6,2	5,0	0,230	1,470	10,5	0,188	0,146	123,3	1,726

Código CHE	Muestra	Prof (m)	Fecha	Nitrato (µM)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (µM)	Nitrito (mg/L)	NIO (mg N/L)	Amonio (µM)	Amonio (mg/L)	Amonio (mg N/L)	Ntot (µM)	Ntot (mg N/L)
EB00004078	CAS	Intg. 11 m	5-ago-15	64,0	4,0	3,3	0,153	0,943	4,3	0,077	0,060	72,6	1,016
EB00004078	CAS	2 m	5-ago-15	57,0	3,5	2,2	0,102	0,829	2,9	0,052	0,040	69,1	0,967
EB00004078	CAS	10 m	5-ago-15	74,0	4,6	6,0	0,278	1,121	5,8	0,104	0,081	83,3	1,166
EB00004078	CAS	30 m	5-ago-15	80,0	5,0	2,8	0,127	1,159	22,9	0,412	0,320	99,5	1,393
EB00004079	GUI	Intg. 9 m	16-jun-15	0,0	0,0	0,0	0,001	0,001	0,1	0,003	0,002	16,6	0,233
EB00004079	GUI	2 m	16-jun-15	0,1	0,0	0,0	0,001	0,001	0,4	0,006	0,005	16,3	0,229
EB00004079	GUI	9 m	16-jun-15	0,0	0,0	0,0	0,001	0,001	0,1	0,002	0,002	14,7	0,206
EB00004079	GUI	9.5 m	16-jun-15	0,0	0,0	0,0	0,001	0,001	0,1	0,003	0,002	14,8	0,207
EB00004079	GUI	35 m	16-jun-15	30,0	1,9	1,4	0,062	0,439	1,8	0,032	0,025	43,8	0,614
EB00004080	CUE	Intg. 12 m	8-jun-15	40,0	2,5	0,7	0,032	0,570	6,8	0,123	0,096	59,8	0,837
EB00004080	CUE	7 m	8-jun-15	46,0	2,9	0,7	0,033	0,654	1,8	0,032	0,025	60,9	0,853
EB00004080	CUE	18 m	8-jun-15	15,0	0,9	0,7	0,032	0,220	33,7	0,607	0,472	61,1	0,855
EB00004087	LEC	Intg. 9 m	8-jul-15	50,0	3,1	1,4	0,065	0,720	6,7	0,121	0,094	73,2	1,025
EB00004087	LEC	6 m	8-jul-15	71,0	4,4	0,8	0,039	1,006	4,0	0,072	0,056	90,2	1,263
EB00004087	LEC	11 m	8-jul-15	3,0	0,2	0,5	0,021	0,048	32,3	0,581	0,452	52,0	0,728
EB00004550	URD	Intg. 12 m	22-jun-15	12,5	0,8	0,1	0,005	0,177	1,7	0,031	0,024	20,8	0,292
EB00004550	URD	3 m	22-jun-15	11,5	0,7	0,1	0,005	0,162	1,6	0,029	0,023	20,0	0,280
EB00004550	URD	30 m	22-jun-15	19,0	1,2	0,1	0,003	0,267	1,1	0,021	0,016	24,2	0,339
EB00004681	MON	Intg. 6 m	7-jul-15	94,0	5,8	1,7	0,077	1,339	2,5	0,045	0,035	113,9	1,594
EB00004681	MON	6 m	7-jul-15	81,0	5,0	2,1	0,097	1,163	6,9	0,125	0,097	106,9	1,497
EB00004823	MAE	Intg. 6 m	7-jul-15	124,0	7,7	1,2	0,055	1,753	1,5	0,027	0,021	142,1	1,990
EB00004823	MAE	2 m	7-jul-15	121,0	7,5	1,2	0,056	1,711	0,9	0,017	0,013	138,6	1,941
EB00004823	MAE	5 m	7-jul-15	123,0	7,6	1,2	0,055	1,739	2,7	0,048	0,037	140,3	1,964
EB00004823	MAE	26 m	7-jul-15	134,0	8,3	0,5	0,025	1,884	0,8	0,015	0,012	147,8	2,070

Código CHE	Muestra	Prof (m)	Fecha	Nitrato (µM)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (µM)	Nitrito (mg/L)	NIO (mg N/L)	Amonio (µM)	Amonio (mg/L)	Amonio (mg N/L)	Ntot (µM)	Ntot (mg N/L)
EB00004949	RIB	Intg. 9 m	4-ago-15	135,0	8,4	1,4	0,066	1,910	2,3	0,042	0,032	148,2	2,075
EB00004949	RIB	3 m	4-ago-15	153,0	9,5	1,9	0,086	2,168	2,3	0,041	0,032	146,5	2,052
EB00004949	RIB	18 m	4-ago-15	171,0	10,6	3,7	0,172	2,446	7,5	0,134	0,104	169,3	2,370
EB00004949	RIB	28 m	4-ago-15	149,0	9,2	5,3	0,242	2,160	7,3	0,131	0,102	142,3	1,992
EB00004951	ESR	Intg. 12 m	21-jul-15	2,2	0,1	0,1	0,003	0,031	1,0	0,018	0,014	8,6	0,120
EB00004951	ESR	10 m	21-jul-15	2,2	0,1	0,1	0,003	0,031	0,8	0,015	0,012	9,1	0,127
EB00004951	ESR	16 m	21-jul-15	1,7	0,1	0,1	0,003	0,024	1,3	0,023	0,018	8,1	0,113
EB00004952	SAL	1 m	13-jul-15	6,1	0,4	0,1	0,005	0,087	1,5	0,026	0,020	12,9	0,181
EB00004953	LLA	Intg. 15 m	15-jul-15	12,2	0,8	0,1	0,004	0,172	0,7	0,012	0,010	15,5	0,217
EB00004953	LLA	26 m	15-jul-15	13,6	0,8	0,1	0,003	0,192	0,2	0,004	0,003	15,8	0,222
EB00004953	LLA	35 m	15-jul-15	13,7	0,8	0,0	0,001	0,192	0,4	0,008	0,006	15,9	0,222
EB00004953	LLA	50 m	15-jul-15	16,0	1,0	0,0	0,002	0,225	0,8	0,015	0,012	16,6	0,232
EB00005022	EST	Intg. 3 m	4-ago-15	55,0	3,4	1,0	0,046	0,784	1,6	0,029	0,023	63,2	0,885
EB00005043	CAV	Intg. 9 m	14-jul-15	9,6	0,6	0,1	0,003	0,135	0,6	0,010	0,008	13,3	0,187

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

Código CHE	Muestra	Prof (m)	Fecha	Psol (µM)	Psol (mg P/L)	Fosfatos (mg/L)	Ptot (µM)	Ptot (mg P/L)	Silic (µM)	Silicato (mg SiO <sub>2</sub> /L)
EB00004001	EBR	Intg. 9 m	24-jun-15	0,026	0,001	0,002	0,357	0,011	17,8	1,1
EB00004001	EBR	3 m	24-jun-15	0,052	0,002	0,005	0,486	0,015	16,9	1,0
EB00004001	EBR	13 m	24-jun-15	0,173	0,005	0,016	0,352	0,011	29,3	1,8
EB00004001	EBR	20 m	24-jun-15	0,105	0,003	0,010	1,144	0,035	58,7	3,5
EB00004004	IRA	Intg. 12 m	23-jun-15	0,021	0,001	0,002	0,128	0,004	28,5	1,7
EB00004004	IRA	8 m	23-jun-15	0,021	0,001	0,002	0,246	0,008	30,8	1,9
EB00004004	IRA	27 m	23-jun-15	0,031	0,001	0,003	0,262	0,008	45,3	2,7
EB00004004	IRA	30 m	23-jun-15	0,042	0,001	0,004	0,435	0,013	66,9	4,0
EB00004005	ALB	Intg. 6 m	23-jun-15	0,026	0,001	0,002	0,285	0,009	61,4	3,7
EB00004005	ALB	5 m	23-jun-15	0,068	0,002	0,006	0,290	0,009	63,1	3,8
EB00004005	ALB	18 m	23-jun-15	0,047	0,001	0,004	0,318	0,010	74,3	4,5
EB00004019	LAN	Intg. 16 m	20-jul-15	0,047	0,001	0,004	0,295	0,009	31,8	1,9
EB00004019	LAN	8 m	20-jul-15	0,047	0,001	0,004	0,468	0,015	30,5	1,8
EB00004019	LAN	24 m	20-jul-15	0,037	0,001	0,003	0,178	0,006	33,7	2,0
EB00004019	LAN	43 m	20-jul-15	0,057	0,002	0,005	0,123	0,004	44,8	2,7
EB00004022	SOB	Intg. 6 m	29-jul-15	0,042	0,001	0,004	0,654	0,020	55,2	3,3
EB00004022	SOB	3 m	29-jul-15	0,057	0,002	0,005	0,844	0,026	55,5	3,3
EB00004022	SOB	8 m	29-jul-15	0,094	0,003	0,009	0,592	0,018	62,4	3,7
EB00004022	SOB	26 m	29-jul-15	0,016	0,000	0,001	0,766	0,024	90,9	5,5
EB00004025	BUB	Intg. 16 m	21-jul-15	0,031	0,001	0,003	0,100	0,003	34,6	2,1
EB00004025	BUB	10 m	21-jul-15	0,042	0,001	0,004	0,184	0,006	34,2	2,0
EB00004025	BUB	26 m	21-jul-15	0,042	0,001	0,004	0,084	0,003	35,9	2,2

Código CHE	Muestra	Prof (m)	Fecha	Psol (µM)	Psol (mg P/L)	Fosfatos (mg/L)	Ptot (µM)	Ptot (mg P/L)	Silic (µM)	Silicato (mg SiO <sub>2</sub> /L)
EB00004027	ALL	Intg. 13 m	1-jul-15	0,026	0,001	0,002	0,265	0,008	17,2	1,0
EB00004027	ALL	2 m	1-jul-15	0,016	0,000	0,001	0,147	0,005	5,2	0,3
EB00004027	ALL	13 m	1-jul-15	0,005	0,000	0,000	0,242	0,008	18,7	1,1
EB00004027	ALL	37 m	1-jul-15	0,010	0,000	0,001	0,383	0,012	61,3	3,7
EB00004037	YES	Intg. 13 m	30-jun-15	0,021	0,001	0,002	0,147	0,005	30,7	1,8
EB00004037	YES	2 m	30-jun-15	0,026	0,001	0,002	0,175	0,005	28,9	1,7
EB00004037	YES	10 m	30-jun-15	0,031	0,001	0,003	0,445	0,014	30,4	1,8
EB00004037	YES	44 m	30-jun-15	0,021	0,001	0,002	0,406	0,013	52,2	3,1
EB00004044	PEÑ	Intg. 6 m	30-jun-15	0,031	0,001	0,003	0,891	0,028	54,7	3,3
EB00004044	PEÑ	2 m	30-jun-15	0,037	0,001	0,003	0,705	0,022	52,5	3,2
EB00004044	PEÑ	11 m	30-jun-15	0,052	0,002	0,005	1,071	0,033	59,0	3,5
EB00004045	SOP	Intg. 13 m	14-jul-15	0,032	0,001	0,003	0,116	0,004	65,9	4,0
EB00004045	SOP	14 m	14-jul-15	0,032	0,001	0,003	0,149	0,005	75,1	4,5
EB00004049	BAL	Intg. 4 m	16-jun-15	0,021	0,001	0,002	0,484	0,015	76,7	4,6
EB00004053	OLI	Intg. 6 m	6-jul-15	0,037	0,001	0,003	0,479	0,015	7,3	0,4
EB00004053	OLI	5 m	6-jul-15	0,042	0,001	0,004	0,452	0,014	8,7	0,5
EB00004053	OLI	12 m	6-jul-15	0,052	0,002	0,005	0,336	0,010	62,9	3,8
EB00004053	OLI	48 m	6-jul-15	0,955	0,030	0,091	2,627	0,081	116,1	7,0
EB00004059	TER	Intg. 6 m	16-jun-15	0,026	0,001	0,002	0,684	0,021	74,6	4,5
EB00004059	TER	9 m	16-jun-15	0,047	0,001	0,004	0,795	0,025	73,3	4,4
EB00004062	SOT	Intg. 7 m	28-jul-15	0,042	0,001	0,004	0,358	0,011	55,8	3,3
EB00004062	SOT	4 m	28-jul-15	0,052	0,002	0,005	0,436	0,014	55,2	3,3
EB00004062	SOT	17 m	28-jul-15	0,047	0,001	0,004	0,632	0,020	82,3	4,9

Código CHE	Muestra	Prof (m)	Fecha	Psol (µM)	Psol (mg P/L)	Fosfatos (mg/L)	Ptot (µM)	Ptot (mg P/L)	Silic (µM)	Silicato (mg SiO2/L)
EB00004063	RIA	Intg. 6 m	27-jul-15	0,026	0,001	0,002	0,620	0,019	20,1	1,2
EB00004063	RIA	4 m	27-jul-15	0,021	0,001	0,002	0,447	0,014	11,3	0,7
EB00004063	RIA	12 m	27-jul-15	0,078	0,002	0,007	0,184	0,006	56,1	3,4
EB00004063	RIA	50 m	27-jul-15	0,569	0,018	0,054	0,816	0,025	94,1	5,6
EB00004067	SLO	Intg. 7 m	28-jul-15	0,057	0,002	0,005	0,436	0,014	80,0	4,8
EB00004067	SLO	9 m	28-jul-15	0,057	0,002	0,005	0,464	0,014	82,3	4,9
EB00004068	VAL	Intg. 6 m	29-jun-15	0,063	0,002	0,006	1,285	0,040	19,2	1,1
EB00004068	VAL	2 m	29-jun-15	0,110	0,003	0,010	1,347	0,042	17,6	1,1
EB00004068	VAL	48 m	29-jun-15	0,058	0,002	0,005	1,172	0,036	19,1	1,1
EB00004070	MEQ	Intg. 12 m	3-ago-15	0,036	0,001	0,003	0,182	0,006	42,8	2,6
EB00004070	MEQ	2 m	3-ago-15	0,057	0,002	0,005	0,105	0,003	43,2	2,6
EB00004070	MEQ	8 m	3-ago-15	0,036	0,001	0,003	0,221	0,007	43,8	2,6
EB00004070	MEQ	50 m	3-ago-15	1,698	0,053	0,161	3,145	0,097	62,3	3,7
EB00004071	MEZ	Intg. 8 m	9-jun-15	0,037	0,001	0,004	0,388	0,012	44,9	2,7
EB00004071	MEZ	5 m	9-jun-15	0,048	0,001	0,005	0,270	0,008	48,5	2,9
EB00004071	MEZ	12 m	9-jun-15	0,048	0,001	0,005	0,225	0,007	59,8	3,6
EB00004072	MAR	Intg. 12 m	17-jun-15	0,079	0,002	0,007	0,200	0,006	70,0	4,2
EB00004072	MAR	2 m	17-jun-15	0,016	0,000	0,001	0,195	0,006	64,4	3,9
EB00004072	MAR	7 m	17-jun-15	0,026	0,001	0,002	0,245	0,008	65,5	3,9
EB00004072	MAR	24 m	17-jun-15	0,121	0,004	0,011	0,456	0,014	118,4	7,1
EB00004074	FLI	Intg. 6 m	4-ago-15	1,012	0,031	0,096	1,304	0,040	80,6	4,8
EB00004074	FLI	8 m	4-ago-15	1,111	0,034	0,106	1,387	0,043	79,7	4,8
EB00004076	TRA	Intg. 16 m	22-jul-15	0,026	0,001	0,002	0,401	0,012	49,0	2,9
EB00004076	TRA	2 m	22-jul-15	0,052	0,002	0,005	0,223	0,007	45,2	2,7
EB00004076	TRA	7 m	22-jul-15	0,021	0,001	0,002	0,552	0,017	56,1	3,4
EB00004076	TRA	28 m	22-jul-15	0,037	0,001	0,003	0,295	0,009	68,5	4,1

Código CHE	Muestra	Prof (m)	Fecha	Psol (µM)	Psol (mg P/L)	Fosfatos (mg/L)	Ptot (µM)	Ptot (mg P/L)	Silic (µM)	Silicato (mg SiO <sub>2</sub> /L)
EB00004078	CAS	Intg. 11 m	5-ago-15	0,010	0,000	0,001	0,298	0,009	31,7	1,9
EB00004078	CAS	2 m	5-ago-15	0,016	0,000	0,001	0,193	0,006	27,4	1,6
EB00004078	CAS	10 m	5-ago-15	0,016	0,000	0,001	0,348	0,011	52,8	3,2
EB00004078	CAS	30 m	5-ago-15	0,073	0,002	0,007	0,343	0,011	146,7	8,8
EB00004079	GUI	Intg. 9 m	16-jun-15	0,047	0,001	0,004	0,423	0,013	18,7	1,1
EB00004079	GUI	2 m	16-jun-15	0,032	0,001	0,003	0,261	0,008	15,9	1,0
EB00004079	GUI	9 m	16-jun-15	0,016	0,000	0,001	1,229	0,038	34,0	2,0
EB00004079	GUI	9.5 m	16-jun-15	0,068	0,002	0,006	2,458	0,076	35,7	2,1
EB00004079	GUI	35 m	16-jun-15	0,011	0,000	0,001	0,395	0,012	53,2	3,2
EB00004080	CUE	Intg. 12 m	8-jun-15	0,048	0,001	0,005	0,230	0,007	17,1	1,0
EB00004080	CUE	7 m	8-jun-15	0,021	0,001	0,002	0,242	0,007	7,5	0,5
EB00004080	CUE	18 m	8-jun-15	0,037	0,001	0,004	0,298	0,009	58,7	3,5
EB00004087	LEC	Intg. 9 m	8-jul-15	0,068	0,002	0,006	0,762	0,024	270,7	16,2
EB00004087	LEC	6 m	8-jul-15	0,063	0,002	0,006	0,213	0,007	277,4	16,6
EB00004087	LEC	11 m	8-jul-15	0,057	0,002	0,005	1,172	0,036	282,9	17,0
EB00004550	URD	Intg. 12 m	22-jun-15	0,026	0,001	0,002	0,123	0,004	79,0	4,7
EB00004550	URD	3 m	22-jun-15	0,037	0,001	0,003	0,061	0,002	73,8	4,4
EB00004550	URD	30 m	22-jun-15	0,037	0,001	0,003	0,173	0,005	76,1	4,6
EB00004681	MON	Intg. 6 m	7-jul-15	0,042	0,001	0,004	0,325	0,010	43,6	2,6
EB00004681	MON	6 m	7-jul-15	0,052	0,002	0,005	0,518	0,016	80,6	4,8
EB00004823	MAE	Intg. 6 m	7-jul-15	0,089	0,003	0,008	0,485	0,015	16,8	1,0
EB00004823	MAE	2 m	7-jul-15	0,042	0,001	0,004	0,435	0,013	14,5	0,9
EB00004823	MAE	5 m	7-jul-15	0,073	0,002	0,007	0,452	0,014	14,0	0,8
EB00004823	MAE	26 m	7-jul-15	0,052	0,002	0,005	0,485	0,015	46,9	2,8

Código CHE	Muestra	Prof (m)	Fecha	Psol ( $\mu$ M)	Psol (mg P/L)	Fosfatos (mg/L)	Ptot ( $\mu$ M)	Ptot (mg P/L)	Silic ( $\mu$ M)	Silicato (mg SiO <sub>2</sub> /L)
EB00004949	RIB	Intg. 9 m	4-ago-15	0,208	0,006	0,020	1,017	0,032	88,9	5,3
EB00004949	RIB	3 m	4-ago-15	0,151	0,005	0,014	0,752	0,023	88,6	5,3
EB00004949	RIB	18 m	4-ago-15	1,558	0,048	0,148	2,122	0,066	92,0	5,5
EB00004949	RIB	28 m	4-ago-15	1,563	0,048	0,148	2,023	0,063	80,2	4,8
EB00004951	ESR	Intg. 12 m	21-jul-15	0,047	0,001	0,004	0,072	0,002	17,1	1,0
EB00004951	ESR	10 m	21-jul-15	0,031	0,001	0,003	0,084	0,003	16,0	1,0
EB00004951	ESR	16 m	21-jul-15	0,037	0,001	0,003	0,167	0,005	16,3	1,0
EB00004952	SAL	1 m	13-jul-15	0,021	0,001	0,002	0,061	0,002	54,7	3,3
EB00004953	LLA	Intg. 15 m	15-jul-15	0,026	0,001	0,003	0,028	0,001	51,0	3,1
EB00004953	LLA	26 m	15-jul-15	0,032	0,001	0,003	0,050	0,002	51,5	3,1
EB00004953	LLA	35 m	15-jul-15	0,005	0,000	0,001	0,083	0,003	51,7	3,1
EB00004953	LLA	50 m	15-jul-15	0,100	0,003	0,010	0,121	0,004	116,3	7,0
EB00005022	EST	Intg. 3 m	4-ago-15	0,026	0,001	0,002	0,293	0,009	163,8	9,8
EB00005043	CAV	Intg. 9 m	14-jul-15	0,079	0,002	0,008	0,083	0,003	34,0	2,0

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	0,072	1,000																																		
VolMax	0,238	-0,199	1,000																																	
SupLam	0,153	-0,409	0,931	1,000																																
ProfMax	0,317	0,299	0,369	0,103	1,000																															
ProfMed	0,016	0,153	0,402	0,286	0,401	1,000																														
SupCuen	0,096	-0,674	0,374	0,556	-0,042	0,027	1,000																													
ProfMues	0,260	0,310	0,456	0,148	0,834	0,372	-0,148	1,000																												
VolMues	0,245	-0,204	0,968	0,891	0,301	0,340	0,357	0,493	1,000																											
PorcEmb	0,045	-0,240	0,024	0,009	-0,191	-0,295	0,070	0,189	0,256	1,000																										
Tperm	-0,112	0,049	-0,299	-0,282	-0,051	-0,068	-0,271	-0,069	-0,371	-0,281	1,000																									
TempZF	0,228	-0,285	0,108	0,161	-0,197	-0,113	0,133	-0,140	0,162	0,302	-0,192	1,000																								
Dsecchi	0,317	0,295	-0,138	-0,291	0,493	0,106	-0,218	0,364	-0,169	-0,097	0,152	0,119	1,000																							
ZFotPAR	0,521	0,242	0,014	-0,056	0,086	0,149	-0,164	0,093	-0,010	-0,060	-0,029	0,082	0,430	1,000																						
Zanox	0,106	-0,277	0,324	0,340	0,262	0,258	0,370	0,230	0,288	0,124	0,055	0,131	-0,069	-0,089	1,000																					
OxEpi	0,115	0,510	-0,231	-0,349	0,097	0,157	-0,437	0,153	-0,168	-0,013	0,054	-0,231	0,074	-0,007	-0,040	1,000																				
OxHipo	0,151	0,081	-0,271	-0,243	-0,356	-0,351	-0,241	-0,303	-0,178	0,334	-0,153	0,039	-0,052	0,058	-0,799	0,105	1,000																			
Cond	0,114	-0,629	0,216	0,419	-0,210	-0,118	0,545	-0,394	0,125	-0,259	0,111	-0,009	-0,353	-0,110	0,400	-0,354	-0,206	1,000																		
pH	-0,113	-0,174	-0,246	-0,184	-0,122	-0,187	0,226	-0,142	-0,237	0,009	0,242	0,241	0,022	-0,348	0,110	0,005	-0,054	0,026	1,000																	
Solidos	-0,245	-0,416	0,039	0,227	-0,515	-0,134	0,270	-0,468	0,049	-0,004	0,019	0,069	-0,909	-0,450	0,170	-0,017	-0,001	0,520	0,032	1,000																
LOI	-0,088	-0,443	0,141	0,295	-0,312	-0,008	0,300	-0,288	0,134	-0,066	0,145	-0,047	-0,758	-0,360	0,327	0,014	-0,126	0,612	-0,039	0,917	1,000															
Turb400	-0,303	-0,414	-0,024	0,172	-0,527	-0,202	0,228	-0,472	-0,021	-0,025	0,064	0,040	-0,876	-0,488	0,110	-0,125	0,061	0,466	0,042	0,924	0,854	1,000														
Clorofila	-0,186	-0,299	0,287	0,360	-0,028	0,135	0,306	-0,027	0,266	-0,108	0,009	-0,130	-0,574	-0,442	0,292	0,033	-0,250	0,442	0,022	0,691	0,788	0,634	1,000													
Alcalin	0,179	-0,539	0,189	0,381	-0,169	-0,105	0,484	-0,357	0,111	-0,245	0,149	-0,101	-0,409	-0,120	0,299	-0,237	-0,070	0,942	-0,015	0,575	0,683	0,529	0,514	1,000												
Nitrato	-0,051	-0,219	0,184	0,306	-0,160	-0,106	0,336	-0,232	0,139	-0,083	-0,344	0,073	-0,249	-0,040	0,134	-0,248	-0,238	0,449	0,032	0,184	0,076	0,094	0,132	0,310	1,000											
Nitrito	-0,104	-0,493	0,262	0,425	-0,268	-0,169	0,538	-0,327	0,217	-0,043	-0,246	0,072	-0,447	-0,097	0,288	-0,318	-0,270	0,688	0,053	0,443	0,366	0,353	0,321	0,548	0,816	1,000										
NIO	-0,052	-0,251	0,189	0,315	-0,172	-0,105	0,348	-0,237	0,145	-0,079	-0,327	0,073	-0,261	-0,038	0,151	-0,252	-0,249	0,484	0,030	0,207	0,109	0,116	0,157	0,343	0,998	0,837	1,000									
Amonio	-0,114	-0,017	0,022	0,109	0,037	-0,219	0,230	-0,175	-0,095	-0,387	-0,134	-0,090	-0,007	-0,017	0,142	-0,395	-0,322	0,251	0,156	-0,012	0,021	0,054	0,177	0,162	0,456	0,394	0,448	1,000								
Ntot	-0,057	-0,486	0,196	0,333	-0,196	-0,069	0,377	-0,225	0,151	-0,059	-0,053	0,000	-0,318	-0,066	0,282	-0,286	-0,306	0,759	-0,018	0,386	0,432	0,305	0,410	0,646	0,776	0,839	0,811	0,329	1,000							
Psol	-0,214	-0,427	-0,141	-0,014	-0,251	-0,262	0,032	-0,382	-0,182	0,004	-0,022	0,196	-0,126	0,039	-0,050	-0,370	0,045	0,331	-0,074	0,122	0,075	0,082	-0,055	0,238	0,212	0,266	0,225	0,116	0,336	1,000						
Ptot	-0,269	-0,358	-0,150	-0,025	-0,319	-0,230	-0,066	-0,433	-0,188	-0,039	-0,044	0,168	-0,167	0,012	-0,074	-0,247	0,096	0,304	-0,076	0,160	0,093	0,112	-0,025	0,216	0,198	0,243	0,209	0,105	0,293	0,963	1,000					
Silicato	-0,219	-0,610	0,151	0,366	-0,320	-0,192	0,561	-0,357	0,128	0,023	-0,105	-0,006	-0,639	-0,282	0,132	-0,377	-0,108	0,596	-0,135	0,693	0,695	0,695	0,640	0,580	0,315	0,576	0,343	0,244	0,556	0,336	0,261	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

